

Capítulo 8

Investigación sobre materiales de drenaje

El primer resultado de investigación sobre materiales de drenaje surgió de estudios hechos con modelos analógicos de tanque de arena (Wesseling y Homma, 1967; Segeren y Zuidema, 1969). La investigación con estos modelos ha contribuido a identificar parámetros relevantes. Estudios teóricos (Widmoser, 1968; Nieuwenhuis y Wesseling, 1979) e investigaciones con modelo electrolítico (Dierickx, 1980) sobre las características de tuberías y envolturas han dado como resultado su cuantificación y ha aumentado el conocimiento en este campo. De investigaciones con permeámetro se obtuvo información práctica importante sobre la necesidad de envolturas de drenaje, especialmente sobre la retención de partículas de suelo en envolturas (Samani y Willardson, 1981; Dierickx y Yüncüoglu, 1982; Stuyt, 1982; Lennox-Gratin, 1987).

El material descrito en este capítulo trata casi exclusivamente de envolturas de drenaje, porque son una parte esencial de muchos sistemas de drenaje subterráneo y si fallan el conjunto del sistema no funciona. Los problemas relativos al uso de tuberías de drenaje son reducidos y bien comprendidos, mientras que los problemas frecuentes y el abanico amplio de elección de materiales hacen que la investigación sobre envolturas de drenaje sea importante.

Hay dos categorías de investigaciones sobre el funcionamiento de envolturas de drenaje que no se distinguen siempre claramente y que son las siguientes:

- Investigaciones en «caja negra» para evaluar la adecuación de envolturas específicas en vez de entender los factores que determinan su aplicabilidad.
- Investigaciones hechas intencionalmente para tratar de *revelar los factores* y definir los parámetros asociados que determinan la aplicabilidad de materiales envolventes en términos generales.

La primera categoría puede ser denominada *evaluación de envolturas* y la segunda *investigación básica sobre envolturas*.

Generalmente, el ensayo de envolturas de drenaje se lleva a cabo en dos etapas sucesivas, primero en el laboratorio y posteriormente en el campo. Así, las envolturas promisorias -basadas en datos de ensayo de laboratorio- son sometidas a pruebas de funcionamiento en campo. A continuación, se presentan directrices redactadas para proyectos de investigación de campo y laboratorio. Asimismo, se describen los componentes de estas directrices y una serie de recomendaciones prácticas sobre *qué hacer* y *qué no*, relacionados con el establecimiento y seguimiento de experimentos de laboratorio y áreas piloto.

Para investigar la adecuación de materiales envolventes para una aplicación específica deben considerarse qué preguntas pueden responderse y cuáles no, antes de iniciar un proyecto de investigación, tanto de laboratorio como de campo.

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO Y PARÁMETROS DE ENVOLTURA RELEVANTES

La investigación de laboratorio y campo sobre materiales de drenaje requiere que las especificaciones de la envoltura y las características relevantes del suelo sean bien conocidas. El funcionamiento de una envoltura está en gran parte determinado por propiedades físicas y químicas del suelo. Por tanto, los ensayos con permeámetro deben

llevarse a cabo con suelo del campo experimental donde se instalarán los drenes, tomado a la profundidad de drenes o con suelo que se usará para recubrirlos. Cuando se lleve a cabo investigación con permeámetro es importante conocer y controlar las condiciones del suelo (contenido de humedad, densidad aparente, etc.) en el permeámetro, de modo que se pueda predecir el funcionamiento en el campo en relación con las condiciones de instalación. Para evaluar materiales envolventes de drenaje a partir de investigación de campo, debe especificarse claramente el suelo en el cual serán instalados así como el material envolvente utilizado. Por ello, tanto en investigación de laboratorio como de campo, deben determinarse las propiedades físicas y químicas del suelo y las especificaciones de la envoltura que a continuación se describen.

Las principales características del *suelo* (véase el Capítulo 6, Apartado *Propiedades físicas del suelo*) son las siguientes:

- Distribución del tamaño de partícula (textura del suelo).
- Índice de plasticidad, que requiere la determinación de los límites líquido y plástico.
- Densidad del suelo (solamente para investigación con permeámetro).
- Salinidad y contenido de sodio, calcio y hierro, tanto del suelo como del agua de riego.

Para *envolturas sintéticas* (véase el Capítulo 3, Apartado *Especificaciones para envolturas enrolladas previamente*) son importantes los siguientes parámetros:

- Espesor.
- Tamaño característico de abertura (preferiblemente O_{90}) o curva de distribución del tamaño de todos los poros, que proporciona información más específica.
- Resistencia a penetración de agua (ocasionalmente).

Los parámetros relevantes de *envolturas granulares* (véase el Capítulo 3, Apartado *Especificaciones para envolturas de grava*) son los siguientes:

- Distribución del tamaño de partícula.
- Componentes químicos.

EVALUACIÓN DE LABORATORIO SOBRE LA APLICABILIDAD DE ENVOLTURA

El ensayo de campo de gran número de materiales envolventes requiere mucho tiempo y es caro. Por ello, cierto tipo de modelos analógicos pueden eliminar combinaciones envoltura-suelo que son claramente inaceptables. Los modelos analógicos, es decir, tanques de arena y permeámetros de flujo, han sido ampliamente usados con este propósito. Stuyt (1992a) presentó una revisión del desarrollo de modelos analógicos de envolturas utilizadas en los Países Bajos.

Modelos de tanque de arena

En la década de 1960 los modelos de tanque de arena eran bastante populares en los Países Bajos y se usaban especialmente para investigar las resistencias de entrada de varios tipos de tuberías: tubos de cerámica y tuberías de plástico liso y corrugado. No se habían establecido todavía normas para tuberías corrugadas y los experimentos se enfocaron a tipos de perforación y a algunos materiales envolventes. Más tarde se utilizaron exhaustivamente tanques de arena para probar envolturas.

Los modelos de tanque de arena han llevado a resultados útiles:

- Todas las investigaciones llevadas a cabo en modelos con tanque de arena confirman el efecto favorable de las envolturas de dren (Watts y Luthin, 1963; Feichtinger, 1966), incluso de las envolturas laminares.
- La resistencia de entrada decrece con el aumento del espesor de envoltura (Wesseling y Homma, 1967; Segeren y Zuidema, 1969).
- Estudios con tanques de arena revelaron que el número, forma y tamaño de las perforaciones afectan la resistencia de entrada en menor grado que el material envolvente.

- Luthin y Haig (1972) probaron que una cobertura de grava adecuada actúa como un dren completamente permeable, haciendo que la separación entre tubos de cerámica o de hormigón no tenga virtualmente importancia.
- Investigaciones sobre el funcionamiento hidráulico de sistemas de drenaje con coberturas parciales indicaron que no existe gran diferencia con coberturas totales (Segeren y Zuidema, 1969; Saulmon, 1971; Dennis y Trafford, 1975). Aún así, en muchos casos son más seguras las coberturas completas para impedir un excesivo colmatado de la tubería.

A pesar de su utilidad, un estudio preciso con modelos de tanque de arena es muy difícil (Wesseling y Homma, 1967). Solamente se pueden comparar materiales de drenaje cuando las investigaciones se llevan a cabo bajo circunstancias estrictamente similares. Wesseling y Van Someren (FAO, 1972) definieron las desventajas de los modelos de tanque de arena como sigue:

- Los materiales de drenaje se ensayan durante un tiempo más bien corto. Sin embargo, Wesseling y Homma (1967) encontraron que la resistencia de entrada de drenes subterráneos aumentaba con el tiempo.
- Los resultados están estrechamente relacionados con la forma en que el modelo analógico se rellena con material de suelo. Para obtener datos consistentes debe usarse arena muy homogénea. Esto dificulta la obtención de información sobre las propiedades del material, que se espera que en la práctica estará en uso largo tiempo en condiciones de campo que pueden ser muy distintas de las del laboratorio.

Los modelos convencionales de tanque de arena eran bastante grandes, p. ej. de 1,5 (*L*) x 1,0 (*W*) x 1,0 (*H*) m y se rellenaban con arena sin cohesión o con tipos de suelo sin cohesión originarios del área a ser drenada o similares en textura al suelo de dicha área. Para llenar estos modelos era necesaria una gran cantidad de arena. Además, el relleno debía hacerse tan homogéneamente como fuera posible, lo que requería bastante mano de obra. Por ello, la mayoría de los suelos utilizados experimentalmente contenían solamente un pequeño porcentaje de partículas de arcilla y limo y materia orgánica, y eran a menudo diferentes de la mayor parte de los tipos de suelo que se encontraban en el campo. Si la envoltura funcionaba aceptablemente en un ensayo, se recomendaba su uso en el campo. En muchos experimentos con tanque de arena el objetivo era cuantificar la resistencia de entrada, aunque en realidad lo que se medía era una «resistencia al flujo de aproximación». Además, se medía la compactación de la arena y la envoltura era aceptada para utilizarse en la práctica si no se observaba una entrada sustancial de partículas minerales.

Los experimentos de laboratorio en tanque de arena hechos en las décadas de 1960 y 1970 no dieron indicaciones directas sobre el funcionamiento de líneas de dren porque:

1. Las envolturas fueron examinadas sin intentar comprender y analizar los procesos físicos involucrados.
2. Solamente se podían usar suelos arenosos.
3. No se consideraron parámetros de envoltura como el tamaño de poros característico.
4. No se investigó sistemáticamente la relevancia de parámetros de envoltura presumiblemente importantes para su funcionamiento.
5. No se consideraron circunstancias de instalación ni condiciones del suelo (contenido de humedad y densidad aparente), por lo que la reproducibilidad de los ensayos fue baja.
6. No pudieron simularse algunos fenómenos dependientes del tiempo y que ocurren a largo plazo, como los cambios estacionales y el grado de obstrucción mineral y química a largo plazo (p. ej. un año o más).

El punto 5 se refiere a las condiciones de humedad en las que se instalaron las tuberías en los tanques de arena. Cavelaars (1966) encontró que la «resistencia al

flujo de aproximación» medida y la conductividad hidráulica eran bastante sensibles al contenido de humedad de las muestras de suelo con que se llenaron los tanques. Ciertamente, en muchos experimentos con tanque de arena se encontró con el tiempo una disminución sustancial de la conductividad cerca del dren. De acuerdo a Willet (1962), Van der Meer y Willet (1964) y Koenigs (1964), esta disminución es causada por el bloqueo local de los poros del suelo por partículas finas que han sido dispersadas al formarse lodo en un suelo con alto contenido de humedad. Ciertos suelos con alto contenido de partículas menores de 50 μm muestran un riesgo alto de formación de lodo bajo condiciones de campo húmedas. Se observaron disminuciones de conductividad hidráulica hasta un factor de 20, lo cual pareció ser de gran importancia para determinar el funcionamiento de drenes en el campo.

Drenes instalados en otros suelos no arenosos (p. ej. suelos limosos y francos) también pueden necesitar envolturas. Las propiedades físicas de estos suelos no pueden simularse fácilmente con modelos analógicos. En estos casos, son indispensables permeámetros de flujo paralelo y experimentos de campo para examinar la aplicabilidad de envolturas.

Durante la Primera Reunión de Trabajo Internacional de Drenaje, llevada a cabo en Wageningen, Países Bajos, en 1979, Knops y Dierickx (1979) concluyeron que había una gran necesidad de adquirir más conocimiento acerca del uso más eficiente y efectivo de tejidos de fibra sintética como envolturas de dren. Esta necesidad urgía porque entonces la disponibilidad de materiales envolventes sintéticos aumentaba rápidamente. Se necesitaba entonces una investigación más básica que la hecha hasta entonces para evaluar las interacciones entre suelos y envolturas de dren. Esta investigación se llevó a cabo para profundizar la percepción del riesgo de erosión interna que tiene un suelo y de los procesos que influyen en el movimiento de partículas de suelo, y fue necesaria para obtener la información necesaria para elaborar un método de garantía para predecir la necesidad de una envoltura en cualquier tipo de suelo bajo cualquier condición del mismo. El permeámetro de flujo paralelo demostró ser un medio adecuado para este tipo de investigación.

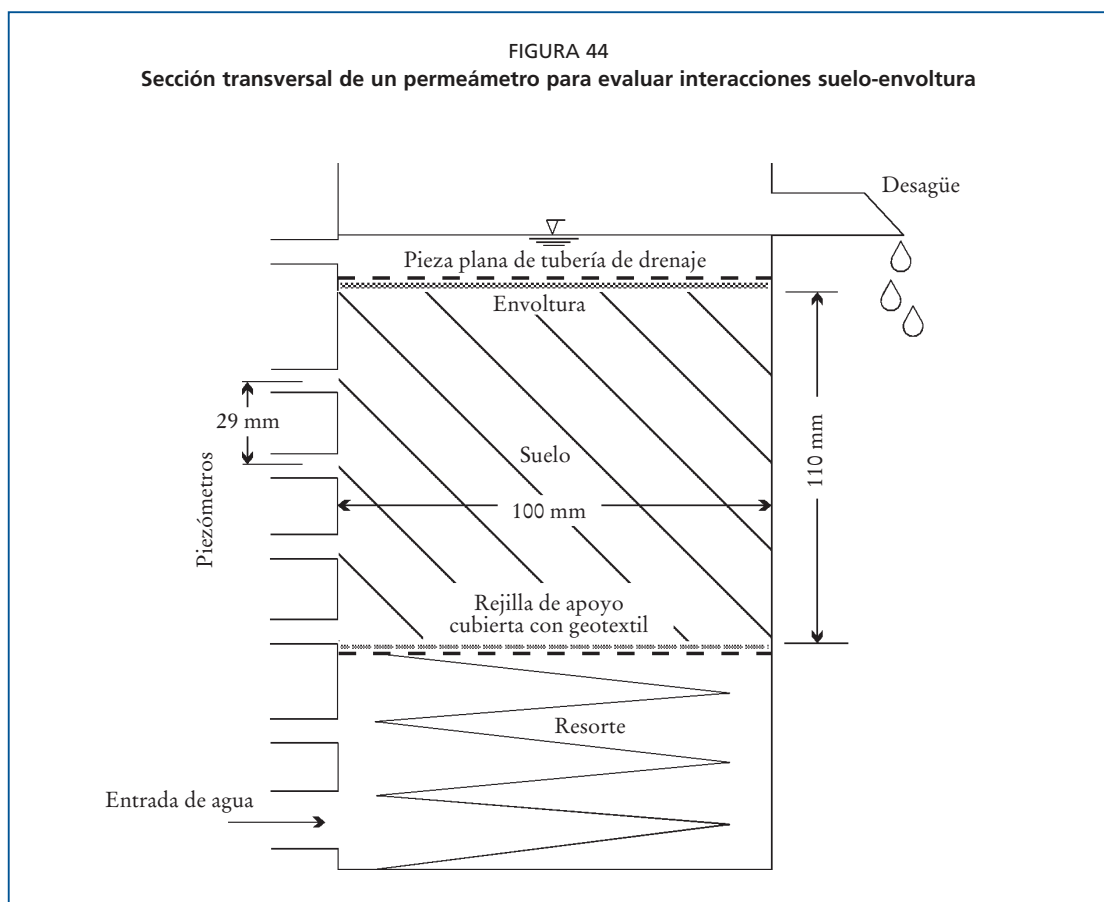
Permeámetros de flujo paralelo

La investigación con permeámetro simula el flujo hacia una tubería de drenaje, revestida o no, mediante un flujo unidimensional hacia una pieza plana de tubería de drenaje, un material envolvente o una combinación de ambos. En la Figura 44 se muestra un ejemplo de un permeámetro con flujo ascendente para ensayar el funcionamiento de materiales de drenaje. Consta de un cilindro de plexiglás de 100 mm de diámetro interno y una longitud de al menos 150 mm, que contiene una muestra de suelo de 50 a 100 mm de altura. Como apoyo externo se coloca encima de la muestra de suelo una pieza plana de tubería de drenaje con envoltura entre ambos en su caso. Un resorte con un apoyo (malla y geotextil o disco perforado) mantiene un buen contacto, aún cuando pequeñas cantidades de suelo se desprendan. Las cargas hidráulicas en el sistema se controlan con piezómetros conectados a un tablero con manómetros. Obviamente, los ensayos deben hacerse dentro de un rango de gradientes representativo de los gradientes hidráulicos que se pueden crear cerca de los drenes en el campo. Las pruebas de laboratorio deben hacerse progresivamente a mayores gradientes hasta que el material envolvente falla, o hasta que se alcanza el gradiente más alto posible. De esta manera puede medirse el posible gradiente de fallo de la combinación suelo-envoltura. El fallo puede deberse a obstrucción mineral de la envoltura, movimiento excesivo de suelo a través del material envolvente o a pérdida de estructura del suelo, resultando en una disminución sustancial de la conductividad hidráulica. La conclusión sobre el funcionamiento de la combinación suelo-envoltura debe basarse no en una única prueba, sino en cierto número de replicaciones en las que la preparación del suelo y el llenado del permeámetro deben hacerse de acuerdo a ciertas reglas. Los agregados de suelo deben pasar a través de un cedazo para formar fracciones de agregados, después

de lo cual las muestras de suelo se reconstituyen nuevamente con cantidades conocidas de cada fracción. El llenado del permeámetro con cierto suelo debe hacerse de la misma forma, con la misma cantidad de suelo y con el mismo contenido de humedad, con objeto de obtener la misma densidad aparente en cada replicación.

El «US Army Corps of Engineers» (1977) usó un permeámetro de flujo paralelo para evaluar la compatibilidad suelo-geotextil. Esta prueba llegó a conocerse como «prueba de relación de gradiente» y fue aceptada como procedimiento de ensayo estándar para evaluar el potencial de obstrucción mineral de una combinación suelo-geotextil (ASTM D5101-96, 1996). Willardson y Walker (1979) también diseñaron un permeámetro de flujo paralelo que fue usado por Samani y Willardson (1981) para desarrollar el concepto de gradiente de fallo hidráulico, i_f (véase el Capítulo 4, Apartado *Gradiente de fallo hidráulico*). Dierickx y Yüncüoglu (1982) utilizaron un permeámetro de flujo paralelo en Bélgica para obtener más información sobre el funcionamiento de materiales envolventes en suelos estructuralmente inestables. También se utilizó para comprender mejor el mecanismo de movimiento de partículas en y cerca de la interfase suelo-envoltura. En los Países Bajos, Stuyt (1982) llevó a cabo una investigación con permeámetro para simular el proceso físico del paso de partículas y obstrucción de envoltura con un suelo sin estructura. Stuyt y Oosten (1986) describieron una investigación con permeámetro en muestras de suelos muy poco cohesivos, tanto alteradas como sin alterar. La investigación con permeámetro en Francia (Lennoz-Gratin, 1987) dio lugar a un método de ensayo estándar (NFU 51-161, 1990) para diagnosticar los riesgos de obstrucción mineral en sistemas de drenaje subterráneos (Lennoz-Gratin, 1992). Muchos ingenieros e investigadores en

FIGURA 44
Sección transversal de un permeámetro para evaluar interacciones suelo-envoltura



todo el mundo han utilizado permeámetros de flujo paralelo para obtener respuestas a la interacción entre geotextil y suelo (Qureshi *et al.*, 1990; Fischer *et al.*, 1994; Chin *et al.*, 1994; Shi *et al.*, 1994). Permeámetros de flujo vertical se utilizan en Egipto (Dierickx, 1988), Pakistán (Dierickx, 1991) y la India (Dierickx, 1998c) para evaluar la aplicabilidad de envolturas sintéticas y el funcionamiento de materiales fabricados localmente o importados, en varios tipos de suelo y en diferentes condiciones de los mismos. En Egipto y Pakistán, la investigación con permeámetro ha contribuido a la introducción de envolturas sintéticas y al uso con éxito de materiales envolventes de dren locales en campos experimentales.

Los modelos con permeámetro de flujo paralelo han superado algunas de las desventajas de los modelos de tanque de arena y son más adecuados para estudiar la interacción física entre envolturas y suelos por múltiples razones:

- Solamente son necesarias pequeñas cantidades de suelo.
- Pueden usarse suelos con o sin cohesión.
- El llenado con suelo puede controlarse adecuadamente, por lo que la capacidad de repetición de ensayos es alta.
- Pueden mantenerse adecuadamente condiciones de suelo en términos de contenido de humedad y densidad.
- Pueden simularse procesos físicos en el suelo.
- El gradiente hidráulico medio puede cambiarse y mantenerse con bastante facilidad.

El ensayo con permeámetro de flujo paralelo ha demostrado su validez para evaluar los siguientes fenómenos:

- La necesidad de envolturas de drenaje (Dierickx y Yüncüoğlu, 1982; Lennoz-Gratin *et al.*, 1992).
- Diferencias funcionales entre varias envolturas (Stuyt, 1982; Stuyt y Oosten, 1986; Lennoz-Gratin, 1987; Rollin *et al.* 1987; Stuyt y Willardson, 1999).
- El efecto de las condiciones del suelo sobre el funcionamiento del drenaje (Dierickx y Yüncüoğlu, 1982; Kabina y Dierickx, 1986; Stuyt y Oosten, 1986; Stuyt y Willardson, 1999).
- Criterios de retención de envolturas con respecto a partículas de suelo y agregados (Dierickx, 1987; Dierickx y Van der Sluys, 1990; Qureshi *et al.*, 1990).
- Las propiedades para retener suelo de la grava (Vlotman *et al.*, 1992b) y de materiales envolventes orgánicos y sintéticos (Kabina y Dierickx, 1986; Stuyt y Oosten, 1986).
- La interacción de una combinación geotextil-suelo (Stuyt, 1982; Stuyt y Oosten, 1986; Dierickx, 1986b; Dierickx *et al.*, 1987; Lennoz-Gratin, 1987; Rollin *et al.*, 1987; Qureshi *et al.*, 1990; Chin *et al.*, 1994; Shi *et al.*, 1994).
- La heterogeneidad de los tipos de flujo cerca de drenes por medio de trazadores tintados (Stuyt y Oosten, 1986).
- La composición de la textura de micro-muestras de suelo, tanto del propio suelo como de material de suelo retenido en la envoltura y del que pasa la envoltura y la tubería de drenaje (Stuyt y Oosten 1986, Stuyt, 1992a).

Mediante estos ensayos con modelo analógico puede relacionarse la necesidad de envolturas de dren a las características del suelo (Samani y Willardson, 1981). Se han evaluado criterios de retención simples y útiles para envolturas PLM y geotextiles usados como envolturas de dren (Dierickx, 1993). Se han redefinido criterios de diseño para envolturas de grava, basados en elaborados ensayos llevados a cabo por Vlotman *et al.* (1992a).

Directrices para investigación con permeámetro

Pueden realizarse ensayos con permeámetro para evaluar una combinación suelo-envoltura-tubería, pero sus resultados dependerán fundamentalmente de la forma en que se prepara la muestra de suelo. Para llevar a cabo una investigación con permeámetro debe considerarse una serie de directrices esenciales.

1. Preparación del suelo

No deben llenarse permeámetros con terrones de suelo seco ya que cuando se humedecen tienden a romperse y el suelo se vuelve casi impermeable. Una vez que los terrones de suelo secados al aire pasan por un cedazo de agujeros cuadrados de 5 mm, deben llevarse al contenido de humedad deseado (generalmente capacidad de campo), aspergiendo agua con una pistola de pintar y pasándolos nuevamente por cedazos (p. ej. tamices de agujeros cuadrados de 4,76, 3,36 y 2,00 mm) para hacer fracciones de agregados. Las muestras de suelo pueden prepararse usando, p. ej. 40 por ciento de agregados entre 0 y 2,00 mm, 40 por ciento entre 2,00 y 3,36 mm y 20 por ciento entre 3,36 y 4,76 mm. Sin embargo, el cernido de agregados y la preparación de muestras de suelo dependen del tipo de suelo. No es posible dar reglas generales sobre contenido de humedad, fracciones de agregados y porcentaje de cada fracción para los distintos tipos de suelo. Agregados demasiado pequeños de arcillas expansivas pueden dar lugar a un suelo impermeable cuando se satura. Por tanto, puede ser necesaria alguna investigación preliminar sobre tamaño de agregado, estabilidad y expansión para varios contenidos de humedad.

2. Simulación de condiciones susceptibles a fallo

El suelo en el permeámetro no deberá compactarse en exceso ya que un suelo denso no presenta problemas y no corresponde a condiciones de campo, donde es más común un suelo suelto y excavado, especialmente en zanjas rellenadas. La condición del suelo, contenido de humedad y gradiente hidráulico deben simularse tanto como sea posible, de acuerdo con las condiciones que más probablemente ocurran en el campo. Ésta no es una tarea fácil.

3. Medida después que se ha obtenido equilibrio

Una vez llenado el permeámetro convenientemente, el suelo se satura y se elimina el aire del permeámetro. La prueba no puede iniciarse hasta que se alcanza equilibrio, lo cual generalmente lleva algunas horas según el tipo de suelo. Al mismo tiempo, deben comprobarse alteraciones visibles en la columna de suelo a través de la pared de plexiglás de los permeámetros y eliminarse aquellos ensayos que presenten quedades.

4. Dirección de flujo ascendente o descendente

Es preferible flujo ascendente de agua, ya que la fuerza de arrastre del flujo de agua contrarresta las fuerzas gravitacionales y cohesivas -si existen- y promueve una situación inestable tan pronto como esas fuerzas opuestas se anulan. El flujo descendente tiende a estabilizar mecánicamente el suelo, porque la fuerza del flujo actúa en el mismo sentido que la gravitacional.

5. Aplicación de un gradiente hidráulico creciente

El gradiente hidráulico cerca de tuberías de drenaje está sujeto a variación. Cualquier secuencia dinámica de gradientes hidráulicos puede simularse con permeámetros. El paso de partículas de suelo a través de envolturas ocurre tan pronto como se alcanza un nivel crítico. Un incremento gradual del gradiente hidráulico es una buena norma.

6. Evaluación de la erosión del suelo

El gradiente hidráulico en el suelo cerca de la tubería de drenaje determina si el suelo se erosionará. El riesgo de un suelo a erosión puede examinarse incrementando gradualmente el gradiente hidráulico. Los intentos para estimar las *cantidades* de sedimento en el campo a partir de ensayos con permeámetro son inútiles, dado que las condiciones hidráulicas y otras pueden ser bastante diferentes.

7. Relación entre datos de laboratorio y de campo

Puede ocurrir obstrucción mineral de drenes de parcela revestidos con envolturas que

se encontraron adecuadas en experimentos previos con permeámetro. En estos casos la envoltura no debe rechazarse inmediatamente. Primero debe hacerse un estudio cuidadoso de campo sobre otras posibles causas, por ejemplo, tuberías o envolturas dañadas, entrada de suelo durante la conexión con un colector o con un pozo de registro, conexiones defectuosas, formación de ocre, etc.

8. Interpretación de resultados obtenidos con permeámetros

Los resultados de ensayos idénticos en condiciones ideales y bien mantenidas deberían ser similares. Por ello, los ensayos de flujo con permeámetro deben hacerse con un mínimo de tres replicaciones, en las cuales el tamaño de agregados, contenido de humedad y densidad del suelo tienen que ser iguales. Si los resultados de las pruebas se desvían sustancialmente, deben hacerse ensayos adicionales con tres replicaciones de nuevo. Será posible obtener una conclusión fiable cuando todos los resultados adicionales correspondan con los resultados de dos de las primeras series, de lo contrario se deberán repetir las pruebas. La envoltura debe considerarse poco fiable si de nuevo los resultados son ampliamente dispersos mientras que las condiciones de ensayo son similares.

EVALUACIÓN DE CAMPO DE LA APLICABILIDAD DE ENVOLTURA

Investigación de campo

Ninguna simulación analógica puede reproducir completamente los procesos físicos que ocurren en el campo. Necesitan mayores estudios en el campo fenómenos como el funcionamiento a largo plazo de envolturas sujetas a cambios estacionales, obstrucción química y microbiológica, y los procesos peculiares de intrusión de suelo y de raíces.

Las combinaciones de drenes y envolturas, que se dictaminen favorablemente en un ensayo de laboratorio, deben instalarse bajo condiciones de campo para investigar los efectos a largo plazo mencionados anteriormente. Pueden ser probados de nuevo para evaluar su funcionamiento en suelos relevantes y bajo distintas condiciones de instalación.

No siempre pueden obtenerse conclusiones sobre el funcionamiento de envolturas de dren a partir de investigaciones de campo, debido a la gran variabilidad de resultados a causa de:

- Variabilidad de las propiedades físicas del suelo.
- Efectos inciertos de instalación (calidad de la obra y humedad generalizada).
- Obstrucción mineral debida a daños en tuberías, en envolturas o en ambas y conexiones defectuosas.
- Intrusión de suelo durante la conexión con colectores o pozos de registro.
- Formación de ocre.

Se debe prestar particular atención a otros problemas de los materiales de drenaje que puedan afectar los resultados de investigaciones de campo, siendo los problemas más frecuentemente encontrados:

- Tubos de salida sueltos, dañados o ambas cosas (solamente en sistemas con colectores abiertos).
- Drenes interrumpidos debido a una calidad de tubería deficiente (tubería rota) o conexiones de tubería sueltas.
- Aire (o metano) encerrado dentro de un dren que se ha instalado con una pendiente irregular.
- Propiedades del suelo de riesgo, como suelos con filtración ocrácea o con sulfatos ácidos, limos de baja permeabilidad y suelos arcillosos «inmaduros» con filtraciones muy altas.

Evaluar el funcionamiento de sistemas de drenaje en tierras drenadas está fuera del ámbito de esta publicación, aunque el estudio del funcionamiento de materiales de drenaje es un componente importante de las evaluaciones. En este caso, las restricciones descritas

anteriormente son más acentuadas, por lo que la selección de las parcelas a ser evaluadas debe hacerse tras un cuidadoso estudio de reconocimiento del área del proyecto.

Directrices para investigación de campo

Un buen proyecto de investigación de campo requiere algunas directrices básicas, como son las siguientes:

1. Selección de parcelas experimentales

Las parcelas experimentales deben seleccionarse cuidadosamente para reducir la influencia de diferentes tipos de suelos en la medida en que esto sea posible y práctico. La gran variabilidad de textura, estructura y condición (p. ej. contenido de humedad y densidad aparente) del suelo a lo largo de las líneas de drenaje hace muy difícil evaluar el funcionamiento de una envoltura en el campo, porque se evalúa el funcionamiento de todo el sistema de drenaje, incluyendo el efecto del suelo cerca del dren. Por ello, es recomendable tratar de seleccionar una ubicación donde se sepa que la heterogeneidad del suelo es pequeña.

Es necesario conocer los componentes zonales del flujo de agua subterránea y conocer o verificar si existe percolación profunda o filtración apreciables en cualquier zona donde se piense instalar un campo experimental nuevo. También pueden existir componentes laterales de flujo de agua subterránea que puedan interferir en el sistema de drenaje subterráneo. Mientras la intensidad de esos flujos sea limitada, su interferencia con los resultados será también pequeña. El riesgo de heterogeneidad del suelo, en combinación con percolación y filtración, compromete seriamente la validez de los datos registrados.

2. Parámetros a medir

Con frecuencia es difícil controlar el efecto de un solo factor sobre el resultado compuesto de un proceso físico complejo. Si el impacto de un factor excede notablemente al efecto acumulativo de otros factores, es muy probable que la investigación de campo tenga éxito, ya que el problema fundamental puede investigarse más fácilmente.

Para determinar resistencias al flujo de aproximación y para correlacionarlas con tipos de envoltura, el caudal del dren se mide conjuntamente con la pérdida de carga de aproximación y con la pérdida de carga total (Figura 23):

- La *pérdida de carga del flujo de aproximación* se mide como la diferencia vertical entre el nivel del agua en un piezómetro situado a una distancia de 40 cm del dren y el nivel en un piezómetro colocado en la tubería de drenaje.
- La *pérdida total de carga* se mide como la diferencia vertical entre el nivel del agua en un pozo de observación a mitad de distancia entre dos drenes y en un piezómetro en la tubería de drenaje.

Para determinar la variación de la resistencia al flujo de aproximación se miden frecuentemente caudales de drenes y niveles de agua en piezómetros (Ecuación 6 del Capítulo 4, Apartado *Resistencia al flujo de aproximación y entrada*). Es necesario hacerlo diariamente para determinar cambios de las condiciones del suelo y del flujo de agua cerca de un dren inmediatamente después de su instalación. Son necesarias observaciones diarias durante el período de máximo desagüe si predomina flujo en régimen variable. La frecuencia de las medidas puede ser menor durante el período de recesión y si los caudales de drenaje se pueden considerar casi de régimen permanente.

Además, debe excavar para verificar el grado de obstrucción del dren y el de la posible descomposición microbiológica de envolturas orgánicas (Scholten, 1988). A veces es útil determinar textura y propiedades químicas del suelo en varias ubicaciones, para explicar diferencias en el funcionamiento de sistemas de drenaje. Dieleman y Trafford (FAO, 1976) han descrito procedimientos para ensayar líneas de drenes y procesar los datos obtenidos.

3. Diseño y construcción de un campo experimental

Deben mantenerse constantes todos los parámetros de campo que no estén asociados con los materiales de drenaje pero que puedan afectar al funcionamiento del sistema, como son espaciamiento y profundidad de drenes, ya que interfieren en los resultados.

El *uso de repeticiones* de los componentes en estudio (especialmente drenes laterales) es fundamental cuando se comparan varios materiales envolventes, dada la heterogeneidad implícita del suelo y los efectos aleatorios inducidos por la instalación de tuberías de drenaje. En principio, hay dos opciones en relación con el diseño de un ensayo de campo:

- *Laterales revestidos con materiales envolventes idénticos, en grupos contiguos de al menos tres drenes.* Este diseño tiene la ventaja de que la interferencia de los laterales revestidos con otros materiales es muy pequeña, por lo que los datos sobre funcionamiento de los drenes serán más fiables. Esto es particularmente cierto para los laterales situados cerca del centro del grupo. Este trazado es el más apropiado a pesar que el riesgo de heterogeneidad del suelo afecte a los datos.
- *Cada envoltura se coloca junto a otros tipos diferentes.* En este diseño, la interferencia entre drenes adyacentes causará interferencias en los datos, por lo que éstos pueden no ser muy fiables y difíciles de interpretar. Sin embargo, este trazado tiene la ventaja que minimiza el efecto de la heterogeneidad de las propiedades del suelo.

Para minimizar el riesgo de interferencias sustanciales en los resultados es recomendable:

- Que un contratista bien cualificado instale los drenes.
- Usar materiales de drenaje que sean uniformes a lo largo del dren lateral.

4. Obtención de datos

La obtención de datos no debe comenzar antes que el suelo alrededor de los drenes se haya asentado. Deben seguirse instrucciones estrictas en la obtención porque datos erróneos dan lugar a interpretación incorrecta no manifiesta. La frecuencia de mediciones debe adaptarse a la variabilidad de los parámetros en el tiempo, p. ej. profundidad de la capa freática, cargas hidráulicas y caudal. La mayor frecuencia de obtención de datos debe ser durante y después de tormentas y aplicaciones de riego. Para obtener información sobre heterogeneidad del suelo es recomendable instalar un número adicional de piezómetros a lo largo de al menos un dren. Pueden encontrarse recomendaciones válidas sobre cómo medir niveles de agua freática y cómo instalar piezómetros, p. ej. en Dieleman y Trafford (FAO, 1976).

5. Procesamiento y análisis de datos

El procedimiento para analizar datos debe enfatizar tendencias a largo plazo, porque pequeñas diferencias de funcionamiento entre drenes no son relevantes, ya que probablemente se deben a heterogeneidad del perfil del suelo. Deben analizarse cuidadosamente grandes diferencias antes de deducir conclusiones sobre el funcionamiento de envolturas. Muchos autores, como Wesseling (1967), Kessler (1970), Huinink (1991) y Ochs y Bishay (1992), han dado sugerencias sobre la forma de analizar el funcionamiento de drenes.

Es una práctica habitual en experimentos de campo evaluar el funcionamiento de materiales de drenaje según Dieleman y Trafford (FAO, 1976). En el procedimiento que ellos proponen, el caudal se mide conjuntamente con la pérdida total de carga y con la pérdida de carga a 0,40 m de distancia del centro del dren, que consideran más allá del límite de la zanja. Definen la diferencia vertical entre la última carga y la del centro de la tubería de drenaje como «pérdida de carga de entrada» y los datos obtenidos se utilizan para calcular la resistencia de entrada y para expresar la pérdida de carga de entrada como fracción de la pérdida de carga total. La resistencia de entrada que resulta de

estas mediciones es en realidad una «resistencia al flujo de aproximación» y la pérdida de carga asociada es la correspondiente «pérdida de carga del flujo de aproximación» (véase el Capítulo 4, Apartado *Resistencias al flujo de aproximación y entrada*).

Las principales razones por las que la resistencia de entrada definida por Dieleman y Trafford (FAO, 1976) difiere de la resistencia de entrada teórica son las siguientes:

- La pérdida de carga para el flujo de aproximación (h_{ap}) y la pérdida de carga para el flujo de entrada (h_e) son diferentes (véase el Capítulo 4, Apartado *Resistencias al flujo de aproximación y entrada*).
- El piezómetro para medir la pérdida de carga de entrada no está colocado en la interfase suelo/dren sino a cierta distancia.
- El tipo de flujo alrededor del dren no es completamente radial, ni siquiera cuando existe agua encima del dren.
- El agua entra en el dren solamente a través de un sector de su circunferencia.

La resistencia al flujo de aproximación (W_{ap}) obtenida a partir de ensayos de campo debería ser constante. Sin embargo, hay tantos factores asociados que es un parámetro bastante difícil de evaluar. Los factores que afectan a la resistencia al flujo de aproximación son los siguientes:

- Heterogeneidad del suelo y variabilidad espacial de la conductividad hidráulica.
- Variabilidad espacial del flujo de entrada al dren, incluso con suministro de agua uniforme.
- Heterogénea aportación de agua debida a aplicaciones de riego locales.
- Variabilidad de la pérdida de carga a lo largo de los drenes.

Dieleman y Trafford (FAO, 1976) establecieron clases para la «fracción de la pérdida de carga del flujo de aproximación» (Cuadro 11) y para la «resistencia al flujo de aproximación» o la «pérdida de carga del flujo de aproximación» (Cuadro 12).

Es necesario tener en cuenta que las clases de ambos cuadros son válidas para las condiciones para las que se han preparado (profundidad de drenes de 1,8 m; espaciamiento entre drenes de 50 m; profundidad de la capa de agua a 1,0 m uno o dos días después del riego y un caudal específico de 4 mm/d a esa profundidad de la capa freática). Los valores obtenidos para otras condiciones deben valorarse de otra forma (Dierickx, 1996b). Por tanto, no tiene sentido cualquier intento de comparar resistencias al flujo de aproximación deducidas de distintos ensayos de campo, salvo cuando todas las condiciones de los campos experimentales sean las mismas y estén bien documentadas.

Además, para proyectos de investigación de campo también pueden considerarse las siguientes recomendaciones (Ritzema, 1997):

- Tomar suficientes medidas para cubrir las necesidades de oficina y de otros recursos (personal, laboratorio y ordenadores).

CUADRO 11
Clasificación de acuerdo a la «fracción de la pérdida de carga del flujo de aproximación» (según Dieleman y Trafford, FAO, 1976)

Fracción de la pérdida de carga del flujo de aproximación h_{ap}/h_t	Funcionamiento de la línea de drenes
Menor de 0,2	Bueno
0,2 – 0,4	Moderado
0,4 – 0,6	Malo
Mayor de 0,6	Muy malo

CUADRO 12
Clasificación de acuerdo con la «resistencia al flujo de aproximación» o la «pérdida de carga del flujo de aproximación» (según Dieleman y Trafford, FAO, 1976)

Resistencia al flujo de aproximación W_{ap} (d/m)	Pérdida de carga del flujo de aproximación h_{ap} (m)	Funcionamiento de la línea de drenes
Menor de 0,75	Menor de 0,15	Bueno
0,75 – 1,50	0,15 – 0,30	Moderado
1,50 – 2,25	0,30 – 0,45	Malo
Mayor de 2,25	Mayor de 0,45	Muy malo

- Asegurar la posibilidad de acceso sin restricciones al área piloto en todo momento.
- Establecer acuerdos con los agricultores para su intervención activa en el proyecto.
- Mantener regularmente la red de seguimiento en un proyecto aparte.
- Proporcionar medios para almacenar datos de acuerdo con bases de datos y programas informáticos disponibles usados localmente.
- Procesar e interpretar los datos continuamente y de forma inmediata para detectar inconsistencias en datos, ensayos o en ambas cosas.
- Utilizar técnicas de presentación de datos (como gráficos y cuadros resumen) para una precisa interpretación de resultados.
- Formular propuestas para un seguimiento del proyecto, reformulación de objetivos, posiblemente decidir terminar los estudios o ajustar el programa de investigación en un proyecto subsiguiente.

RECOMENDACIONES PARA FUTURA INVESTIGACIÓN

Los estudios teóricos y la investigación de laboratorio y campo han contribuido a un incremento gradual del conocimiento sobre materiales de drenaje y su funcionamiento. Sin embargo, debido a la complejidad de las propiedades físicas del suelo algunos problemas no han sido aún resueltos adecuadamente, aunque estos problemas están apenas relacionados con los materiales de drenaje sino más bien con el tipo de suelo, su condición en el momento de la instalación y la precisión de la misma. Esto implica que el funcionamiento resultante de una línea de drenaje es en cierto modo impredecible, en mayor grado en «nuevas» áreas donde faltan o hay pocas investigaciones sistemáticas. En estas zonas hay un amplio espacio para investigaciones de «tipo reconocimiento». La mejor orientación es buscar campos con drenes que no funcionan o lo hacen mal, seguido por investigaciones sobre las causas y mecanismos de fallo.

La experiencia obtenida en los Países Bajos en la década de 1960 puede ser ilustrativa. Entonces distintas agencias llevaron a cabo un gran número de pruebas de campo con objeto de ensayar y comparar diferentes materiales para drenaje, con énfasis en la resistencia de entrada. A tenor de las expectativas de los investigadores los resultados fueron a menudo decepcionantes o absolutamente frustrantes. Generalmente, los datos medidos mostraban una amplia variación y apenas reflejaban una diferencia significativa entre los materiales de drenaje investigados. Los datos representados a menudo ofrecían diagramas dispersos que parecían, según las palabras de un investigador, «un cielo despejado de noche». Sin embargo, en los ensayos apenas se encontraron drenes funcionando realmente mal ni tampoco fallos absolutos, por lo que la conclusión pudo haber sido que no había razones para preocuparse en absoluto por las resistencias de entrada o, consecuentemente, sobre los materiales. Por otro lado, aparecían fallos en sistemas de drenaje en lugares dispersos pero no pudo establecerse una relación clara con los materiales. En proyectos a gran escala, un porcentaje bajo de fallos dieron lugar a un montón de quejas que frecuentemente llegaban a la «mesa del director».

Se consiguió un gran discernimiento a partir de una campaña de reconocimiento, especialmente llevada a cabo para identificar campos con drenes funcionando mal o (preferiblemente) sin funcionar. Cavelaars (1967) analizó los resultados de investigaciones realizadas en 64 parcelas. La búsqueda de fallos fue dificultosa porque los responsables de la instalación de drenes (contratistas, agencias supervisoras o ambos) no estaban dispuestos a reconocer errores en su trabajo. Las etapas subsiguientes consistieron en investigaciones de diagnóstico de campo mencionadas anteriormente para encontrar, tan exactamente como fuera posible, el método de instalación de drenes y las condiciones bajo las cuales se había hecho.

Tuberías de drenaje

Flujo de entrada a drenes

El cálculo de la capacidad de desagüe de tuberías de drenaje requiere conocer sus coeficientes de rugosidad, que se han determinado experimentalmente para todo tipo de tuberías de drenaje, tanto sin perforar como perforadas, y para flujo a capacidad plena o parcial. La capacidad de desagüe puede calcularse según dos principios: el de transporte y el de drenaje. El principio de drenaje, con una entrada de agua constante por unidad de longitud de dren y un caudal que aumenta gradualmente, corresponde más exactamente a las condiciones de campo que el principio de transporte, que asume que la tubería tiene un caudal constante a lo largo de toda su longitud (véase el Capítulo 4, Apartado *Capacidad de desagüe de tuberías de drenaje*).

Aún así es probable que la realidad sea diferente al concepto teórico de un flujo de entrada constante por unidad de longitud del dren, a causa de la heterogeneidad del flujo y de la obstrucción mineral. Las principales vías de movimiento de agua en el suelo son: vacíos entre agregados, macroporos hechos por lombrices y raíces de plantas, y capas de suelo de poco espesor horizontales y relativamente permeables (Stuyt, 1992a, 1992c). La precisión de la pendiente de drenes laterales también puede afectar la uniformidad de entrada de agua. Por ello, el concepto de un flujo de entrada constante por unidad de longitud de dren necesita más investigación. Es un tema importante porque este concepto no se usa solamente para el diseño de materiales de drenaje sino también para evaluar su funcionamiento en el campo.

Factor de seguridad para el diseño

La sedimentación e irregularidades de alineación en tuberías de drenaje pueden reducir su capacidad de desagüe hasta un 50 por ciento (El Atfy *et al.*, 1990). Las propiedades hidráulicas de tuberías de drenaje son bien conocidas, pero la precisión de la colocación y el futuro colmatado de la tubería necesitan la introducción de un coeficiente de reducción o un factor de seguridad. La cuestión es hasta qué punto se justifica ese factor de seguridad, considerando las técnicas modernas de instalación y el uso de materiales de drenaje fiables bien diseñados.

Envolturas de dren

Entrada de suelo en drenes

Los análisis con rayos X en muestras de dren revestido, hechos por Stuyt (1992a, 1992b, 1992c), mostraron que con frecuencia son bastante heterogéneos, tanto los tipos de flujo de agua cerca de los drenes en suelos con arena fina muy poco cohesivos, como la obstrucción mineral de envolturas. Estos hallazgos enfatizan la discrepancia entre teoría y práctica en relación con el análisis del flujo de agua cerca de drenes y de entrada a ellos. La consecuencia es que presumiblemente sea bastante difícil medir con precisión en un área piloto la pérdida de carga de entrada cerca de drenes. Las envolturas de dren pueden afectar el funcionamiento de un sistema de drenaje, pero con frecuencia predomina el efecto de las propiedades del suelo sobre la aceptación de agua por los drenes. Esta conclusión del trabajo de investigación de campo de Stuyt (1992a, 1992b, 1992c), junto con otra información existente a partir de investigación de laboratorio y experimentos de campo, limita sin duda la necesidad de posteriores investigaciones sobre envolturas de drenaje. Los criterios de diseño propuestos pueden aplicarse con éxito, siempre que tanto la obstrucción química como la microbiológica (especialmente la formación de ocre) sean improbables.

La entrada de suelo, reconocida por Stuyt (1992a) como formaciones con «forma de hongo» cerca de perforaciones, también fue mencionada por Van der Molen en un dren experimental en el Wieringermeerpolder, Países Bajos (comunicación personal) y en otros lugares por Dierickx (1986a) y Van der Louw (1986). Tanto Dierickx como Van

der Louw usaron un endoscopio de dren mientras que Stuyt usó una cámara de video en miniatura. Van der Louw y Stuyt asumieron que la formación con «forma de hongo» es el resultado de suelo que está siendo comprimido a través de envolturas de dren y de perforaciones de tubería. Van der Louw encontró este tipo de formaciones frescas dentro de drenes solamente una semana después de limpiarlos mediante inyección de agua y eran supuestamente debidas a compresión de suelo líquido por sobrecarga. Aún así, la acumulación de partículas de una en una durante un período substancial (al menos de meses) puede ser otra explicación válida para este fenómeno. Este tipo de entrada de suelo y su influencia sobre la aceptación de agua en el sistema de drenaje necesitan más investigación.

Obstrucción química y bioquímica

En caso de obstrucción, tanto química como bioquímica, puede necesitarse más investigación sobre la interacción entre envoltura, suelo y agente obstructivo. Esta investigación no puede hacerse en un laboratorio. Para investigar y cuantificar estos fenómenos de obstrucción se necesita un equipo sofisticado y caro. Sin embargo, los procesos asociados con esta clase de obstrucción, continuarán independientemente si se instala una envoltura o no. En estos casos pueden considerarse algunas medidas para el diseño. Si se necesita una envoltura es recomendable una sintética de estructura gruesa (es decir, con un espesor mayor de 5 mm). El mantenimiento regular de las líneas de dren es con frecuencia necesario aunque no siempre. Por ello, sería útil cuantificar la conveniencia de estas medidas y especialmente la adecuación de envolturas sintéticas de estructura gruesa en comparación con otros tipos.

Obstrucción por sustancias relacionadas al calcio

La formación de ocre es un fenómeno que ocurre con frecuencia y que ha recibido mucha consideración. Sin embargo, es menos conocida la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3) o yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en envolturas. Por ello, hay un amplio campo para investigación sistemática sobre deposiciones de cal y yeso en drenes de tubería, que podría incluir un inventario de la extensión del problema y las condiciones bajo las que probablemente se desarrolla.

Ensayo de laboratorio de PLM y geotextiles de fabricación local

En muchos países donde se usan convencionalmente envolturas de grava, se duda seriamente en aplicar a las envolturas convencionales alternativas sintéticas, debido fundamentalmente a falta de experiencia, especialmente en lo que se refiere a geotextiles importados. En muchos casos se dispone localmente de productos similares, que si fueran competitivos deberían considerarse seriamente como envolturas. Pueden ser apropiados para su uso como envoltura: fibras de desecho de fabricación de alfombras, urdimbres de alfombra tanto originales como modificadas y otros geotextiles producidos localmente. La investigación aplicada con permeámetros debería considerarse seriamente si no existe experiencia con esta clase de materiales. Este tipo de evaluación no contribuye al conocimiento básico de la interacción entre suelo y envoltura pero puede ser útil para:

- Superar la resistencia y dudas contra el uso de esos nuevos materiales propuestos.
- Evaluar la adecuación de estos materiales.
- Evaluar su funcionamiento en comparación con envolturas convencionales o importadas.
- Hacer una preselección de productos potencialmente adecuados para su posterior evaluación en el campo.

Propiedades del suelo

Aplicabilidad del gradiente de fallo hidráulico

En muchos casos la necesidad de envolturas no es aún predecible con precisión. Todavía no es posible establecer directrices inequívocas sobre la necesidad de envolturas, con la excepción de algunos suelos problemáticos específicos. Diferencias en el funcionamiento de varios materiales envolventes que tienen distintos parámetros no son fáciles de evaluar y solamente se distinguen algunas tendencias. También pueden llevarse a cabo ensayos con permeámetro para estimar la necesidad de envolturas de dren para un suelo específico, si las características del suelo no dan una respuesta decisiva. En este aspecto, el concepto del gradiente de fallo hidráulico (i_f) (véase el Capítulo 4, Apartado *Gradiente de fallo hidráulico*) introducido por Samani y Willardson (1981) necesita consideración adicional. Se podría obtener más experiencia con el i_f de un suelo, factor que fue propuesto para predecir la necesidad de una envoltura de dren.

Estabilidad de agregados

Se han propuesto varios métodos para determinar la estabilidad de agregados y se han aplicado con resultados variables. Es necesario desarrollar una técnica estándar para ser utilizada en drenaje. El efecto de la sodicidad de los suelos circundantes a drenes parece ser un aspecto interesante que necesita más investigación.

Capítulo 9

Normas para tuberías y envolturas

Las normas para tuberías de drenaje especifican las propiedades necesarias de los materiales (cerámica, hormigón y plásticos) con los que se confeccionan las tuberías y las especificaciones de estas materias primas, p. ej. en términos de su composición química y aditivos así como las resistencias de tuberías estándar. Para drenes de plástico, las normas generalmente especifican si se permite el uso de materias primas recicladas y en qué condiciones. Las dimensiones físicas también se especifican, p. ej. diámetros interno y externo, y tamaño y localización de perforaciones.

Las propiedades mecánicas de tuberías de drenaje se refieren al transporte, instalación y funcionamiento sin fallos. Requisitos importantes para tubos de cerámica y hormigón son la resistencia a la rotura y para plásticos la resistencia a impacto, fragilidad y rigidez de las tuberías a corto y largo plazo. Las tuberías flexibles solamente pueden deformarse ligeramente por efecto de la sobrecarga del suelo si están debidamente instaladas.

El uso de antioxidantes y de inhibidores ultravioletas en plásticos debe restringirse a cantidades que no cambien las propiedades mecánicas de las tuberías. Algunas especificaciones, como las normas ASTM, limitan a dos años el período de almacenamiento al aire libre pero otras normas no dan límite.

En proyectos de drenaje a gran escala, es de interés para ingenieros, contratistas y supervisores ensayar tuberías y envolturas para comprobar si los materiales de drenaje cumplen con las especificaciones establecidas en las licitaciones. En particular, este es el caso en países donde los materiales de drenaje no se suministran con certificados oficiales que garanticen el cumplimiento de ciertas normas.

Las normas existentes para materiales de drenaje procedentes de países con una larga historia de drenaje son útiles en países que virtualmente carecen de experiencia de drenaje y pueden usarse como referencia para preparar una norma nacional que se adapte a circunstancias específicas locales. Sin embargo, el número de parámetros ensayados debería limitarse para mantener el coste de ensayo dentro de límites razonables.

No siempre es necesario utilizar un equipo de ensayo sofisticado y en su lugar pueden usarse herramientas sencillas. Ocasionalmente pueden aplicarse reglas prácticas simples, como golpear un tubo de cerámica con un objeto metálico: un tubo de buena calidad debe dar un «sonido» claro. Otro procedimiento simple es tratar de aplastar un tubo de PVC corrugado de 50 mm de diámetro con una carga de peso conocido. La prueba de fragilidad en frío puede hacerse golpeando con un martillo después de haber tenido una sección de tubería en un frigorífico durante 12 horas.

El control de calidad continuo durante el proceso de fabricación es indispensable para mantener fuera del mercado tuberías de calidad inferior y materiales envolventes poco fiables. Muchos países donde se llevan a cabo importantes proyectos de drenaje subterráneo tienen sus propias normas nacionales o especificaciones para materiales de drenaje, que han sido preparadas por comités de normalización formados por especialistas de institutos públicos de investigación y de compañías privadas. Se han preparado normas para tubos de cerámica y hormigón y posteriormente para tuberías de plástico liso y corrugado. El uso de materiales envolventes de dren dio lugar a la elaboración simultánea de normas para envolturas.

En lugar de publicar una lista incompleta de las numerosas normas nacionales existentes con sus varios aspectos, se citan solamente como referencia las normas

de la «American Society of Testing Materials» (ASTM), algunas normas de Canadá, el borrador de norma de la Organización Internacional de Normalización (ISO) y el borrador de norma-EN del Comité Europeo de Normalización (CEN). Aunque los borradores de ISO y de la norma-EN no tienen fuerza legal, son el resultado de discusiones entre expertos de muchos países y organizaciones.

Para más detalles se hace referencia a las mismas normas o al Anexo que contiene el borrador de norma-EN sobre sistemas de tuberías de plástico corrugado, que aún no ha sido publicada y por tanto no está fácilmente disponible. Como este Anexo contiene los fundamentos y los conceptos sobre los que se basó la norma-EN no se ha incluido en él la norma-ISO.

PARÁMETROS DE ENSAYO PARA TUBERÍAS DE DRENAJE

El diámetro interno y externo con sus tolerancias se especifican para tuberías de drenaje y además generalmente se incluyen en las normas los siguientes parámetros:

Tubos de cerámica y hormigón

- Ovalado y curvatura.
- Verticalidad de los planos terminales.
- Resistencia a la alteración y deterioro en el suelo.
- Resistencia a ciclos de congelación y deshielo.
- Densidad.
- Absorción de agua.
- Resistencia a rotura.

Tubos de hormigón

Además de los anteriores:

- Resistencia a sulfatos.
- Resistencia a ácidos.

Tuberías de plástico

- Rigidez y resistencia a elongación.
- Resistencia a impacto y fragilidad.
- Flexibilidad y posibilidad de enrollado.
- Perforaciones y propiedades hidráulicas.
- Instrucciones de manejo e instalación.

La sustitución de tubos de cerámica y hormigón por tuberías de plástico corrugado restó importancia a las normas para tubos de cerámica y hormigón, aunque todavía son útiles en países donde todavía se instalan este tipo de tubos incluyendo drenes colectores de gran diámetro.

PARÁMETROS DE ENSAYO PARA ENVOLTURAS

Los requisitos para materiales envolventes de dren incluyen los siguientes parámetros:

Materiales granulares

- Granulometría o distribución del tamaño de partícula.
- Permeabilidad.
- Composición química.

PLM y geotextiles

- Apariencia.
- Espesor y masa por unidad de superficie.
- Tamaño de poro.

Geotextiles

Además de lo anterior:

- Permeabilidad.
- Capacidad de humectación.

NORMAS DE AMÉRICA DEL NORTE

Las especificaciones para tubos de cerámica en Estados Unidos de América incluyen tres clases: *estándar*, *calidad extra* y *alta prestación* y para tubos de hormigón se ha agregado una cuarta clase: *prestación especial*. Los tubos de calidad estándar son satisfactorios para drenes de tamaños y profundidades de instalación medios. Existe una serie de normas-ASTM para tubos de cerámica y hormigón. La última versión de las normas relevantes se presenta en el Cuadro 13.

Poco tiempo después de instalarse por primera vez tuberías de plástico corrugado en Estados Unidos de América, se vio la necesidad de contar con normas y la ASTM adoptó la primera norma en 1974 para tuberías y conexiones de PE corrugado (véase ASTM F405-97). En 1976, se agregó una norma para tuberías de gran diámetro (véase ASTM F667-97) y en 1983 se adoptó una norma para tuberías de PVC (ASTM F800-83), pero el trabajo de normalización para tuberías de PVC se interrumpió en 1992. Desde 1972 se han elaborado más de 30 normas ASTM para tuberías de plástico corrugado. En el Cuadro 14 se presenta una lista parcial de normas ASTM y de otras de Canadá y Estados Unidos de América.

CUADRO 13

Normas-ASTM para tubos de drenaje de cerámica y hormigón

Material y tipo	Norma
Dren de cerámica y dren perforado	ASTM C4-99 ¹
Dren de cerámica, perforado	ASTM C498-95
Tubo de cerámica, vitrificado, perforado	ASTM C700-99
Dren de hormigón	ASTM C412M-99
Tubo de hormigón, perforado	ASTM C444-95
Tubo de hormigón para riego o drenaje	ASTM C118M-99
Caño reforzado, desagüe de tormenta y tubería de saneamiento	ASTM C76-99
Tubería de saneamiento de hormigón, desagüe de tormenta y tubería para caño	ASTM C14M-99

¹ Los últimos dos dígitos indican el año de publicación de la última versión mientras que M indica que la norma está expresada en unidades SI (métricas)

CUADRO 14

Normas de Estados Unidos de América y Canadá para tuberías de plástico corrugado

Material y tipo	Diámetro interno nominal (mm)	Norma
Tuberías de plástico, drenaje	75-300	CGSB ¹ 41-GP-29Ma (1983)
Tuberías y conexiones de plástico	100-300	BNQ ² 3624-115 (1985)
Tuberías y conexiones de polietileno	75-150	ASTM F405-97
Tuberías de polietileno	200-300	ASTM F667-97
Tuberías de polietileno	100-200	USBR ³ (1974)
Tuberías de polietileno y de cloruro de polivinilo	250-300	USBR ³ (1981)
Tuberías y conexiones de cloruro de polivinilo	100-200	ASTM ⁴ F800-83
Tuberías de cloruro de polivinilo	100-200	USBR ³ (1976)
Tuberías de cloruro de polivinilo	75-300	SCS ⁵ 606 (1980)

¹ Canadian General Standard Board

² Bureau de Normalisation du Quebec

³ US Bureau of Reclamation (1993)

⁴ Revisión interrumpida en 1992

⁵ USDA Soil Conservation actualmente, actualmente: National Resource Conservation Services (NRCS, 1998)

NORMAS EUROPEAS

La Organización Internacional de Normalización (ISO) comenzó en 1973 a preparar una norma internacional «Especificación para tuberías y conexiones de cloruro de polivinilo sin plastificar (PVC-U) para drenaje subterráneo», cuyo borrador se publicó en 1985 (Schultz, 1990), pero el trabajo se interrumpió sin que hasta el momento se haya preparado la versión final.

En la Unión Europea se han establecido especificaciones técnicas, en principio dentro del Comité Europeo de Normalización (CEN). Debido a la creación de este Comité, tuvo que suspenderse todo trabajo nacional de normalización de los países participantes en temas que incluía la normalización europea, con lo que casi finalizó el trabajo de normalización de los estados miembros. Todos los países europeos y de la Asociación Europea de Libre Comercio (EFTA) pueden ahora participar en la coordinación y armonización de normas. Pueden participar representantes de ISO como observadores en las reuniones del CEN/TC. Siempre que es posible las decisiones se toman por consenso. Las normas europeas son obligatorias para todos los proyectos de licitación pública en la Unión Europea.

El Grupo de Trabajo 18 (WG 18) para drenaje de tierras, creado dentro del Comité Técnico 155 (TC 155) del CEN, fue encargado en 1990 de «Sistemas de tuberías de plástico y sistemas de conducciones». El CEN/TC155/WG18 (1994) preparó un primer borrador de norma europea (EN) «Sistemas de tuberías de plástico para drenaje de tierras agrícolas (PVC-U)»¹. Aunque el borrador ya ha pasado la etapa de información del CEN, no ha progresado desde entonces y está interrumpido como el trabajo de normalización de ISO sobre tuberías corrugadas. A pesar de ello, el borrador de norma contiene información útil que incluye requisitos funcionales generales para *tuberías, conexiones y envolturas*, así como una práctica de instalación recomendada.

En 1989 se estableció el CEN/TC189 con objeto de convenir procedimientos de ensayo comunes, métodos de identificación y técnicas de evaluación para *geotextiles*. El TC189 está trabajando en una serie de procedimientos de ensayo relevantes para geotextiles y productos relacionados con ellos, que serán comunes para todos los países participantes. La presentación en todos los países de valores índice se basará en los mismos métodos de ensayo, pero los requisitos serán responsabilidad de cada país. En la práctica, casi todos los geotextiles serán producidos y vendidos de acuerdo con normas-EN. En el Cuadro 15 se dan normas-EN relevantes para geotextiles usados como envolturas de drenaje.

El borrador de norma-EN para tuberías de PVC corrugado para drenaje de tierras también trata de envolturas de drenaje e incluye geotextiles y PLM. Esta parte del borrador de norma considera la clase de materiales envolventes de drenaje que se usan en la Unión Europea. Además, informa sobre el proceso de ensayo (equipo, procedimiento de medida, precisión, etc.). Las especificaciones están basadas en consenso y no corresponden necesariamente a las de ningún país en particular, aunque puede ser obvia la influencia de países con más experiencia.

¹ Cloruro de polivinilo sin plastificar

CUADRO 15

Norma europea (EN) para geotextiles y productos relacionados con ellos que pueden ser útiles cuando se usan como envolturas en drenaje agrícola

Título	Norma	Emitida
Identificación in situ	EN ISO 10320 ¹	1999
Muestreo y preparación de una muestra de ensayo	EN 963	1995
Determinación de espesor-capas simples	EN 964-1	1995
Masa por unidad de superficie	EN 965	1995
Geotextiles: vocabulario	PrEN 30318 ²	1998
Ensayo de tracción para uniones/junturas por el método de gran anchura	EN ISO 10321	1996
Método de simulación de daño de abrasión (bloque deslizante)	EN ISO 13427	1998
Ensayo de punzadura estática	EN ISO 12236	1996
Ensayo de tracción de gran anchura	EN ISO 10319	1996
Permeabilidad al agua	EN ISO 11058	1999
Tamaño de abertura	EN ISO 12956	1999
Capacidad de flujo de agua en el plano	EN ISO 12958	1999
Resistencia a penetración de agua	prEN 13562	1999
Permeabilidad al agua bajo carga	CEN/TC189/WI26 ³	1999
Resistencia a alteración	ENV 12224 ⁴	1996
Resistencia a degradación microbiológica	ENV 12225	1996
Ensayos generales para evaluación después de ensayar durabilidad	ENV 12226	1996
Resistencia a hidrólisis	ENV 12447	1997
Resistencia a líquidos	ENV ISO 12960 ¹	1998

¹ EN ISO o ENV ISO es tanto una norma EN (o una ENV) como una norma ISO

² prEN es un borrador de norma aún no finalizado

³ El ítem de trabajo 26 de CEN/TC 189 está en estudio

⁴ ENV es una norma previa, establecida como una norma prospectiva para aplicación provisional (período de validez de 2 años)

Referencias

- Abdel-Dayem, M.S. 1987. Development of land drainage in Egypt. En: Proc. Symp. 25th International Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience. J. Vos (ed.). *Publ. 42*, ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 195-204.
- Abdel-Dayem, M.S., Ritzema, H.P., El-Atfy, H.E. y Amer, M.H. 1989. Pilot areas and drainage technology. En: *Land Drainage in Egypt*. M.H. Amer y N.A. de Ridder (eds.). DRI, El Cairo, pp. 103-161.
- Ami, S. R. 1987. *Drainage Pipe Testing Manual*. Canadian International Development Agency (CIDA), Hull, Quebec, Canadá.
- Antheunisse, J. 1979. Observations on the decomposition of coconut fibres. *J. Gen. Appl. Microbiol.* **25**: 273-277.
- Antheunisse, J. 1980. The breakdown of coconut fibres by *Trametes Versicolor* and *Stereum Rugosum*. *J. Gen. Appl. Microbiol.* **26**: 167-170.
- Antheunisse, J. 1981. Decay of coconut fibres by soil microorganisms. *J. Gen. Appl. Microbiol.* **27**: 435-442.
- Antheunisse, J. 1983. Biological and chemical inhibition of ligno-cellulose decay by white rot basidiomycetes. *J. Gen. Appl. Microbiol.* **29**: 257-269.
- Antheunisse, J. 1984. Biological and chemical inhibition of coir decomposition under imitated field conditions. *J. Gen. Appl. Microbiol.* **30**: 245-248.
- ASTM C4-99. 1999. *Standard Specification for Clay Drain Tile and Perforated Clay Drain Tile*. ASTM, West Conshohocken, PA, Estados Unidos de América.
- ASTM C14M-99. 1999. *Standard Specification for Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe*. ASTM, West Conshohocken, PA, Estados Unidos de América.
- ASTM C76-99. 1999. *Standard Specification for Reinforced Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe*. ASTM, West Conshohocken, PA, Estados Unidos de América.
- ASTM C118M-99. 1999. *Standard Specification for Concrete Pipe for Irrigation or Drainage*. ASTM, West Conshohocken, PA, Estados Unidos de América.
- ASTM C412M-99. 1999. *Standard Specification for Concrete Drain Tile*. ASTM, West Conshohocken, PA, Estados Unidos de América.
- ASTM C444M-95. 1995. *Standard Specification for Perforated Concrete Pipe*. ASTM, West Conshohocken, PA, Estados Unidos de América.
- ASTM C498-95. 1995. *Specification for Perforated Clay Drain Tile*. ASTM, West Conshohocken, PA, Estados Unidos de América.
- ASTM C700-99. 1999. *Specification for Vitrified Clay Pipe, Extra Strength, Standard Strength, and Perforated*. ASTM, West Conshohocken, PA, Estados Unidos de América.
- ASTM D5101-96. 1996. *Standard Test Method for Measuring the Soil-geotextile System Clogging Potential by the Gradient Ratio*. ASTM, West Conshohocken, PA, Estados Unidos de América.
- ASTM F405-97. 1997. (Substituye a ASTM 405-74, 1974). *Standard Specification for Corrugated Polyethylene (PE) Tubing and Fittings*. ASTM, West Conshohocken, PA, Estados Unidos de América.
- ASTM F667-97. 1997. (Substituye a ASTM F667-76, 1976). *Standard Specification for Large Diameter Corrugated Polyethylene Pipe and Fittings*. ASTM, West Conshohocken, PA, Estados Unidos de América.
- ASTM F800-83. 1983. *Specification for Corrugated Polyvinyl Chloride (PVC) Tubing and Fittings*. ASTM, West Conshohocken, PA, Estados Unidos de América.
- Ayers, R.S. y Westcot, D.W. 1985. Water quality for agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Paper 29 (Rev. 1)*. Roma.

- Bertram, G.E.** 1940. An experimental investigation of protective filters. *Harvard Soil Mechanics Series 7*. Pierce Hall Harvard University.
- Blom, E.** 1987. Omhullingsmaterialen voor drainbuizen: veldonderzoek naar inspoeling en vertering [Envelope materials for drain pipes: field investigation into pipe sedimentation and envelope decomposition]. *Report of the Government Service of Land and Water Use*, Goes, Países Bajos.
- BNQ 3624-115.** 1985. *Tubes annelés et raccords de thermoplastique pour drainage des sol* [Corrugated Thermoplastic Pipes and Fittings for Land Drainage]. Bureau de Normalisation de Québec. Ministère de l'Industrie et du Commerce, Canadá.
- Bons, A. y Van Zeijts, T.E.J.** 1991. Jet flushing, a method for cleaning subsurface drainage systems. *Information Paper 28*, Government Service for Land and Water Use, Utrecht, Países Bajos.
- Boumans, J.H.** 1963. Over instroming en aanstroming bij draineerbuizen zonder en met afdekking [On flow into and towards drainpipes with and without cover sheet]. *Cultuurtechnisch Tijdschrift*, 2: 218-229.
- Boumans, J.H.** 1988. Stromingsformules voor drainage ribbelbuis (Flow formulae for corrugated drainpipes). *Tijdschrift voor Cultuurtechniek* 1: 41-46.
- Brinkhorst, W., van der Linde K. y Scholten, J.** 1983. Ervaringen met het doorspuiten van drains in het Lauwersmeergebied [Experiences with jetting of pipe drains in the Lauwersmeer area]. *Report 6 abw*, R.I.J.P., Lelystad, Países Bajos.
- Busser, J.W. y Scholten, J.** 1979. Drainage maintenance in The Netherlands. En: Proc. Internat. Drain. Workshop. J. Wesseling (ed.). *Publ. 25*, ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 424-438.
- Cavelaars, J.C.** 1966. *Hydrological Aspects of the Application of Plastic Drain Pipes and Filter Materials*. Koninklijke Nederlandsche Heidemaatschappij, Arnhem, Países Bajos.
- Cavelaars, J.C.** 1967. Problems of water entry into plastic and other drain tubes. Proc. Agr. Eng. Symp. *A.E.S. Paper 5/E/46*, Nat. Coll. of Agr. Eng., Silsoe, Reino Unido.
- Cavelaars, J.C.** 1970. *Toestromingsweerstand bij buisdrainage* [Approach Flow Resistance near Drainpipes]. Kon. Ned. Heidem., Afdeling Onderzoek, Arnhem, Países Bajos.
- Cavelaars, J.** 1974. Subsurface field drainage systems. En: Drainage Principles and Applications. Design and Management of Drainage Systems. *Publ. 16*, Vol. IV, ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 1-65.
- Cavelaars, J.C.** 1979. Composing a drainage pipe line out of sections with different diameters. En: Proc. Internat. Drain. Workshop. J. Wesseling (ed.), *Publ. 25*, ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 402-423.
- Cavelaars, J.C.** 1987. Comment made during discussion in session 4 in ILRI Symposium. En: Proc. Symp. 25th Internat. Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience. J. Vos (ed.). *Publ. 42*, ILRI, Wageningen, Países Bajos.
- Cavelaars, J.C., Vlotman, W.F. y Spoor, G.** 1994. Subsurface drainage systems. En: Drainage Principles and Applications. H.P. Ritzema (ed.). *Publ. 16*, 2nd ed. (completamente revisada), ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 827-929.
- CEMAGREF.** 1983. Le colmatage des drains agricoles: Etat des connaissances en France en 1983 [Clogging of Agricultural Drains: Current Knowledge in France in 1983]. *Information Techniques 51-5*, CEMAGREF, Groupement d'Antony, Francia.
- CEN/TC155/WG18.** 1994. *Plastics Piping Systems for Agricultural Land Drainage (PVC-U)*. CEN, Bruselas.
- CEN/TC189/WI26.** 1999. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Determination of Water Permeability Characteristics Normal to the Plane, with Load*. CEN, Bruselas.
- Cestre, T. y Houot, S.** 1984. Nettoyage sous pression de deux réseaux de drainage agricole. Efficacité d'un matériel sur différents types de colmatage [Jetting of Drains at Two Sites. Efficiency for Different Types of Clogging]. *Bulletin 313*, CEMAGREF, Groupement d'Antony, Francia.
- CGSB 41-GP-29Ma.** 1983. *Corrugated Plastic Drainage Tubing*. Canadian General Standard Board, Department of Supply and Services, Ottawa, Ontario, Canadá.

- Chapman, D.** 1956. Ditches dykes and deep-drainage. *Young Farmer's Club Booklet 29*. Evans Brothers LTD, Londres.
- Childs, E.C. y Youngs, E.G.** 1958. The nature of the drain channel as a factor in the design of a land-drainage system. *Journ. Soil Sci.* **9**, **2**: 316-331.
- Chin, Y.M., Nikraz, H.R. y Press, M.** 1994. Laboratory filtration performance of nonwoven geotextiles. En: *Proc. 5th Internat. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*. G.P. Karunaratne, S.H. Chew & K.S. Wong (eds.). Singapore, Vol. 2: 635-638.
- CPVQ.** 1989. Drainage souterrain [Subsurface drainage]. *Agdex 555*. Cahier des normes. Conseil des Productions Végétales du Québec - Vegetal Production Board of Quebec. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation du Québec, Canadá.
- De la Torre, A.A.** 1987. Drainage and land reclamation in Peru. En: *Proc. Symp. 25th Internat. Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience*. J. Vos (ed.). *Publ. 42*, ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 268-277.
- Dennis, C.W. y Trafford, B.D.** 1975. The effect of permeable surrounds on the performance of clay field drainage pipes. *J. of Hydrol.* **24**: 239-249.
- Desmond, E.D. y Schwab, G.O.** 1986. Ultraviolet degradation of corrugated plastic tubing. *Transactions of the ASAE* **29**, **2**: 467-472.
- Dieleman, P.J. y Trafford, B.D.** 1976. Drainage testing. *FAO Irrigation and Drainage Paper 28*. Roma.
- Dierickx, W.** 1980. Electrolytic analogue study of the effect of openings and surrounds of various permeabilities on the performance of field drainage pipes. *Report 77*, Comm. of the Nat. Inst. for Agr. Eng., Merelbeke, Bélgica.
- Dierickx, W.** 1986a. Soil invasion into drain pipes. En: *Agricultural Water Management, Proc. Symp. on Agric. Water Management*. A.L.M. Van Wijk y J. Wesseling (eds.). A.A. Balkema, Rotterdam, Países Bajos, pp 151-161.
- Dierickx, W.** 1986b. Field experience and laboratory research on drainage envelopes. En: *Proc. of Internat. Seminar on Land Drainage*. J. Saavalainen y P. Vakkilainen (eds.). Helsinki University of Technology, Finlandia, pp. 51-60.
- Dierickx, W.** 1987. Choice of subsurface drainage materials. *ASAE-paper 87-2589, 1987*. Winter Meeting of the ASAE. Chicago, IL, Estados Unidos de América.
- Dierickx, W.** 1988. *Drainage Envelope Research*. Pilot Areas and Drainage Technology Project. Drainage Research Institute, El-Kanater, El Cairo.
- Dierickx, W.** 1990. *Onderzoek naar een slibvang voor de jachthaven Van Antwerpen* [Research on a Sediment Trap for the Yacht-basin of Antwerp]. Internal Report. Research Station for Agricultural Engineering, Merelbeke, Bélgica.
- Dierickx, W.** 1991. Laboratory and field research on subsurface drainage envelopes in Pakistan. *Report 90/08*. International Waterlogging and Salinity Research Institute (IWASRI), Lahore, Pakistán.
- Dierickx, W.** 1992a. *Research on Synthetic Envelopes for Subsurface Drainage in Egypt*. Pilot Areas and Drainage Technology Project. Drainage Research Institute, El-Kanater, El Cairo.
- Dierickx, W.** 1992b. Use of drainage materials-research on developments in selecting drainage materials. En: *Proc. 5th Internat. Drainage Workshop*. W.F. Vlotman (ed.). Lahore, Pakistán, Vol. I, pp. 95-115.
- Dierickx, W.** 1993. Research and developments in selecting subsurface drainage materials. *Irrigation and Drainage Systems* **6**: 291-310.
- Dierickx, W.** 1994. *Data Analysis of Laboratory and Field Research on Synthetic Envelopes for Pipe Drainage*. IWASRI, Lahore, Pakistán.
- Dierickx, W.** 1996a. Determination of water penetration resistance of geotextiles. En: *Proc. Symposium on Recent Developments in Geotextile Filters and Prefabricated Drainage Geocomposites*. S.K. Bhatia y L.D. Suits (eds.), *ASTM STP 1281*, pp. 65-74.
- Dierickx, W.** 1996b. Field research on drainage envelope materials. *Internal Report 96/5*, IWASRI, Lahore, Pakistán.

- Dierickx, W. 1998a. Changes in specific properties of PVC drains under various storage conditions. *Agric. Water Manage.* 37, 2: 109-119.
- Dierickx, W. 1998b. Unpublished research results on weathering of loose polypropylene fibre wrappings for drain pipes. Research Station for Agricultural Engineering, Merelbeke, Bélgica.
- Dierickx, W. 1998c. *Training Course on Drainage Envelope Research*. CSSRI, Karnal, India. ILRI, Wageningen, Países Bajos.
- Dierickx, W. 1999. Non-ideal drains. En: *Agricultural Drainage*. R.W. Skaggs y J. Van Schilfhaarde (eds.). *Agron. Monogr.* 38. ASA, CSSA, y SSSA, Madison, WI, Estados Unidos de América, pp. 297-330.
- Dierickx, W. y Leyman, N. 1991. *Drainage van landbouwgronden: theorie, criteria, materialen* [Drainage of Agricultural Soils: Theory, Criteria, Materials]. Ministerie Van de Vlaamse Gemeenschap, Bestuur Landinrichting en -beheer, Vlaamse Landmaatschappij, Bélgica.
- Dierickx, W. y Van der Sluys, L. 1990. Research into the Functional Hydraulic Properties of Geotextiles. En: *Proc. 4th Internat. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*. G. den Hoedt (ed.). A.A. Balkema, Rotterdam. La Haya, Países Bajos. Vol. 1, pp. 285-288.
- Dierickx, W. y Yüncüoğlu, H. 1982. Factors affecting the performance of drainage envelope materials in structural unstable soils. *Agric. Water Manage.* 5: 215-225.
- Dierickx, W., Bhutta, M.N., Shafiq-ur-Rehman y Rafiq, W. 1995. Laboratory evaluation of synthetic drain envelopes. *Publication 145*, IWASRI, Lahore, Pakistán.
- Dierickx, W., Lennoz-Gratin, C. y Stuyt, L.C.P.M. 1987. Joint European research into land drainage envelopes. En: *Drainage design and management. Proc. of the 5th Nat. Drainage Symp.* ASAE, St. Joseph, MI, Estados Unidos de América, pp. 406-415.
- DRI, 1997. Practical experiences with trenchless drainage (V-plow) in Egypt. *Technical Report 92*. DRI, Cairo/ILRI, Wageningen, Países Bajos/Euroconsult, Arnhem, Países Bajos.
- Eggelsmann, R. 1978. *Subsurface Drainage Instructions*. Paul Parey, Hamburg, Alemania.
- Eggelsmann, R. 1982. Two decades of experience with drainage filters in the Federal Republic of Germany. En: *Advances in Drainage. Proceedings 4th Nat. Drainage Symp.* ASAE, St. Joseph, MI, Estados Unidos de América, pp. 115-120.
- El Atfy, H., Wahid El Din, O., El Gamaal, H. y Ritzema, H.P. 1990. Hydraulic performance of subsurface collector drains in Egypt. En: *Symp. on Land Drainage for Salinity Control in Arid and Semi-Arid Regions*, El Cairo, Vol. 3, pp. 393-405.
- EN 963. 1995. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Sampling and Preparation of Test Specimens*. CEN, Bruselas.
- EN 964-1. 1995. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Determination of Thickness at Specified Pressures-Part 1: Single layers*. CEN, Bruselas.
- EN 965. 1995. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Determination of Mass per Unit Area*. CEN, Bruselas.
- EN ISO 10319. 1996. *Geotextiles - Wide-width Tensile Test*. CEN, Bruselas.
- EN ISO 10320. 1999. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Identification on Site*. CEN, Bruselas.
- EN ISO 10321. 1996. *Geotextiles-Tensile Test for Joints/seams by Wide Width Method*. CEN, Bruselas.
- EN ISO 11058. 1999. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Determination of Water Permeability Characteristics Normal to the Plane, without Load*. CEN, Bruselas.
- EN ISO 12236. 1996. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Static Puncture Test (CBR-Test)*. CEN, Bruselas.
- EN ISO 12956. 1999. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Determination of the Characteristic Opening Size*. CEN, Bruselas.
- EN ISO 12958. 1999. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Determination of Water Flow Capacity in their Plane*. CEN, Bruselas.

- EN ISO 13427. 1998. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Abrasion Damage Simulation*. CEN, Bruselas.
- ENV 12224. 1996. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Determination of Resistance to Weathering*. CEN, Bruselas.
- ENV 12225. 1996. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Method for Determining the Microbiological Resistance by a Soil Burial Test*. CEN, Bruselas.
- ENV 12226. 1996. *Geotextiles and Geotextile-related Products - General Tests for Evaluation Following Durability Testing*. CEN, Bruselas.
- ENV 12447. 1997. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Screening Test Method for Determining the Resistance to Hydrolysis*. CEN, Bruselas.
- ENV ISO 12960. 1998. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Screening Test Method for Determining the Resistance to Liquids*. CEN, Bruselas.
- Ernst, L.F. 1954. Het berekenen van stationaire grondwaterstromingen, welke in een vertikaal vlak afgebeeld kunnen worden [The computation of steady state groundwater flows, which can be projected in the vertical plane]. *Rapport IV*. Landbouwproefstation en Bodemk. Inst. T.N.O. Groningen, Países Bajos.
- FAO. 1972. Drainage materials. *FAO Irrigation and Drainage Paper 9*. Roma.
- FAO. 1976. Drainage testing. P.J. Dieleman y B.D. Trafford. *FAO Irrigation and Drainage Paper 28*. Roma.
- FAO. 1985. Water quality for agriculture. R.S. Ayers y D.W. Westcot. *FAO Irrigation and Drainage Paper 29 (Rev. 1)*. Roma.
- FAO. 1990. *Guidelines for Soil Profile Description, 3rd ed. (revisada)*. Soil Resources, Management and Conservation Service, Land and Water Development Division, Roma.
- FAO. 2007. Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems. W.H. van der Molen, J. Martínez Beltrán y W.J. Ochs. *FAO Irrigation and Drainage Paper 62*. Roma.
- FAO e ICID. 1997. Management of agricultural drainage water quality. C.A. Madramootoo, W.R. Johnston y L.S. Willardson. 1997. *Water Report 13*. Roma.
- Faure, Y. 1991. Développements récents de la recherche sur les problèmes de filtration pour géotextiles [Recent research developments on filtration problems of geotextiles]. En: *Colmatage des drains et enrobages: état des connaissances et perspectives (Clogging of Drains and Envelopes: State of Knowledge and Perspectives)*. N. Linard (ed.). CEMAGREF, Groupement d'Antony, Francia, pp. 83-97.
- Feichtinger, F. 1966. Die Wasseraufnahmefähigkeit der Dränrohre. Ein Vergleich von Ton- und Kunststoffrohrdränen [The water uptake capacity of drain pipes. A comparison between clay and plastic drain pipes]. *Österreichische Wasserwirtschaft* 18, 11/12: 247-255.
- Fischer, G.R., Holtz, R.D. y Christopher, B.R. 1994. Filtration behaviour of broadly graded, cohesionless tills. En: *Proc. 5th Internat. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*. G.P. Karunaratne, S.H. Chew y K.S. Wong (eds.). Singapore, Vol 2, pp. 659-662.
- Ford, H.W. 1979. Characteristics of slimes and ochre in drainage and irrigation systems. *Transactions ASAE* 22, 5: 1093-1096.
- Ford, H.W. 1980. The problem of dripper clogging and methods for control. *Proc. Symp. Drip Irrig. in Hort.* Skierniewice, Polonia, 1: 99-105.
- Ford, H.W. 1982a. Biological clogging of drain envelopes. En: *Proc. 2nd Internat. Drainage Workshop*, Washington, DC, pp. 215-220.
- Ford, H.W. 1982b. Estimating the potential for ochre clogging before installing drains. *Transactions ASAE* 25, 6: 1597-1600.
- Framji, K.K., Garg, B.C. y Kaushish, S.P. (eds.). 1987. *Design Practices for Covered Drains in an Agricultural Land Drainage System*. ICID, Nueva Delhi.
- Heeres, J., Kreeftenberg, H.W. y Nieboer, R.H. 1985. Het doorspuiten van drains onder hoge druk [High pressure cleaning]. *Landbouwmecanisatie* 36-12. Wageningen, Países Bajos.

- Henkin, E.** 1987. Twenty-five years of drainage in Israel. En: Proc. Symp. 25th Internat. Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience. J. Vos (ed.). *Publ.* 42, ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 205-215.
- Huinink, J.T.M.** 1991. *Drainage proefveld "Staverense Noordermeer"* [Land Drainage Pilot Area "Staverense Noordermeer"]. IKC, Ede, Países Bajos.
- Huinink, J.T.M.** 1992. Herziening keuzetabel drainage omhullingsmateriaal [Revision of Selection Criteria for Envelope Materials]. *Landinrichting* 32, 3: 31-33.
- ICID.** 1996. *Multilingual Technical Dictionary on Irrigation and Drainage*. Ed. revisada. Nueva Delhi.
- Irwin, R.W.** 1982. Hydraulic roughness of corrugated plastic tubing. En: *Proc. 2nd Internat. Drainage Workshop*. Washington, DC, pp. 52-62.
- Irwin, R.W.** 1984. Corrugated pipe flow rate from pipe geometry. *Journ. Irr. and Drainage Eng.* 2: 237-241.
- ISO 811.** 1981. *Textile Fabrics - Determination of Resistance to Water Penetration - Hydrostatic Pressure Test*. ISO, Ginebra, Suiza.
- ISO 10318.** 1990. *Geotextiles - Vocabulary*. ISO, Ginebra, Suiza.
- ISO/DIS 8771.** 1985. *Pipes and Fittings of Unplasticized Polyvinyl Chloride (PVC-U) for Sub-soil Drainage - Specification*. ISO, Ginebra, Suiza.
- IWASRI.** 1997. *Iwasri News* 4, 3: 2. IWASRI, Lahore, Pakistán.
- Jarman, C.G. y Jayasundera, D.S.** 1975. The extraction and processing of coconut fibre. *Report G94*, Tropical Products Institute, Ministry of Overseas Development, Londres.
- Juusela, T.** 1958. On methods of protecting drain pipes and on the use of gravel as a protective material. *Acta Agr. Scand.* VIII, 1: 62-87.
- Kabina, P. y Dierickx, W.** 1986. Wirksamkeit ausgewählter dränfilter aus fasern in lehm Boden [Performance of selected drain pipe fibre envelopes in a silty soil]. *Z.f. Kulturtechnik und Flurbereinigung* 27: 329-338.
- Karpoff, K.P.** 1955. The use of laboratory tests to develop design criteria for protective filters. *Amer. Soc. Test. Mater.* 55: 1183-1198.
- Kessler, J.** 1970. Data processing and analysis. En: Deriving soil hydrological constants from field drainage tests. P.J. Dieleman, 1974. *Publ.* 16, Vol. III, ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 329-350.
- Knops, J.A.C. y Dierickx, W.** 1979. Drainage materials. En: Proc. Internat. Drain. Workshop. J. Wesseling (ed.). *Publ.* 25, ILRI, Wageningen, Países Bajos, p. 14-38.
- Knops, J.A.C., Zuidema, F.C., Van Someren, C.L. y Scholten, J.** 1979. Guidelines for the selection of envelope materials for subsurface drains. En: Proc. Internat. Drain. Workshop. J. Wesseling (ed.). *Publ.* 25, ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 439-450.
- Koenigs, F.F.R.** 1964. Vochtgehalte bij de bewerking en doorlatendheid van zandgronden [The impact of soil water content and mechanical manipulation on the hydraulic conductivity of sandy soils]. *Tijdschrift Koninklijke Nederlandse Heidemaatschappij* 75, 12: 617-627.
- Kruse, E.G.** 1962. Design of gravel packs for wells. *Amer. Soc. Agr. Eng., Trans.* 5, 2: 197-199.
- Lagacé, R.** 1983. *Predicting Drain Silting Potential*. Ph.D.-Thesis, North Carolina State University, Dept. of Biol. and Agric. Eng., Raleigh, NC, Estados Unidos de América.
- Lechler GmbH.** 1980. Manufacturer of High Pressure Drain Jetting Equipment. P.O. Box 1709, D-7012 Fellbach, Alemania.
- Lennoz-Gratin, C.** 1987. The use of geotextiles as drain envelopes in France in connection with mineral clogging risks. *Geotextiles and Geomembranes* 5, 2: 71-89.
- Lennoz-Gratin, C.** 1992. Envelopes to prevent pipe mineral clogging of subsurface drainage systems: a review of French standards. En: *Proc. 5th Internat. Drainage Workshop*. W.F. Vlotman (ed.). Lahore, Pakistán, Vol. III, pp. 5.18-5.25.

- Lennoz-Gratin, C. y Zaïdi, K.** 1987. *Hydraulique au voisinage du drain* [Hydraulics in Drain Vicinity]. Série Hydraulique Agricole. CEMAGREF, Groupement d'Antony, France, 2: 1-139.
- Lennoz-Gratin, C., Lesaffre, B. y Penel, M.** 1992. Diagnosis of mineral clogging hazards in subsurface drainage systems. En: *Proc. 5th Internat. Drainage Workshop*. W.F. Vlotman (ed.). Lahore, Pakistán, Vol. II, pp. 1.36-1.45.
- Luthin, J.** 1978. *Drainage Engineering*. Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington, NY, Estados Unidos de América.
- Luthin, J.N. y Haig, A.** 1972. Some factors affecting flow into drainpipes. *Hilgardia* 41, 10: 235-245.
- Madramootoo, C.A., Johnston, W.R. y Willardson, L.S.** 1997. Management of agricultural drainage water quality. *FAO Water Report 13*, FAO/ICID, Roma.
- Martínez Beltrán, J.** 1978. Drainage and Reclamation of Salt-affected Soils. *Publ. 24*, ILRI, Wageningen, Países Bajos.
- Martínez Beltrán, J.** 1987. Drainage in Spanish land reclamation projects. En: *Proc. Symp. 25th Internat. Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience*. J. Vos (ed.). *Publ. 42*, ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 180-194.
- Meijer, H.J.** 1973. Enkele bepalingen van de factoren die gebruikt worden bij de kwaliteitseisen voor turfvezel voor drainedoeleinden [Some determinations of the factors which are used in conjunction with quality requirements for peat fibres which are applied for drainage purposes]. *Note 781*, ICW, Wageningen, Países Bajos.
- Meijer, H.J. y Knops, J.A.C.** 1977. Veldonderzoek naar de bestendigheid van cocosvezels als afdek- en omhullingsmateriaal voor drainbuizen [Field survey into the persistency of coconut fibres as cover and wrapping material for drain pipes]. *Misc. Reprints 201*, ICW, Wageningen, Países Bajos.
- Merriam-Webster.** 1993. *Collegiate Dictionary 10th ed.* Merriam-Webster Inc., Springfield, MA, Estados Unidos de América.
- Metzger, J.F., Gallichand, J., Amer, M.H. y Bricchieri-Colombi, J.S.A.** 1992. Experiences with fabric envelope selection in a large subsurface drainage project in Egypt. En: *Proc. 5th Internat. Drainage Workshop*. W.F. Vlotman (ed.). Lahore, Pakistán, Vol. III, pp. 5.77-5.87.
- Mortensen, J.R.** 1987. Comment made during discussion in sessions 1 and 4 in ILRI Symposium. En: *Proc. Symp. 25th Internat. Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience*. J. Vos (ed.). *Publ. 42*, ILRI, Wageningen, Países Bajos.
- Murillo, J.L.** 1987. Land drainage in the Atlantic region of Costa Rica. En: *Proc. Symp. 25th Internat. Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience*. J. Vos (ed.). *Publ. 42*, ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 286-290.
- Nieuwenhuis, G.J.A. y Wesseling, J.** 1979. Effect of perforation and filter material on entrance resistance and effective diameter of plastic drain pipes. *Agric. Water Manage.* 2: 1-9.
- NFU 51-161.** 1990. *Drainage agricole. Produits d'enrobage: essai en perméamètre* (Agricultural Drainage. Envelope Products: Permeameter Tests). AFNOR, París.
- NRCS.** 1998. *Subsurface Drainage Standard and Specification 606*. U.S. Department of Agriculture, Natural Resource Conservation Service, Washington, DC.
- Ochs, W.J. y Bishay, G.B.** 1992. Drainage guidelines. *Technical Paper 195*. Banco Mundial, Washington, DC.
- Olbertz, M.H. y Press, H.** 1965. Landwirtschaftlichen Wasserbau [Agricultural water management]. En: *Taschenbuch der Wasserwirtschaft. Wasser und Boden, 4th ed.*. H. Press (ed.). Hamburg, Alemania, pp. 447-555.
- Oosterbaan, R.J.** 1998. *Comunicación personal*. Técnico de ILRI, Wageningen, Países Bajos.
- Personal del Proyecto Rajad.** 1995. *Analysis of Subsurface Drainage Design Criteria*. Rajasthan Agricultural Drainage Research Project (Rajad). Chambal Command Area Development, Rajasthan, India.

- Peschl, I.A.S.Z.** 1969. *Gewelforming in bunkers* [The Development of Stable Arches in Bunkers]. Ph.D. Thesis. Technical University, Eindhoven, Países Bajos.
- Pillsbury, A.F.** 1967. Observations on tile drainage performance. *Proc. ASCE* **93**, IR3: 233-241.
- prEN 13562.** 1999. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Determination of Penetration Resistance by Water (Hydrostatic Head Test)*. CEN, Bruselas.
- prEN 30318.** 1998. *Geotextiles and Geotextile-related Products - Terminology (draft)*. CEN, Bruselas.
- Qureshi, S., Kogler, R.M. y Bhatia, S.K.** 1990. Long term filtration behaviour of nonwoven geotextiles. En: *Proc. 4th Internat. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*. G. den Hoedt (ed.). A.A. Balkema, Rotterdam, Países Bajos, Vol. 1, pp. 279-283.
- Rankilor, P.R.** 1992. *UTF Geosynthetics Manual - a Technical Manual for the Design of UTF Geosynthetics into Civil and Marine Engineering Projects*. UCO Technical Fabrics NV, Lokeren, Bélgica.
- Richards, L.A.** 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. *USDA Handbook 60*, Washington, DC.
- Ritzema, H.P.** 1997. Report on the drainage research course; Indo-Dutch network programme for operational research on the control of waterlogging and salinization in irrigated agricultural lands. *Unpubl. working paper*, ILRI, Wageningen, Países Bajos.
- Rollin, A.L., Broughton, R.S. y Bolduc, G.F.** 1987. Thin synthetic envelope materials for subsurface drainage tubes. *Geotextiles and Geomembranes* **5**, 2: 99-122.
- Rozendaal, H. y Scholten, J.** 1980. Risico's voor drainage met turf molmafdekking bij infiltratie in lichte gronden [The risk of wrapping drains with peat litter envelope material in case of subirrigation in sandy soils]. *Cult. Techn. Tijdschr.* **19**, 6: 327-334.
- Salem, H.A. y Willardson, L.S.** 1992. Evaluation of Non-Standard Synthetic Envelope Materials. En: *Proc. 5th Internat. Drainage Workshop*. W.F. Vlotman (ed.). Lahore, Pakistán, Vol. I, 219-227.
- Samani Z.A. y Willardson, L.S.** 1981. Soil Hydraulic Stability in a Subsurface Drainage System. *Trans. ASAE* **24**, 3: 666-669.
- Saulmon, R.W.** 1971. Need for envelope material above draitile. *J. Irr. and Drain. Div.*, *Proc. ASCE* **95**, IR1: 199-209.
- Scholten, J. y Ven, G.A.** 1987. Het schatten van het risico van ijzerafzetting in drains volgens de methode Ford [Assessment of the risk of iron ochre clogging of drains following the Ford method]. *Werkdocument 15 cbw*. Government Service for the IJssellake Polders, Lelystad, Países Bajos.
- Scholten, J.** 1988. Vijfentwintig jaar drainagematerialenonderzoek bij de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders [Twenty-five years of drain envelope research by the Dutch Polder Development Authority]. *Flevovericht 291*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Países Bajos.
- Schultz, B.** (ed.). 1990. *Guidelines on the Construction of Horizontal Subsurface Drainage Systems*. Working Group on Drainage Construction, ICID, Nueva Delhi.
- Schwab, G.O. y Fouss, J.L.** 1999. Drainage materials. En: *Agricultural Drainage*. R.W. Skaggs y J. Van Schilfgaarde (eds.). *Agron. Monogr. 38*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, Estados Unidos de América, pp. 911-926.
- Segeren, W.A. y Zuidema, F.** 1969. Ontwikkelingen in de drainagetechniek [Developments in land drainage techniques]. En: *Cultuurtechnische verhandelingen*. Ministerie van Landbouw en Visserij, La Haya, pp. 325-357.
- Sherard, J.L., Dunnigan, L.P. y Talbot, J.R.** 1984a. Basic Properties of Sand and Gravel Filters. *Journ. Geotech. Eng. Amer. Soc. Civil Eng.* **110**, 6: 684-700.
- Sherard, J.L., Dunnigan, L.P. y Talbot, J.R.** 1984b. Filters for Silts and Clays. *Journ. Geotech. Engr. Amer. Soc. Civil Eng.* **110**, 6: 701-718.

- Shi, Y.C., Fannin, R.J. y Vaid, Y.P. 1994. Interpretation of gradient ratio test results. En: *Proc. 5th Internat. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*. G.P. Karunaratne, S.H. Chew y K.S. Wong (eds.). Singapore, Vol 2, pp. 673-676.
- Singh, P.K. 1987. Drainage problems in India. En: *Proc. Symp. 25th Internat. Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience*. J. Vos (ed.). Publ. 42, ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 278-285.
- Smedema, L.K. y Rycroft, D.W. 1983. *Land Drainage: Planning and Design of Agricultural Drainage Systems*. Batsford, Londres.
- Smedema, L.K., Vlotman, W.F. y Rycroft, D.W. 2004. *Modern Land Drainage: Planning, Design and Management of Agricultural Drainage Systems*. A.A. Balkema Publishers, Leiden, Países Bajos.
- SCS. 1971. Drainage of agricultural land. *USDA National Engineering Handbook, Section 16*. USDA Soil Conservation Service, Washington, DC.
- SCS. 1973. *Drainage of Agricultural Lands*. A practical handbook for the planning, design, construction and maintenance of agricultural drainage systems. USDA Soil Conservation Service. Water Information Center Inc., Port Washington, NY, Estados Unidos de América.
- SCS. 1988. *Standards and Specifications for Conservation Practices. Standard on Subsurface Drains 606*. USDA Soil Conservation Service, Washington, DC.
- SCS 606. 1980. Engineering practice for subsurface drains. Specifications for corrugated polyvinyl chloride drainage tubing. *Code 606*. USDA-SCS, Washington, DC.
- Stuyt, L.C.P.M. 1982. Drainage envelope research in The Netherlands. En: *Proc. 2nd Internat. Drainage Workshop*. Washington, DC, pp. 106-123.
- Stuyt, L.C.P.M. 1992a. *The Water Acceptance of Wrapped Subsurface Drains*. Ph.D. Thesis, Agric. Univ. Wageningen/DLO-Winand Staring Centre (SC-DLO), Wageningen, Países Bajos.
- Stuyt, L.C.P.M. 1992b. Mineral clogging of wrapped subsurface drains, installed in unstable soils: a field survey. En: *Proc. 5th Internat. Drainage Workshop*. W.F. Vlotman (ed.). Lahore, Pakistán, Vol. III, pp. 5.50-5.64.
- Stuyt, L.C.P.M. 1992c. Effect of drain envelopes on the water acceptance of wrapped subsurface drains. En: *Proc. 6th Internat. Drainage Workshop*. ASAE, St Joseph, MI, Estados Unidos de América, pp. 257-263.
- Stuyt, L.C.P.M. y Oosten, A.J. 1986. A non-destructive morphological study of mineral clogging of drains. En: *Proc. of Internat. Seminar on Land Drainage*. J. Saavalainen y P. Vakkilainen (eds.). Helsinki University of Technology, Finlandia, pp. 90-111.
- Stuyt, L.C.P.M. y Willardson, L.S. 1999. Drain Envelopes. En: *Agricultural Drainage*. R.W. Skaggs y J. Van Schilfgaarde (eds.). *Agron. Monogr. 38*. ASA, CSSA, y SSSA, Madison, WI, Estados Unidos de América, pp. 927-962.
- Terzaghi, K. y Peck, R.B. 1961. *Die Bodenmechanik in der Baupraxis* [Soil Mechanics in Building Construction]. Springer, Berlin.
- Terzaghi, K. y Peck, R.B. 1965. *Mécanique des sols appliquée aux travaux publics et au bâtiments* [Soil Mechanics in Public Works and in Buildings]. Dunod, París.
- U.S. Army Corps of Engineers. 1941. Investigation of filter requirements for underdrains. *Eng. Waterways Exp. Sta., Tech. Memo. 183-1*.
- U.S. Army Corps of Engineers. 1977. Civil Works Construction Guide. Specification for Plastic Filter Fabrics. *Specification N° CW-02215*. Office, Chief of Engineers. Washington, DC.
- USBR. 1974. *Standard Specifications for Polyethylene Plastic Corrugated Drainage Tubing*. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Engineering and Research Center, Denver, CO, Estados Unidos de América.
- USBR. 1976. *Tentative Standard Specifications for Polyvinyl-chloride Corrugated Drainage Tubing*. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Engineering and Research Center, Denver, CO, Estados Unidos de América.

- USBR.** 1978. *Drainage Manual*. United States Department of Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO, Estados Unidos de América.
- USBR.** 1981. *Tentative Standard Specifications for Large-diameter Polyethylene and Polyvinyl-chloride Corrugated Drainage Tubing and Foamed Smooth Wall ABS Drain Pipe*. United States Department of the Interior, Water and Power Resources Service, Engineering and Research Center, Denver, CO, Estados Unidos de América.
- USBR.** 1993. *Drainage Manual, 2nd ed.* United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver Federal Center, Denver, CO, Estados Unidos de América.
- Vander Louw, C.** 1986. Drainoscopy, een optische inspectiemethode voor drainagesystemen [Drainoscopy, an optical inspection method for subsurface drains] *Cultuurtechnisch Tijdschrift* 25, 5: 357-367.
- Van der Meer, K. y Willet, J.R.** 1964. The pedomorphological aspect of mechanical soil improvement. 8th Int. Congr. Soil Sci. *Summary in Tijdschrift Koninklijke Nederlandse Heidemaatschappij* 75, 12: 628-634.
- Van der Molen, W.H.** 1972. *Waterbeheersing* [Water Management]. Ed. Revisada. Lecture notes, Agricultural University Wageningen, Países Bajos.
- Van der Molen, W.H. y Van Someren, C.L.** 1987. Comment made during discussion in session 1 in ILRI Symposium. En: Proc. Symp. 25th Internat. Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience. J. Vos (ed.). *Publ.* 42, ILRI, Wageningen, Países Bajos.
- Van Hoorn, J.W. y Bouma, J.** 1981. Het functioneren van buisdrainage op komgrond [Performance of pipe drainage in backland]. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* 20: 325-334.
- Van Schilfgaarde, J.** 1971. Drainage yesterday, today, and tomorrow. *Proc. ASAE Nat. Drain. Symp.* St. Joseph, MI, Estados Unidos de América.
- Van Someren, C. L.** 1972. Drainage materials. Synthesis. En: *FAO Irrigation and Drainage Paper 9*, Roma, pp. 1-30.
- Van Zeijts, T.E.J.** 1987. Quality control of subsurface drainage works in the Netherlands. *Proc. 3rd Intern. Workshop on Land Drainage*. Ohio State University, Columbus, OH, Estados Unidos de América, pp.117-124.
- Van Zeijts, T.E.J.** 1992. Recommendations of the use of envelopes, based on experience in The Netherlands. En: *Proc. 5th Internat. Drainage Workshop*. W.F. Vlotman (ed.). Lahore, Pakistán, Vol. III, pp. 5.88-5.96.
- Van Zeijts, T.E.J. y Bons, A.** 1993. Effects of jet flushing on drain performance and sustainability. *Trans. 15th International Congress on Irrigation and Drainage, La Haya*. ICID, Nueva Delhi. pp. 437-450.
- Van Zeijts, T.E.J. y Naarding, W.H.** 1990. Possibilities and limitations of trenchless pipe drain installation in irrigated areas. En: Installation of pipe drains. Current Papers on Machinery and Quality Control. *Information Paper 21*, Govt. Service for Land and Water Use, Utrecht, Países Bajos.
- Van Zeijts, T.E.J. y Zijlstra, L.** 1990. Rodding, a simple method for checking mistakes in drain installation. En: Symposium on Land Drainage for Salinity Control in Arid and Semi-Arid Regions. Drainage Research Institute, El Cairo, Vol III, pp. 84-93.
- Veldhuijzen van Zanten, R.** 1986. *Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering*. A.A. Balkema, Rotterdam, Países Bajos.
- Ven, G.A.** 1986. The effect of maintenance of tube drains. En: Agricultural Water Management. *Proc. Symp. on Agric. Water Management*. A.L.M. Van Wijk y J. Wesseling (eds.). A.A. Balkema, Rotterdam, Países Bajos, pp 203-211.
- Vlotman, W.F.** (ed.). 1990. Proceedings Workshop on Drain Envelope Testing, Design and Research. *IWASRI Publ.* 49, IWASRI/NRAP, Lahore, Pakistán.
- Vlotman, W.F., Shafiq-ur-Rehman y Bhutta, N.M.** 1992a. Drain Envelope Design under Review. *ASAE Paper No. 922649*. ASAE. St. Joseph, MI, Estados Unidos de América.

- Vlotman, W.F., Shafiq-ur-Rehman y Haider, I. 1992b. Granular envelope research in Pakistan. En: *Proc. 5th Internat. Drainage Workshop*. W.F. Vlotman (ed.). Lahore, Pakistán, Vol. III, pp. 5.38-5.49.
- Vlotman, W.F., Willardson, L.S. y Dierickx, W. 1997. Drain envelope need, selection, design, construction and maintenance. En: *Proc. 7th ICID Int. Drain. Workshop*. Penang, Malasia, Vol. 2, pp. 22.1- 22.16.
- Vlotman, W.F., Willardson, L.S. y Dierickx, W. 2000. Envelope design for subsurface drains. *Publ. 57*, ILRI, Wageningen, Países Bajos.
- Vlotman, W.F., Zuberi, F.A. y Khan, M.A. 1990. Gravel Envelope Selection, Design and Installation. En: *Proc. Workshop on Drain Envelope Testing, Design and Research*. W.F. Vlotman (ed.). IWASRI, Lahore, Pakistán, pp. 3-31.
- Von Scheffer, B. 1982. Spülung von Dränen des Dränversuchsfelder Bokern [Drain jetting in pilot area Bokern]. *Zeitschr. für Kulturtechnik und Flurbereinigung* **23**: 110-114.
- Vos, J. (ed.). 1987. Proc. Symp. 25th Internat. Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience. *Publ. 42*, ILRI, Wageningen, Países Bajos.
- Watts, D.G. y Luthin, J.N. 1963. Tests of thick fiberglass filters for subsurface drains. *Hilgardia* **35**, 3: 35-46.
- Weaver, M.M. 1964. *History of Tile Drainage*. Private publication, Waterloo, NY, Estados Unidos de América.
- Wesseling, J. 1967. Drainage experiments. *Lecture Notes 6th Internat. Course on Land Drainage*, ILRI, Wageningen, Países Bajos.
- Wesseling, J. 1987. The development of drainage in humid temperate regions. En: Proc. Symp. 25th Internat. Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience. J. Vos (ed.). *Publ. 42*, ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 14-21.
- Wesseling, J. y Homma, F. 1967. Entrance resistance of plastic drain tubes. *Neth. J. Agric. Sci.* **15**: 170-182.
- Wesseling J. y Van Someren, C.L. 1972. Provisional report of the experience gained in the Netherlands. En: Drainage materials. *FAO Irrigation and Drainage Paper 9*. Roma, pp. 55-84.
- Widmoser, P. 1968. Der Einfluss von Zonen geänderter Durchlässigkeit im Bereich von Drän- und Brunnenfilterrohren. [The effect of zones with modified permeability in the vicinity of drain and well pipes] *Schweizerische Bauzeitung* **86**, 9: 135-144.
- Willardson, L.S. 1974. Envelope materials. En: Drainage for Agriculture. J. Van Schilfgaarde (ed.). *Agronomy 17*. Am. Soc. of Agronomy, Madison, WI, Estados Unidos de América, pp. 179-202.
- Willardson, L.S. 1979. Hydraulic gradients in envelope materials. Factors influencing water and particle movement into drains. *USDA-SEA. ARR-W-8*, pp. 65-70.
- Willardson, L.S. y Walker, R.E. 1979. Synthetic drain envelope-soil interactions. *Proc. Irrig. and Drain. Div. ASCE* **105**, IR4: 367-373.
- Willardson, L.S., Aquirre, X. y Watkins, R.K. 1980. Plastic drain response in soft envelope material. *Trans. ASAE*, **23**: 1402-1408.
- Willet, J.R. 1962. 'Ongerijpte' zandgronden en hun ontwatering [Drainage of 'unripened' sandy soils]. *Tijdschrift Koninklijke Nederlandse Heidemaatschappij* **73**, 12: 403-408.
- Winger, R.J. 1973. *Operation and Maintenance Standards for Irrigation Project Drainage Systems*. Irrigation Operator's Workshop, USBR, Eng. and Res. Center, Denver, CO, Estados Unidos de América.
- Woudeneh, T. 1987. The Melka Sadi Pilot Drainage Scheme. En: Proc. Symp. 25th Internat. Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience. J. Vos (ed.). *Publ. 42*, ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 261-267.
- Ziems, J. 1969. *Beitrag zur Kontakterosion nichtbindiger Erdstoffe* [Contribution to contact erosion of cohesionless mineral materials]. Ph.D.-Thesis, Techn. Univ. Dresden, Alemania.
- Zijlstra, G. 1987. Drainage machines. En: Proc. Symp. 25th Internat. Course on Land Drainage. Twenty-Five Years of Drainage Experience. J. Vos (ed.). *Publ. 42*, ILRI, Wageningen, Países Bajos, pp. 74-81.

Anexo

Borrador de norma europea para tuberías de drenaje de cloruro de polivinilo corrugado

INTRODUCCIÓN

Este Anexo contiene el borrador de norma europea para tuberías de drenaje de cloruro de polivinilo corrugado, como estaba en el momento en que el trabajo de normalización fue interrumpido. Consecuentemente, este documento tiene algunas deficiencias e imperfecciones.

Como puede apreciarse en el «Prólogo» del borrador de norma, ésta debería constar de siete partes, pero la versión de este Anexo contiene sólo seis. La Parte 7 sobre «Evaluación de conformidad» no está aún disponible, porque la Comisión de la Unión Europea debe indicar el tipo de evaluación de conformidad que se aplica a «Sistemas de tuberías plásticas para drenaje de tierras agrícolas (PVC-U)».

El principal inconveniente del documento existente concierne a las referencias. Frecuentemente, las referencias mencionadas no están incluidas en las referencias normativas o contienen referencias que no se aplican. Las referencias de los borradores de documentos o normas no se han actualizado desde el momento de la interrupción del trabajo y pueden no ser útiles ya. A veces, las referencias en varias partes del borrador de norma no coinciden.

Los símbolos no siempre están definidos y carecen de unidades, mientras otros símbolos están definidos pero no se usan y además no siempre son sencillos. También se encontraron otras discrepancias en el documento.

Estas deficiencias no cuestionan el valor y la importancia de este borrador de norma, pero pueden desconcertar a quienes consideren la norma más estrictamente. Algunas discrepancias e inconsistencias obvias se han corregido, incluso con el riesgo de introducir errores adicionales. Otras ambigüedades se han mantenido porque no pudo obtenerse información correcta o la que debería ser correcta con mayor probabilidad.

El borrador de norma-EN para tuberías de drenaje de cloruro de polivinilo corrugado es un documento útil a pesar de los defectos antes mencionados, que con seguridad desaparecerían si el trabajo de normalización pudiera finalizarse. El borrador de norma informa sobre requisitos para tuberías de drenaje, conexiones, materiales envolventes y sobre la práctica de instalación y puede ser útil para países con poca o ninguna experiencia sobre los materiales de drenaje disponibles actualmente. Por ello, se decidió incluir este borrador de norma en este Estudio FAO de Riego y Drenaje.

SISTEMAS DE TUBERÍA DE PLÁSTICO CORRUGADO PARA DRENAJE DE TIERRAS CLORURO DE POLIVINILO SIN PLASTIFICAR (PVC-U)

PRÓLOGO

Este borrador de norma europea se ha preparado por un mandato dado por la Comisión Europea y la Asociación Europea de Libre Comercio al CEN y cumple requisitos esenciales de directivas de la UE.

Este documento fue preparado por CEN/TC 155 «Sistemas de tuberías y conducciones plásticas»/WG18 «Sistemas de tubería para drenaje subterráneo». No es obligatorio para los miembros del CEN pues todavía no se ha aprobado.

Esta norma, para sistemas de tubería de plástico corrugado hecha de cloruro de polivinilo sin plastificar para drenaje agrícola, hortícola y de campos deportivos, es parte de una norma para sistemas de tuberías de plástico.

Las normas se basan en los resultados del trabajo llevado a cabo por ISO/TC 138 «Tuberías de plástico, conexiones y válvulas para el transporte de fluidos» que es un Comité Técnico de la Organización Internacional de Normalización (ISO).

Se apoyan en otras normas sobre métodos de ensayo a las que se hace referencia en toda la norma.

La norma se relaciona con normas sobre requisitos funcionales generales y con recomendaciones para instalación.

Esta norma, bajo el título general de «Sistemas de tuberías de plástico corrugado para drenaje de tierras, cloruro de polivinilo sin plastificar (PVC-U)», consta de la siguientes partes:

- Parte 1: General.
- Parte 2: Tuberías sin envoltura.
- Parte 3: Conexiones.
- Parte 4: Envolturas.
- Parte 5: Adecuación para la finalidad del sistema.
- Parte 6: Práctica recomendada de instalación.
- Parte 7: Evaluación de conformidad.

Esta norma europea especifica las propiedades requeridas para el sistema de tubería de cloruro de polivinilo sin plastificar y sus componentes cuando se quieren utilizar en drenaje de tierras. Incluye la práctica recomendada de instalación y el nivel necesario de certificación.

Se pretende que utilicen esta norma organismos, ingenieros proyectistas, institutos de ensayo y homologación, fabricantes y usuarios.

Esta norma es aplicable a sistemas de tubería de cloruro de polivinilo sin plastificar (PVC-U) para captar y conducir agua en exceso por gravedad. El ámbito de aplicación de estos sistemas comprende agricultura, horticultura y campos deportivos.

Las tuberías para estos sistemas cubren una serie de diámetros nominales comprendidos entre DN 50 y DN 1000. Actualmente no se fabrican tubos por encima de DN 630.

Las normas europeas incorporan como referencia disposiciones de ediciones específicas de otras publicaciones. Estas referencias normativas se citan en los apartados correspondientes del texto y las publicaciones se enumeran en la norma. Las enmiendas o las revisiones subsiguientes de cualquiera de estas publicaciones afectan a esta Norma Europea solamente cuando sean incorporadas por enmienda o revisión.

PARTE 1: GENERAL

1 ÁMBITO

La Parte 1 especifica los aspectos generales, los requisitos del material y los parámetros de ensayo para los métodos de ensayo referidos en la norma.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

- ISO 2507. Tuberías y conexiones termoplásticas - Temperatura de ablandamiento Vicat - Método de ensayo y especificación básica.
- ISO 1183. Tuberías y conexiones de PVC-U - Determinación y especificación de densidad.
- CEN/TC 155 N 708 Rev. Propuesta de texto en relación con el material, incluyendo materiales reprocesables y reciclables para normas individuales. 1992.07.01. 18 pp.
- CEN/TC 155 WI 137. Determinación de contenido de PVC.
- CEN/TC 155 WI 043. Determinación de temperatura de ablandamiento Vicat.

3 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta parte se aplican las siguientes definiciones y abreviaciones:

3.1 Drenaje de tierras:

Remoción de agua superficial o subterránea del terreno.

3.2 Material virgen:

Material en forma de gránulos o polvo que no ha sido sujeto a otro uso o procesamiento aparte del necesario para su manufactura y al que no se le han agregado materiales reprocesables o reciclables.

3.3 Material reprocesable propio:

Material preparado a partir de tuberías y conexiones de PVC-U sin utilizar rechazadas, incluyendo recortes de producción de tuberías y conexiones, que serán reprocesados en una planta del fabricante habiendo sido previamente elaborados por el propio fabricante por un proceso de moldeado o extrusión, siempre que se conozca su completa formulación.

3.4 Material reprocesable externo: material que comprende alguna de las siguientes formas:

- a) Material de tuberías, conexiones o recortes de PVC-U no usados y rechazados, que será reprocesado y que fue originalmente elaborado por otro fabricante.
- b) Material procedente de la elaboración de otros productos de PVC-U no usados, distintos de tuberías y conexiones, independientemente de dónde se fabricaron, que serán reprocesados como tuberías, conexiones o ambas cosas.

3.5 Material reciclable: material que comprende alguna de las siguientes formas:

- a) Material de tuberías o conexiones de PVC-U usados, que han sido limpiados y triturados o molidos.
- b) Material de productos usados de PVC-U distintos de tuberías o conexiones, que han sido limpiados y triturados o molidos.

3.6 Diámetro nominal (DN):

Una designación numérica de diámetro que es común a todos los componentes de un sistema de tubería. Es conveniente como referencia un número redondo aproximado al diámetro de fabricación y expresado en mm. Para esta norma se basa en el diámetro externo de las tuberías corrugadas. En Escandinavia los diámetros nominales se basan en el diámetro interno.

4 MATERIALES

4.1 General

El material de tuberías y conexiones consistirá sustancialmente de material de PVC-U, al que sólo puede añadirse aquellos aditivos necesarios para facilitar la fabricación de tubería mecánicamente resistente y con superficie bien terminada, de acuerdo con esta norma.

4.2 Contenido mínimo de PVC

Al ensayarse de acuerdo con CEN/TC 155 WI 137, el contenido de PVC deberá ser al menos del 80 por ciento de la masa para tuberías y del 88 por ciento para conexiones. El contenido mínimo de PVC puede calcularse en caso de usar material virgen o reprocesado propio.

NOTA: El contenido mínimo de PVC de conexiones fabricadas a partir de tubería deberá estar de acuerdo con el contenido requerido para la tubería.

4.3 Material virgen

El uso de material virgen está permitido sin limitación.

4.4 Materiales reprocesables y reciclables

4.4.1 Materiales reprocesables propios

El uso de material reprocesable propio para la producción de tuberías y conexiones está permitido sin limitación. Si se usa material de conexiones para tuberías, deberá considerarse como material reciclable.

4.4.2 Materiales reprocesables y reciclables externos con especificaciones acordadas

Para producción de tuberías pueden agregarse materiales reprocesables y reciclables externos de tuberías y conexiones de PVC-U, que estén disponibles en cantidades y frecuencias relevantes, a material virgen o reprocesable propio, o a una mezcla de esos dos materiales y serán añadidos solamente bajo las siguientes condiciones:

- a) Se acordará una especificación del material entre el suministrador de material procesable o reciclable, el fabricante de tubería y la agencia de certificación. Deberá cumplir al menos las características indicadas en el Cuadro 1. Una vez determinados, de acuerdo con los métodos indicados en el Cuadro 1, los valores reales de estas características se ajustarán a los valores convenidos dentro de las desviaciones permitidas en el Cuadro 1. El sistema de calidad del abastecedor de material reprocesable o reciclable deberá certificarse por ISO EN 9002.
- b) Cada entrega incluirá un certificado mostrando conformidad con la especificación establecida.
- c) La cantidad máxima de material reprocesable y reciclable que es posible agregar al material virgen está especificada por el fabricante de tubería.
- d) La cantidad de material reprocesable y reciclable que se añada realmente al material virgen en cada serie de producción se registrará por el fabricante de tubería.
- e) El contenido de PVC del producto final cumplirá con los requisitos especificados en 4.2.
- f) El ensayo tipo del producto final se llevará a cabo para la cantidad máxima especificada y para cada tipo de material reprocesable o reciclable con la especificación convenida.

4.4.3 Material reprocesable y reciclable externo no cubierto por una especificación convenida

Las tuberías y conexiones de PVC-U no contendrán este tipo de material.

CUADRO 1

Especificación de características a cumplir por el acuerdo y tolerancias máximas permitidas para estos ítems

Característica	Unidad	Método de ensayo	Desviaciones máximas permitidas
Contenido de PVC*)	% en masa	WI 137	± 4 % absoluto
Valor de K *)		WI 083	± 3 unidades
Densidad*)	kg/m ³	ISO 1183	± 20
Temperatura de ablandamiento Vicat *)	°C	prEN 727	± 2 unidades
Tamaño de partícula 1)	Los requisitos deberán acordarse e indicarse en la especificación.		
Tipo de estabilizador1)*)	Los requisitos deberán acordarse e indicarse en la especificación.		
Impurezas 1)	Se acordará e indicará en la especificación un método de ensayo relevante y los requisitos, basados en la fuente de material y en el proceso de reciclaje. Tanto el método de ensayo como los requisitos serán publicados.		

1) Los requisitos relevantes dependen del proceso de reciclaje y del producto final.

) Si la fuente del material es tuberías y conexiones producidas con una marca de calidad europea o nacional, no tienen que ensayarse aquellas características del material especificadas en esa norma relevante, siempre que uno o más de los requisitos a características marcadas con «» sean satisfechos.

5 CONDICIONES DE REFERENCIA PARA ENSAYO

Las propiedades físicas y mecánicas especificadas en todas partes de esta norma serán determinadas a $23 \pm 2^\circ\text{C}$, salvo que se especifique de otra forma.

PARTE 2: TUBERÍAS SIN ENVOLTURA

1 ÁMBITO

La Parte 2 especifica las propiedades requeridas para tuberías de PVC-U.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

- prEN 496. 1991. Sistemas de tubería de plástico - Tuberías y conexiones de plástico - Medidas de dimensiones e inspecciones visuales de superficies.
- EN 1411. Sistemas de tubería y conducción de plástico - Tuberías termoplásticas - Determinación de la resistencia a golpes externos por el método de incrementos y disminuciones.
- CEN/TC 155 WI 124. Capacidad de extensión.
- CEN/TC 155 WI 125. Prueba de fractura por fragilidad.
- ISO 3. Números seleccionados, series de números seleccionados.
- ISO 2507. Tuberías y conexiones termoplásticas - Temperatura de ablandamiento Vicat - Método de ensayo y especificación básica.
ISO 2507-1. Parte 1 de temperatura de ablandamiento Vicat: Método general.
ISO 2507-2. Parte 2 de temperatura de ablandamiento Vicat: Condiciones especiales para tuberías de PVC-U, PVC-C y PVC-HI.
- ISO 3126. Deficiencia de redondez.
- ISO 9967. Tuberías termoplásticas - Determinación de la relación de arrastre.
- ISO 9969. Tuberías termoplásticas - Determinación de la rigidez de anillo - Método de velocidad constante.

3 DEFINICIONES

Para los objetivos de esta parte, las definiciones y abreviaciones dadas en la Parte 1 son válidas junto con las siguientes.

3.1 Diámetro nominal (DN):

Designación numérica del diámetro externo (D_o) de la tubería declarado por el fabricante. En Escandinavia el diámetro nominal se basa en el diámetro interno (D_i) como se indica en el Cuadro 3.

3.2 Diámetro externo medio:

La longitud medida de la circunferencia externa de la tubería dividida por π ($= 3,142$) y redondeado al siguiente 0,1 mm mayor.

3.3 Longitud total:

La distancia entre dos planos normales al eje de la tubería, colocados en los extremos de las tuberías, medida a lo largo del eje de la tubería.

3.4 Longitud nominal:

Designación numérica de una longitud de tubería declarada por el fabricante, que es igual a la longitud total de la tubería en metros indicada por un número entero.

3.5 Rigidez de anillo:

El valor de la resistencia inicial a la deflexión radial bajo carga externa obtenido por ensayo según ISO 9969.

CUADRO 1

Características del material de tubería

Característica	Unidad	Requisito	Parámetro de ensayo	Método de ensayo
Vicat	°C	mínimo 77	penetración 1 mm 50 ± 1 N	TC 155 WI 043 (ISO 2507)

3.6 Relación de arrastre:

Una característica física de la tubería obtenida por ensayo según ISO 9967. Es una medida de la resistencia a largo plazo a la deflexión radial bajo carga externa.

4 MATERIAL DE TUBERÍA

El material del que se hacen las tuberías debe cumplir los requisitos indicados en la Parte 1.

5 REQUISITOS GENERALES

5.1 Apariencia

Cuando se observen sin aumento las superficies interna y externa de tuberías estarán limpias y libres de estrías u otros defectos superficiales. La superficie no estará pegajosa. Los extremos de la tubería serán perpendiculares al eje de la tubería y presentarán un corte limpio.

NOTA: La tubería puede ser de cualquier color.

5.2 Longitud nominal y tamaño de rollo

Salvo que se especifique de otra forma, las tuberías de más de 20 m y hasta DN 200 se entregarán en rollos y las tuberías mayores de DN 200 se entregarán en piezas rectas.

Salvo que se especifique de otra forma, las tuberías enrolladas de más de 20 m se entregarán en longitudes múltiplo de 5 m. A fin de ajustarse a máquinas de colocación continua, los diámetros interno y externo de un rollo de tubería se acordarán entre las partes interesadas, siempre que los requisitos funcionales de esta norma sean cumplidos.

Piezas de más de 3 m de longitud se suministrarán en longitudes múltiplo de 1 m.

5.3 Longitud total

La longitud total de la tubería no será menor que la longitud nominal declarada por el fabricante.

6 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

6.1 Diámetro

NOTA: El concepto general es que los valores de los diámetros externos sean la referencia para designar el tamaño nominal. Los fabricantes cuyos diámetros nominales se basen en D_i cumplirán con el correspondiente diámetro externo declarado por el fabricante para la norma de referencia.

Esta parte no incluye requisitos para espesor de paredes de tuberías y no hay intención de incluir estos requisitos en el futuro. Esto permite la máxima libertad posible en la elección del diseño.

El método de medición cumplirá con el método dado en prEN 496.

6.1.1 Diámetro nominal

El diámetro nominal se elegirá entre los dados en el Cuadro 2.

Los tamaños de diámetro que se basan en el diámetro interno se dan en el Cuadro 3.

La inclusión de estos diámetros se reconsiderará en la primera revisión de esta norma

6.1.2 Diámetros internos mínimos

El promedio de diámetros internos medios medidos no será menor que el mínimo D_i dado en el Cuadro 4 para diámetro nominal relevante (DN) si se miden con una precisión de 0,1 mm o del 0,05 por ciento, cualquiera que sea el valor mayor. Para la medición del diámetro interno hasta 180 mm se

CUADRO 2

Diámetros nominales DN/D_o (basados en D_o)

50	60	65	80	100	125	160	200 ¹
250	280	(296)	315	355	(375)	400	450
(470)	(475)	500	560	(580)	630 ²		

1 Para cualquier producción nueva de DN superior a 200, las dimensiones R20 de la serie de Renard en el cuadro se elegirán según se especifica en ISO 3 (las dimensiones no-R20 que aparecen entre paréntesis en el Cuadro 2 no son preferibles).

2 Actualmente no se fabrican tubos mayores de DN 630. Para esta gama superior de diámetros nominales se prefieren las dimensiones DN 710, 800, 900, 1000.

CUADRO 3

Medidas de diámetro basadas en D_i

Diámetro interno medio D_i (mm)	Desviaciones permitidas (mm)	Diámetro externo correspondiente D_o (mm)
50	-0 +2	58
65	-0 +2	75
80	-0 +3	92
113	-0 +3	127
145	-0 +5	160
180	-0 +5	200

CUADRO 4

Diámetros internos mínimos (basados en D_o)

DN/D_o	$D_{i\ min}$ mm	DN/D_o	$D_{i\ min}$ mm
50	43	315	280
60	52	355	315
65	57	375	315
80	70	400	355
100	90	450	400
125	113	470	417
160	143	475	400
200	180	500	450
250	224	560	500
280	250	580	500
296	250	630	530

usará un micrómetro interno o un pistón de medir con una precisión de 0,1 mm. Para D_i por encima de 180 mm puede usarse cualquier instrumento de medida adecuado.

6.1.3 Tolerancias sobre diámetro externo medio

El diámetro externo medio de una tubería no se desviará del diámetro nominal más de las desviaciones permisibles dadas en el Cuadro 5 si se mide de acuerdo con prEN 496.

6.2 Deficiencia de redondez

6.2.1 Requisito

Si se mide de acuerdo con 6.2.3 usando piezas de ensayo que cumplan con 6.2.2, la deficiencia de redondez (O) deberá ser menor que el valor aplicable dado en el Cuadro 6, equivalente al 10 por ciento de DN , donde (de acuerdo con ISO 3126) O , en mm, está dada por la siguiente ecuación:

$$O = D_{o\ max} - D_{o\ min}$$

Donde: $D_{o\ max}$ es el diámetro externo máximo en mm.

$D_{o\ min}$ es el diámetro externo mínimo en mm.

6.2.2 Longitud de las piezas de ensayo

La longitud L , en metros, de las piezas de ensayo será como sigue:

$$L = 0,2 \pm 5\% \text{ para tuberías con } DN \leq 200.$$

$$L = 0,4 \pm 5\% \text{ para tuberías con } DN > 200.$$

CUADRO 5

Diámetros externos medios de tuberías y tolerancias especificados

Diámetro nominal DN/D_o	Desviación permisible de diámetros externos medios	
	+ mm	- mm
≥ 50 y ≤ 100	1,0	1,5
≥ 125 y ≤ 200	1,5	1,5
≥ 250 y ≤ 400	1,5	2,0
≥ 450 y ≤ 630	1,5	4,0

CUADRO 6

Especificación de la deficiencia de redondez

DN/D_o	O (mm)	DN/D_o	O (mm)
50	5,0	315	31,5
60	6,0	355	35,5
65	6,5	375	37,5
80	8,0	400	40,0
100	10,0	450	45,0
125	12,5	470	47,0
160	16,0	475	47,5
200	20,0	500	50,0
250	25,0	560	56,0
280	28,0	580	58,0
296	30,0	630	63,0

6.2.3 Método de ensayo

En cada pieza de ensayo marcar cuatro líneas generatrices con un ángulo de aproximadamente 45° entre sí y en un plano perpendicular al eje de la tubería.

Usando un calibrador deslizante según prEN 496, medir los cuatro diámetros correspondientes y anotar las cuatro medidas individuales. Calcular la diferencia entre el valor mayor y el menor y relacionar la diferencia al valor nominal especificado en 6.2.1.

6.3 Perforaciones

6.3.1. General

Las perforaciones para recibir agua tendrán forma de ranura y se harán en los valles de las corrugaciones. La inspección para verificar conformidad se hará en una longitud de tubería de $1 \pm 0,01$ m tomada al azar.

6.3.2 Distribución de perforaciones

Las perforaciones estarán dispuestas de cualquier forma que resulte en una distribución uniforme alrededor de toda la circunferencia, en no menos de cuatro filas, con al menos dos perforaciones por cada 100 mm de cada fila.

6.3.3 Anchura de perforación

6.3.3.1 Anchura de perforación nominal

La anchura nominal de perforación elegida y declarada será de entre 1,0 y 2,3 mm con incremento de 0,1 mm.

6.3.3.2 Tolerancias

La anchura media de perforación no se desviará más de 0,2 mm del ancho de perforación nominal declarado.

Ninguna perforación excederá el ancho de perforación nominal en más de + 0,4 mm.

6.3.4 Área de perforación

El área total A (véase 6.3.5.4) de perforaciones efectivas por metro de tubería no será inferior a 1200 mm^2 .

6.3.5 Método de ensayo

6.3.5.1 Muestreo

En un trozo de tubería de $1 \pm 0,01$ m de largo, determinar el número de filas con perforaciones n . Sin considerar la calidad de las perforaciones, contar en cada fila el número de perforaciones, a_1, a_2, \dots, a_n . Sumar $N = a_1 + a_2 + \dots + a_n$. Sin considerar la calidad de las perforaciones y usando un cuadro de números al azar, marcar P perforaciones en cada fila de acuerdo con el Cuadro 7.

6.3.5.2 Medida

La medición de las dimensiones de la perforación (ancho y largo) se hará con un medidor de espesor o con un episcopio.

En caso de una perforación imperfecta (véase 6.3.5.3) el área de la perforación se tomará igual a cero.

6.3.5.3 Criterios para perforaciones imperfectas

Una perforación se considerará imperfecta en cualquiera de los casos siguientes:

CUADRO 7

Número de perforaciones P para el control de perforaciones

Número de filas con perforaciones (n)	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Número de perforaciones a marcar en cada fila (P)	10	8	7	6	5	5	4	4	4

- a) La perforación no cumple con 6.3.3.2 respecto a su anchura.
- b) No existe perforación.
- c) Un trozo de material está aún adherido a la tubería en la circunferencia de la perforación.

6.3.5.4 Cálculos

Agregar las áreas de la superficie de las nP perforaciones. Supongamos que sea B . Calcular el área total de las perforaciones por metro lineal usando la ecuación siguiente:

$$A = (BN) / (nP)$$

Donde N es el número de perforaciones por metro lineal.

n es el número de filas.

P es el número de perforaciones marcadas en cada fila.

De las perforaciones nP medidas, anotar el número de perforaciones imperfectas. Supongamos que sea I_p . Calcular el porcentaje total de perforaciones imperfectas (d) aplicando la ecuación siguiente:

$$d = 100 I_p / (nP)$$

6.3.6 Requisito sobre perforaciones imperfectas

La cantidad de perforaciones imperfectas (d) no excederá el 10 por ciento del número total de perforaciones medidas, es decir, I_p no excederá $(nP)/10$.

7 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Se tomará la precaución necesaria al utilizar piezas de ensayo procedentes de tuberías enrolladas.

7.1 Resistencia a impacto

Si se ensayan de acuerdo con EN 1411, corregida según el Anexo A de esta Parte, se cumplirán los siguientes requisitos según sean aplicables:

- a) Si $50 \leq DN \leq 200$, las tuberías cumplirán los cuatro requisitos siguientes:

- $(X_f + X_p) / 2 = H_{50} \geq 0,9 \text{ m}$
- $H_{50sl} \geq 0,6 \text{ m}$
- $H_{50pl} \geq 0,6 \text{ m}$
- $H_{imin} \geq 0,4 \text{ m}$

- b) si $DN > 200$, la tubería cumplirá los cuatro requisitos siguientes:

- $(X_f + X_p) / 2 = H_{50} \geq 1,2 \text{ m}$
- $H_{50sl} \geq 0,9 \text{ m}$
- $H_{50pl} \geq 0,9 \text{ m}$
- $H_{imin} \geq 0,6 \text{ m}$

Donde: X_f es la media de las alturas de caída cuando ocurre fallo.

X_p es la media de las alturas de caída cuando las piezas pasaron el ensayo.

H_{50sl} designa las líneas de junta H_{50} .

H_{50pl} designa las líneas de perforación H_{50} .

H_{imin} designa la altura mínima de caída sin fallo del ensayo.

7.2 Rigidez de anillo

7.2.1 Requisitos

La rigidez de anillo (S_o) no será inferior al valor aplicable dado en el Cuadro 8, si se ensaya de acuerdo con ISO 9969.

CUADRO 8

Valores mínimos de rigidez de anillo

Diámetro nominal DN/D_0	Rigidez mínima de anillo (kN/m ²)	
	Series normales	Series especiales (apero-V)
50	6,3	8
> 50 y ≤ 80	4	8
≥ 100 y ≤ 125	2	4
> 125 y ≤ 630	2	No series especiales

7.2.2 Marcado de serie de rigidez de anillo

Todas tuberías tendrán en la etiqueta del rollo claramente indicado su serie correspondiente, es decir, serie «normal» o «especial».

7.3. Relación de arrastre

Si se ensayan de acuerdo con ISO 9967 la relación de arrastre no será mayor de 2,7.

7.4. Extensibilidad

Esta característica no es aplicable para $DN > 200$. Si se ensayan según EN [155 WI 124], ninguna pieza probada tendrá una elongación mayor de

55 mm. El resultado se considera satisfactorio si la primera pieza ensayada tiene una elongación menor de 45 mm. Si la primera pieza probada tiene una elongación entre 45 y 55 mm, la media de las elongaciones de esta pieza ensayada y de dos pruebas más será inferior a 50 mm.

7.5 Ensayo de fractura por fragilidad (prueba de tensión rápida)

Esta característica se aplica solamente a tuberías de hasta DN 80 inclusive.

Si se ensaya de acuerdo con EN [155 WI 125], sin considerar el primer fallo que ocurra dentro de un diámetro nominal, el resultado de tres piezas probadas no incluirá más de un fallo. Si ha ocurrido un fallo, los resultados de las seis piezas de ensayo posteriores no incluirán ningún fallo.

7.6 Conformidad del acopio

Para asegurar la conformidad del material en su entrega, los fabricantes demostrarán el cumplimiento con la norma de acuerdo con la Parte 7.

8 MARCA

La marca y etiqueta de todas tuberías cumplirá con el 5° borrador de AHG 30. Además, se aplica lo siguiente:

8.1 Tubería

Cada tubería estará marcada clara e indeleblemente al menos cada 6 m. La marca incluirá la información siguiente:

- El nombre del fabricante, la marca registrada o ambos.
- El diámetro nominal.
- El material (PVC-U).
- El año de fabricación grabado.
- La marca «CE» y la marca voluntaria de certificación europea.

NOTA: Son opcionales la marca registrada, la identificación de la unidad de fabricación y la fecha de fabricación completa.

8.2 Etiquetado

Se adjuntará a la tubería una etiqueta de rollo o algo similar que incluirá la información siguiente:

- El nombre del fabricante, la marca registrada o ambos.
- La identificación del lugar de fabricación.
- El diámetro nominal.
- El material (PVC-U).
- La anchura nominal de las perforaciones, en mm.
- «L normal» o «L especial» («L» para drenaje de tierras y «normal» o «especial» en relación con las series de rigidez de anillo según 7.2).

- g) La longitud de tubería o de rollo, en m.
- h) La marca «CE» y la marca voluntaria de certificación europea.
- i) La fecha de fabricación (es decir, año, mes y día: p. ej. 92.06.05).

NOTA: Las marcas registradas y otras marcas de calidad son opcionales.

8.3 Información adicional

El fabricante de tuberías declarará una lista de fabricantes de conexiones compatibles, de marcas registradas o de ambas.

ANEXO A NORMATIVO (EN RELACIÓN CON 7.1)

Parámetros adicionales para EN 1441 sobre el método de determinación del punto medio por incrementos y disminuciones

El método de ensayo dado en EN 1411 se modificará como sigue, donde los números de cláusula dados corresponden a los de EN 1411.

5.1 Preparación

Antes de cortar la pieza a ensayar, las dos líneas de junta se marcarán con diferentes colores.

5.2 Número

- a) Pueden usarse hasta 10 piezas para cada parte del ensayo preliminar (véase 7.2).
- b) Se utilizan 32 piezas para el ensayo principal (véase 7.3).

6 ACONDICIONAMIENTO

Acondicionar las piezas a ensayar en un baño líquido durante 15 minutos o durante 60 minutos en aire a $0 \pm 1^\circ\text{C}$.

7.1 General

- a) El percutor será del tipo d90 con una masa de 1 kg.
- b) La orientación de la circunferencia de la pieza a ensayar en el bloque-V cumplirá con 7.2 y 7.3 (según la modificación de este Anexo).
- c) Fallo

Se considera un golpe como un fallo si se da alguna de las siguientes circunstancias:

- La pieza ensayada se rompe en dos o más partes.
- La pieza ensayada se fragmenta (véase el detalle A de la Figura A.1).
- La pieza ensayada muestra al menos una rotura que une ininterrumpidamente un par de perforaciones cualquiera (véase el detalle B de la Figura A.1).
- Puede verse a simple vista una rotura mayor de 5 mm sobre la línea de junta.

En la Figura A.1 se muestran ejemplos de estos casos.

7.2 Procedimiento del ensayo preliminar

Toda la cláusula 7.2 se reemplaza por el siguiente texto:

NOTA: El propósito del ensayo preliminar es obtener una indicación del valor H_{50} e identificar la primera pieza a ensayar cuyo resultado se usará en la prueba principal (véase 7.3). El ensayo preliminar incluye dos series con hasta 10 piezas a ensayar en cada serie: si se prueban de acuerdo con 7.2.3, los fallos de cada una de las primeras dos piezas ensayadas se consideran indicativos de un H_{50} menor que el valor especificado, de una excesiva dispersión de resultados o de ambas cosas.

7.2.1

Establecer la altura de caída del percutor a 0,4 m.

7.2.2

Después del acondicionamiento (véase la cláusula 6) para cada pieza a ensayar, en 10 segundos:

- En la serie uno, impactar las piezas a ensayar sobre una línea de perforaciones seleccionada al azar, determinar y registrar si la pieza ensayada falla o no y cómo falla, y anotar los valores de la altura de caída.
- En la serie dos, impactar las piezas a ensayar alternativamente sobre la línea de junta una y sobre la línea de junta dos.

7.2.3 Línea de junta

Si la primera pieza ensayada falla, probar una segunda pieza y si ésta también falla registrar entonces la tubería como no apta en la prueba de impacto.

7.2.4

Esta cláusula de apoyo de la norma no es aplicable aquí.

7.2.5 Línea de perforaciones

Si la primera pieza ensayada falla, probar una segunda pieza y si ésta también falla registrar entonces la tubería como no apta en la prueba de impacto.

7.2.6

Considerar la altura de caída, a la cual la primera pieza ensayada falla en cada serie, como la altura inicial de caída a usar en las series correspondientes de la prueba principal.

7.3 Ensayo principal

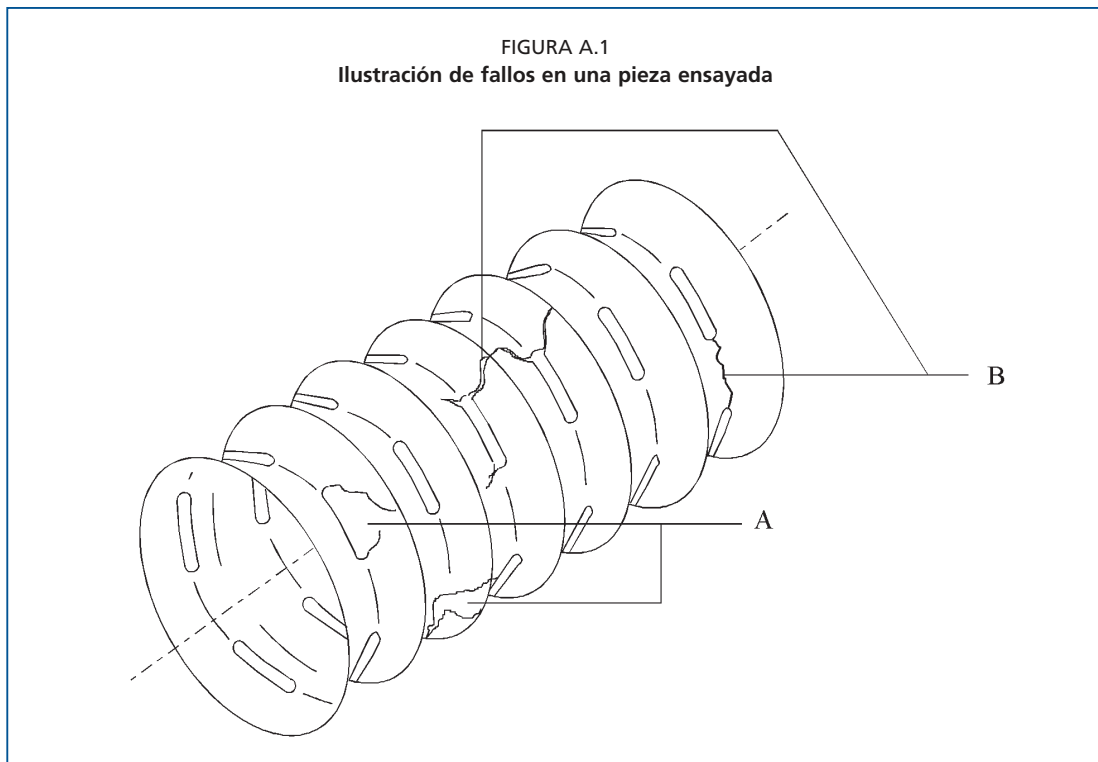
El ensayo principal también está dividido en dos series. Cada serie incluye 16 piezas de ensayo.

En la serie uno, asegurar que cada pieza a probar es golpeada por el percutor sobre una línea de perforación seleccionada al azar. En la serie dos, asegurar que las piezas a ensayar son golpeadas por el percutor alternativamente sobre la línea de junta uno y sobre la línea de junta dos.

Registrar los valores de la altura de caída para las piezas ensayadas y anotar si la pieza ensayada falló o no.

Calcular el nivel de fallo H_{50} usando la siguiente ecuación:

$$H_{50} = (X_p + X_f) / 2$$



Donde

X_f es el promedio de las alturas de caída cuando ocurrió fallo.

X_p es el promedio de las alturas de caída cuando las piezas pasaron la prueba.

Calcular dos valores de H_{50} , designados H_{50pl} y H_{50sl} como sigue:

H_{50pl} es el valor deducido de los 16 golpes sobre las líneas de las perforaciones.

H_{50sl} es el valor derivado de los 16 golpes sobre las líneas de junta.

Un golpe se considera un fallo si:

- La pieza ensayada se rompe en dos o más partes.
- La pieza ensayada se fragmenta (detalle A).
- La pieza ensayada muestra al menos una rotura que une ininterrumpidamente un par de perforaciones cualquiera (detalle B).
- Puede verse a simple vista una rotura mayor de 5 mm sobre la línea de junta.

PARTE 3: CONEXIONES

1 ÁMBITO

La Parte 3 especifica los requisitos para conexiones de PVC-U. También especifica los parámetros de ensayo para los métodos de prueba a que se refiere esta Parte de esta norma.

Pueden utilizarse conexiones de polietileno (PE) y de polipropileno (PP) con tuberías de PVC-U.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

- ISO 2507. Tuberías y conexiones termoplásticas - Temperatura de ablandamiento Vicat - Método de ensayo y especificaciones básicas.
 - ISO 2507-1. Temperatura de ablandamiento Vicat - Parte 1: Método general.
 - ISO 2507-2. Temperatura de ablandamiento Vicat - Parte 2: Condiciones especiales para tuberías de PVC-U, PVC-C y PVC-HI.
- ISO 4439. Tuberías y conexiones PVC-U - Determinación y especificación de densidad.
- CEN/TC 155 WI 127. Resistencia de juntas.

3 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma europea, en la figura A.1 del Anexo A se ilustran los siguientes términos: acople, unión en T, unión en Y, unión de clip, reductor, tapón final y tapón cónico, tubo de salida, rejilla de bichos.

4 ESPECIFICACIÓN PARA MATERIAL DE CONEXIONES (HECHAS DE PVC-U)

El material con el que están hechas las conexiones será PVC-U y cumplirá los requisitos especificados en la Parte 1 de esta norma. Además, las conexiones hechas de PVC-U cumplirán los requisitos de el Cuadro 1.

Las conexiones fabricadas a partir de tuberías cumplirán con la temperatura de ablandamiento Vicat requerida para tuberías según la Parte 2 de esta norma, es decir 77°C.

5 REQUISITOS GENERALES

5.1 Tipos de conexiones

Los tipos de conexiones incluyen los siguientes:

- Acoples.
- Uniones (unión en T o unión en Y).
- Uniones clip.
- Reductores.
- Tapones finales y tapones cónicos.
- Tubos de salida.

5.2 Apariencia

Las superficies interna y externa de conexiones serán suaves, limpias y sin estrías, ampollas y cualquier otra irregularidad de la superficie que perjudique su

CUADRO 1

Requisitos del material para conexiones moldeadas de PVC-U

Característica	Unidad	Requisito	Parámetro de ensayo	Método de ensayo
Vicat	°C	mínimo 79	1 mm de penetración 50 ± 1 N	TC 155 WI 043 (ISO 2507)

funcionamiento. Los extremos de conexión estarán cortados limpiamente y serán perpendiculares al eje de la conexión.

NOTA: Las conexiones pueden ser de cualquier color.

6 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

6.1 Dimensiones de conexiones

6.1.1 Diámetro

El (los) diámetro(s) nominal(es) (DN) de una conexión corresponderá(n) y será(n) diseñado(s) según el (los) diámetro(s) nominal(es) de las tuberías para las que se diseñan, según la Parte 2 de esta norma.

El diámetro interior máximo (D_i) para conexiones cumplirá los valores aplicables dados en el Cuadro 2.

La diferencia entre el diámetro interno máximo de la conexión medido en mm y el diámetro nominal (diámetro externo en Escandinavia) de la tubería en la que se instala será inferior a 1,5 mm hasta DN 80 inclusive, inferior a 2,0 mm para $DN > 80$ hasta DN 125 inclusive, y 2,5 mm para $DN > 125$.

6.1.2 Espesor de pared mínimo

El espesor mínimo de pared (e) de conexión será como sigue:

- $e \geq 1,5$ mm para DN 50 hasta DN 80 inclusive.
- $e \geq 1,8$ mm para $DN > 80$ y $DN \leq 125$.
- $e \geq 2,5$ mm para DN mayor de 125.

NOTA: Ángulos

Los ángulos nominales preferidos para uniones son: 30°, 45°, 60°, 67,5°, 90°.

NOTA: Largo de inserción

Las conexiones deberán permitir la unión entre dos diferentes rollos de tuberías o entre una tubería más grande y otra más pequeña. Esto se hará de tal manera que se impida la entrada de suelo en los drenes y también para impedir que el extremo final de la tubería menor sobresalga en la tubería mayor y obstruya el flujo. Ninguna conexión deberá cubrir u obstruir las perforaciones por una longitud mayor de 300 mm para tuberías de hasta DN 125 inclusive y de 400 mm para tuberías de más de DN 125 hasta DN 630 inclusive.

7 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

7.1 Fuerza de ensamblado y empuje mediante ensayo de fuerza

No se requiere esta prueba para DN mayores de 200 mm.

Si se ensaya de acuerdo con EN [115WI 127]-1, las fuerzas, en N, cumplirán con los valores aplicables dados en el Cuadro 3.

7.2 Resistencia a separación (fuerza de tracción)

Si se ensaya de acuerdo con EN [155 WI 127]-2 y según las fuerzas indicadas en el Cuadro 4, la unión no se separará.

CUADRO 2

Requisitos para diámetros internos máximos

DN de la tubería	$D_{i\ max}$ (mm)	DN de la tubería	$D_{i\ max}$ (mm)
50	51,5	100	102,0
60	61,5	125	127,0
65	66,5	160	162,5
80	81,5	200	202,5

CUADRO 3

Requisitos para fuerza de ensamblado y empuje-mediante fuerza

<i>DN</i>	Fuerza de ensamblado	Empuje-mediante fuerza
≥ 50 y ≤ 125	≤ 200 N	≥ 300 N
> 125 y ≤ 200	≤ 300 N	≥ 400 N

CUADRO 4

Fuerza requerida para resistencia a separación

<i>DN</i>	Fuerza aplicada
≤ 65	150 N
$65 < y \leq 110$	200 N
≥ 110	300 N

8 MARCA**8.1 Conexión**

- a) Las conexiones se marcarán en forma clara y duradera de modo que la legibilidad se mantenga durante el manejo, almacenamiento e instalación de acuerdo con la Parte 6 de esta norma.

La marca puede imprimirse o grabarse en las conexiones. La marca no dañará la conexión.

La marca incluirá la información siguiente:

- a) El nombre del fabricante, la marca registrada o ambos.
 b) La dimensión (*DN(s)*) y el ángulo si es relevante.
 c) El material.
 d) La marca «CE» y la marca voluntaria de certificación europea.
 e) La letra «L».

8.2 Etiquetado

La etiqueta se fijará directamente sobre el embalaje sin cuerda.

La etiqueta deberá incluir la siguiente información:

- a) El nombre del fabricante, la marca registrada o ambos.
 b) La identificación del lugar de fabricación.
 c) La dimensión (*DN(s)*) y el ángulo si es relevante.
 d) El material.
 e) La otra marca de calidad.
 f) La fecha de fabricación: año y mes.
 g) La marca «CE» y la marca voluntaria de certificación europea.
 h) La letra «L».

Todas las marcas permanecerán legibles hasta la instalación de las conexiones.

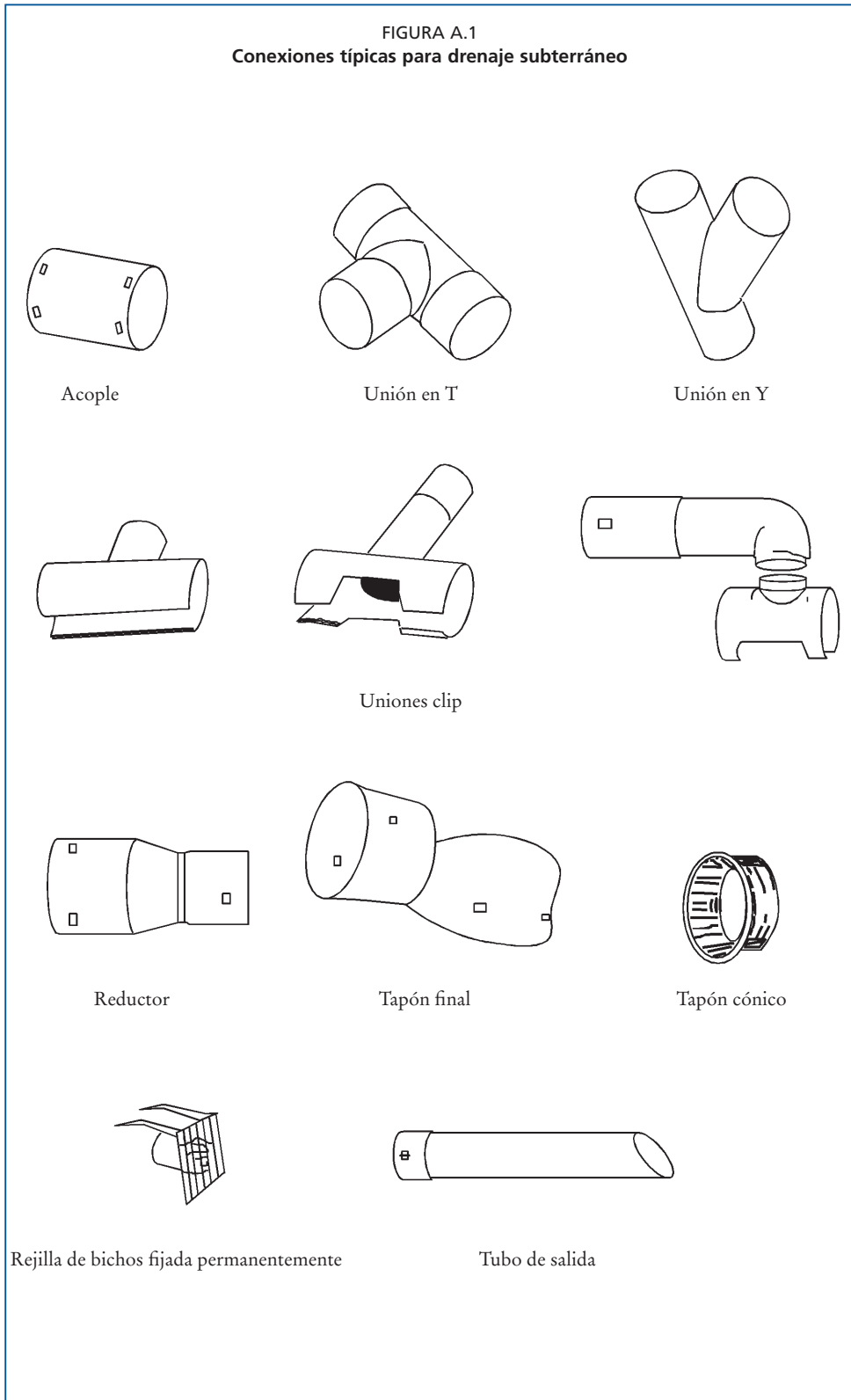
Si se prefiere, la información de la etiqueta del embalaje puede mencionarse sobre la misma conexión.

8.3 Información adicional

El fabricante de tubería declarará una lista de fabricantes de conexiones compatibles, de marcas registradas o de ambas cosas.

ANEXO A (INFORMQATIVO)

Uniones y conexiones de tubería típicas



PARTE 4: ENVOLTURAS

1 ÁMBITO

La Parte 4 especifica los requisitos aplicables a envolturas utilizadas para tuberías revestidas.

También especifica los parámetros de ensayo para los métodos de prueba a los que se refiere esta norma.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

- ISO 554. Ambientes estándar para acondicionar, ensayar o ambas cosas - especificaciones.
- ISO 565. Tamices para ensayo - Malla de alambre, placa de metal perforado y lámina conformada eléctricamente - Tamaños nominales de aberturas.
- ISO 9862. Geotextiles - Muestreo y preparación de muestras para ensayo.
- ISO 9863. Geotextiles - Determinación de espesor a presiones específicas.
- ISO 9864. Geotextiles - Determinación de masa por unidad de superficie.
- ISO 10318. Geotextiles - Vocabulario.
- EN ISO 10320. Geotextiles y productos relacionados con geotextiles. Identificación in situ.
- EN ISO 12956. Geotextiles y productos relacionados con geotextiles - Determinación del tamaño de abertura característico.

3 DEFINICIONES

Para los objetivos de esta Parte se aplican las definiciones dadas en otras Partes de esta Norma Europea conjuntamente con las siguientes:

3.1 Geotextil:

Un material textil, sintético o natural, polimérico, permeable, en forma de lámina manufacturada que puede ser tejido, no tejido o tricotado, utilizado en aplicaciones de ingeniería geotécnica y civil.

NOTA La definición de geotextil «tejido», «no tejido» o «tricotado» está incluida en ISO 10318.

NOTA: El término «geotécnico» mencionado anteriormente incluye la aplicación en drenaje de tierras.

3.2 Material suelto enrollado previamente (PLM):

Una estructura permeable que consiste de hilos, fibras, filamentos, granos, gránulos o cuentas, sueltas y orientadas al azar, que reviste una tubería de drenaje corrugada, colocada dentro de un revestimiento permeable o sujeta por una malla apropiada y que se usa en aplicaciones de drenaje.

3.3 Límite del diámetro de partícula d_m :

Diámetro de partícula de suelo en el que el m por ciento de las partículas de suelo, en peso seco, son más finas que ese tamaño de grano.

3.4 Índice de tamaño de poro O_{90} :

Tamaño de abertura perteneciente al 90 por ciento del tamaño de partícula (d_{90}), retenido por la envoltura como resultado del cernido con fracciones de arena específicas.

3.5 Índice de tamaño de poro O_{95} :

Tamaño de abertura perteneciente al 95 por ciento del tamaño de partícula (d_{95}), retenido por la envoltura como resultado del cernido con fracciones de arena específicas.

4 MUESTREO Y ACONDICIONAMIENTO

4.1 Muestreo

De cinco rollos seleccionados, cortar cinco piezas de tubería limpias y sin daños, de al menos 2,5 m de largo cada una. Evitar daños a la envoltura o que ésta se afloje.

Marcar las secciones de tubería para su identificación respecto a:

- Marca registrada/nombre del fabricante.
- Información proporcionada sobre la cinta de marca y opcionalmente sobre la etiqueta adjunta.
- Número de rollo u otra identificación.
- Fecha de muestreo.

Secar secciones húmedas a un máximo de 40°C y a una humedad relativa máxima del 50 por ciento hasta que se obtenga una masa constante.

Almacenar las secciones de tubería en un lugar sin polvo, en un ambiente seco y oscuro, a temperatura ambiente y protegidas de daños químicos y físicos, si no se ensayan en 24 horas.

4.2 Preparación de muestras

Cortar cuidadosamente un trozo de 1000 ± 5 mm de cada una de las tuberías de drenaje revestidas para determinar espesor y masa.

Cortar cuidadosamente otro trozo de 500 ± 5 mm de cada una de las tuberías de drenaje revestidas para determinar el índice de tamaño de poro.

Solamente para geotextiles, cortar cuidadosamente un trozo de 1000 ± 5 mm de cada una de las tuberías de drenaje revestidas para medir la capacidad de humectación.

Transferir la marca de identificación de cada sección de tubería a las muestras correspondientes.

Almacenar las muestras sin polvo, en un ambiente seco y oscuro, a temperatura ambiente y protegidas de daños químicos y físicos, hasta que no se lleven a cabo los ensayos.

4.3 Acondicionamiento

Acondicionar las muestras de acuerdo con ISO 554 por un período de 24 h.

5 ESPECIFICACIONES

NOTA: El material del que están hechas las envolturas no se especifica pero debe cumplir los requisitos de esta norma.

NOTA: Como los requisitos de los ensayos de geotextiles son significativamente diferentes de los de PLM, en la mayoría de casos las especificaciones deben ser específicas para cada una de estas dos categorías.

5.1 Requisitos generales

NOTA: Estos requisitos se aplican a geotextiles y PLM.

5.1.1 Apariencia

La envoltura será regular sin mostrar agujeros evidentes al inspeccionarse visualmente sin aumento.

NOTA: El material envolvente puede ser de cualquier color.

5.2 Especificaciones para geotextiles

5.2.1 Espesor

El espesor nominal no se desviará más del 10 por ciento del declarado por el fabricante, si se mide de acuerdo con ISO 9863.

5.2.2 Masa por unidad de superficie

La masa por unidad de superficie no se desviará más del 10 por ciento de la declarada por el fabricante, si se mide de acuerdo con ISO 9864.

5.2.3 Índice de tamaño de poro

El tamaño de abertura no se desviará más del 30 por ciento del declarado por el fabricante de filtros, si se mide de acuerdo con EN ISO 12956.

5.2.4 Capacidad de humectación

La carga de agua no excederá de 5 mm y el área mojada será el 100 por ciento de la superficie de las diez piezas ensayadas, si se mide de acuerdo con el Anexo A de esta Parte.

5.3 Especificaciones para PLM**5.3.1 Requisitos de espesor**

Si se mide de acuerdo con los métodos descritos en el Anexo B, los requisitos serán los siguientes:

a) *Espesor mínimo*

El requisito de espesor mínimo dependerá del material usado según se indica en el Cuadro 1.

b) *Requisito de la media de espesor medio*

La media de espesor medio de cada pieza ensayada no se desviará más del 25 por ciento de lo declarado por el fabricante.

5.3.2 Masa por unidad de superficie

Si se determinan de acuerdo con el Anexo C, las medidas individuales no se desviarán más del 25 por ciento de la masa por unidad de superficie declarada por el fabricante.

5.3.3 Índice de tamaño de poro

Todas las medidas individuales del tamaño O_{90} estarán comprendidas entre los límites dados para la clase mencionada en la marca, si se determina de acuerdo con el Anexo D.

Dependiendo del índice del tamaño de poro O_{90} se aceptan dos clases de PLM:

PLM-F (F: fino)	$300 \mu\text{m} \leq O_{90} < 600 \mu\text{m}$
PLM-S (S: estándar)	$600 \mu\text{m} \leq O_{90} \leq 1100 \mu\text{m}$

6 MARCA

La información requerida para geotextiles (véase el Cuadro 2) estará impresa si es posible sobre la envoltura, al menos en ambos extremos del rollo.

Si no es posible marcar sobre la envoltura de otros geotextiles y PLM, se marcará sobre una cinta adhesiva al menos en ambos extremos del rollo, salvo que no sea posible imprimir toda la información requerida sobre la cinta de marca, en cuyo caso puede darse la información en una etiqueta atada a la tubería o sobre el propio geotextil. Al menos la fecha de fabricación y revestimiento permanecerá sobre la tubería revestida después de la instalación.

Las marcas incluirán la información requerida en el Cuadro 2.

La marca será resistente a la intemperie y legible después de la instalación.

CUADRO 1

Espesor mínimo (e_{min}) en mm, requisito para materiales sueltos colocados previamente

Sintético		Orgánico	
Fibroso	Granular	Fibroso	Granular
3,0	8,0	4,0	8,0

CUADRO 2

Requisitos mínimos de la marca

Información	Geotextil	PLM
Nombre de la compañía de revestimiento	√	√
Materia prima del filtro	√	√
Tipo de filtro	WG: geotextil tejido KG: geotextil tricotado NG: geotextil no tejido	PLM
Espesor	opcional	√
Masa por unidad de superficie	opcional	√
Índice del tamaño de poro	opcional	F o S (véase 5.3.3)
Fecha de revestimiento	(año/mes/día)	(año/mes/día)

ANEXO A (NORMATIVO)

Determinación de la capacidad de humectación de un geotextil

A.1 Definiciones

Capacidad de humectación: capacidad de un geotextil seco de tener una pequeña resistencia inicial a la penetración de agua.

A.2 Principio

La resistencia de un geotextil al paso de agua se mide por:

- La presión hidráulica máxima (b) necesaria para atravesar el geotextil perpendicularmente a su plano.
- El porcentaje del área (s) de paso del agua a través del geotextil. Esta superficie es el área exterior humedecida.

Se somete progresivamente a una pieza de ensayo plana de geotextil a una presión hidráulica creciente.

Se registran la presión hidráulica máxima necesaria para que el agua pase completamente a través de la pieza ensayada así como la superficie humedecida.

A.3 Aparato

A.3.1 Un cilindro medidor, hecho de un material transparente, de diámetro interno de al menos 80 mm, con una placa en la base que incluye una malla rígida que pueda soportar la pieza a ensayar. Entre esta pieza y el aro adyacente del cilindro se coloca un sello de material elastómero o de silicona resistente al agua.

A.3.2 Una fuente de agua, que consta de un recipiente con agua desde el que puede aplicarse una presión hidráulica creciente. El aparato está diseñado de forma que la presión hidráulica se aplica verticalmente, tanto desde la parte superior hacia abajo o viceversa. El agua usada para el ensayo puede colorearse con una solución al 1 por 1000 de tintura fluorescente de tipo $C_{20}H_{10}Na_2O_5$.

A.3.3 Un mecanismo para medir presión, comprendiendo una de las siguientes formas (véanse las Figuras A.1 y A.2):

- a) Si el agua fluye en sentido descendente, la presión puede medirse por la carga de agua en el cilindro.
- b) Si el agua fluye en sentido ascendente, la presión puede medirse con una célula dinamométrica.

NOTA: Aparato recomendado (medidor de humectación). El abastecimiento de agua en forma descendente es de construcción simple (véase la Figura A.3) pero su diseño necesita considerar el riesgo de obstrucciones por fluoresceína. Para su limpieza periódica es necesario poder conectar y desconectar el tubo de acero inoxidable y retirar la base del recipiente y el cilindro medidor de forma conveniente (véase la Figura A.4-a y la Figura A.4-b).

A.3.4 Determinación de espesor

Los medios para determinar el espesor de una pieza bajo ensayo de hasta 0,01 mm están especificados en ISO 9863.

FIGURA A.1
Aparato con abastecimiento de agua desde la parte superior hacia abajo

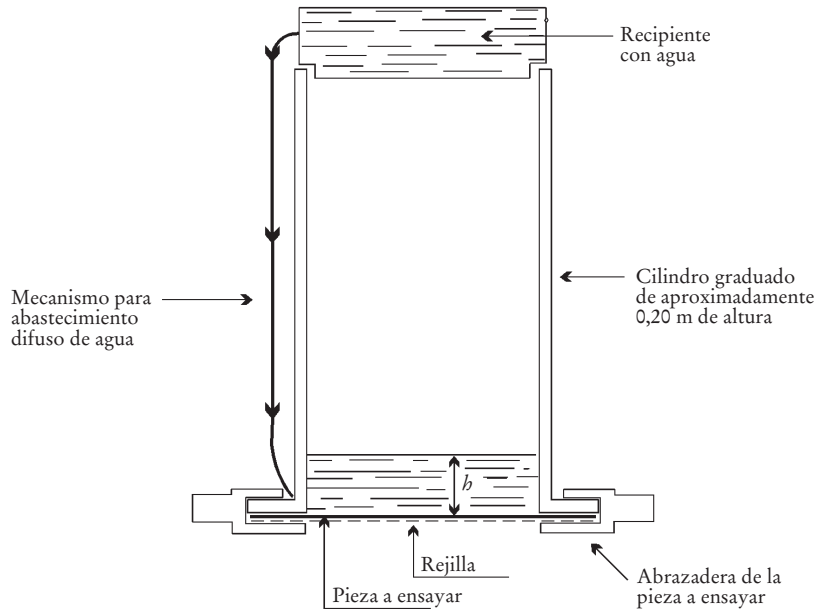


FIGURA A.2
Aparato con abastecimiento de agua desde el fondo hacia arriba

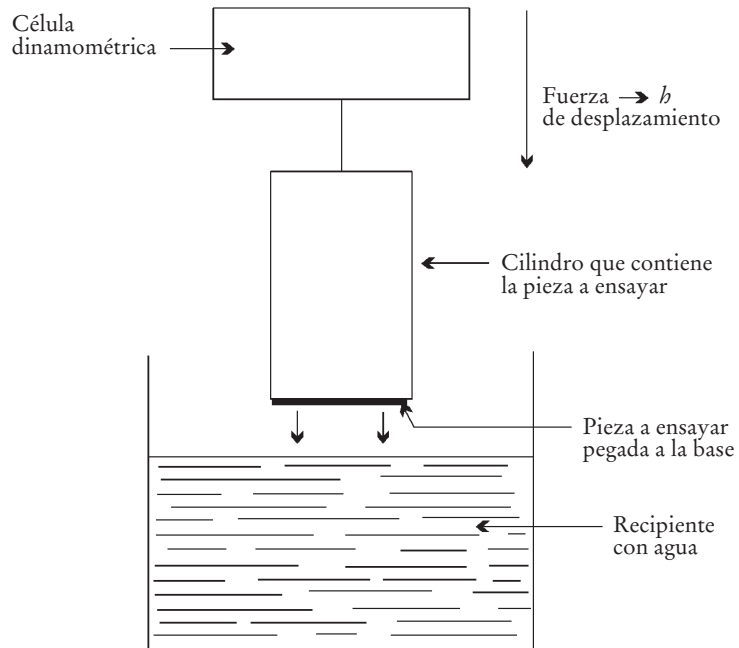


FIGURA A.3
Medidor de humectación: croquis general

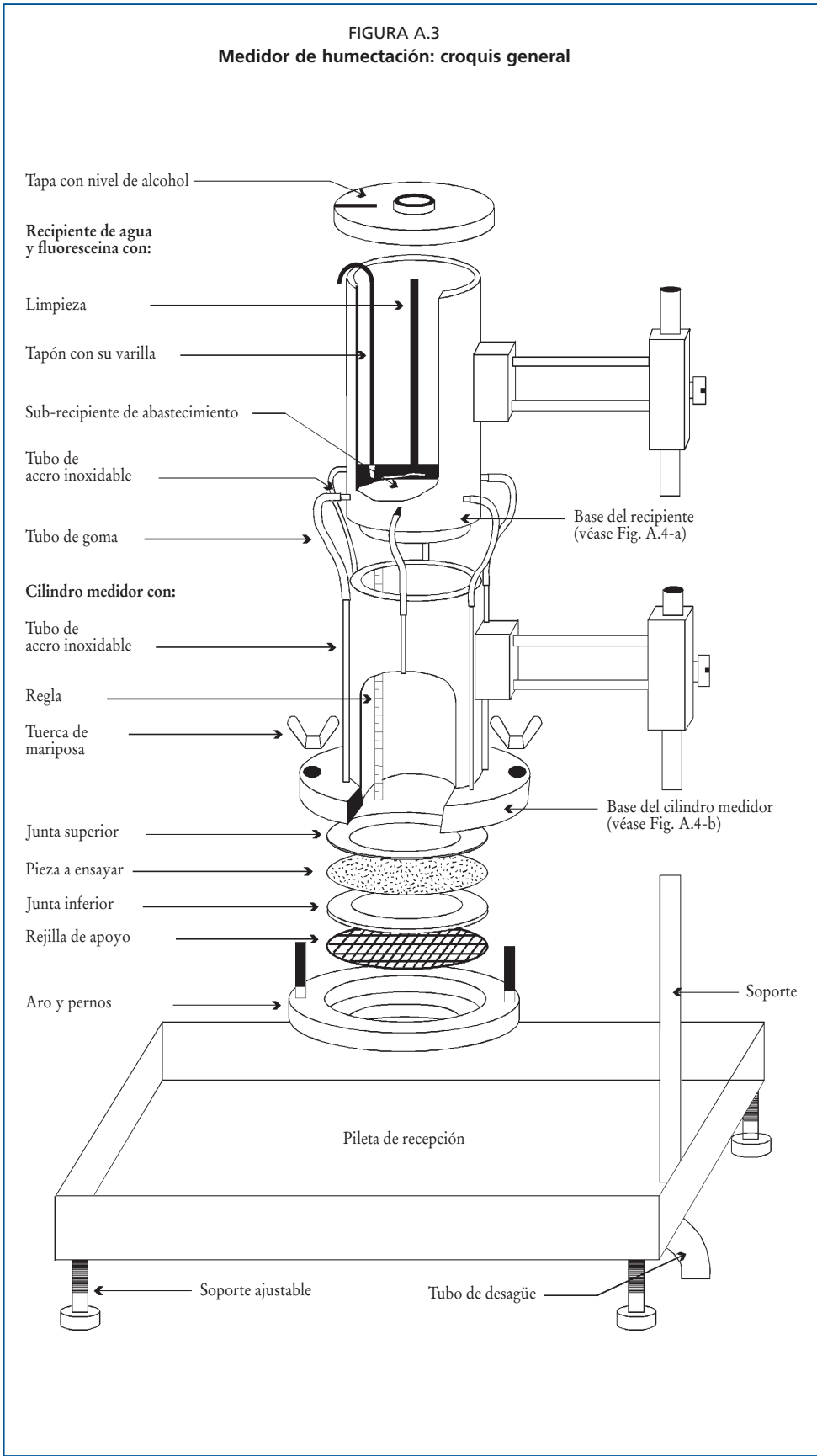


FIGURA A.4a
Base del recipiente

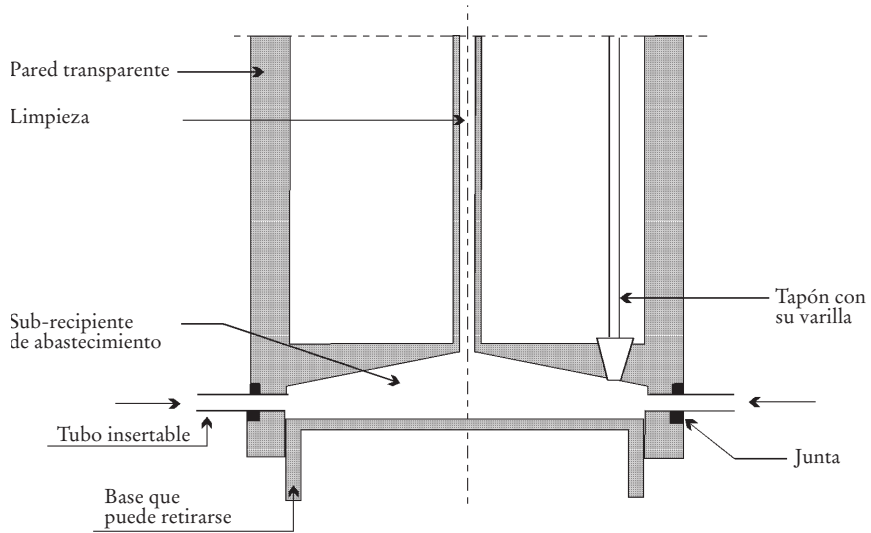
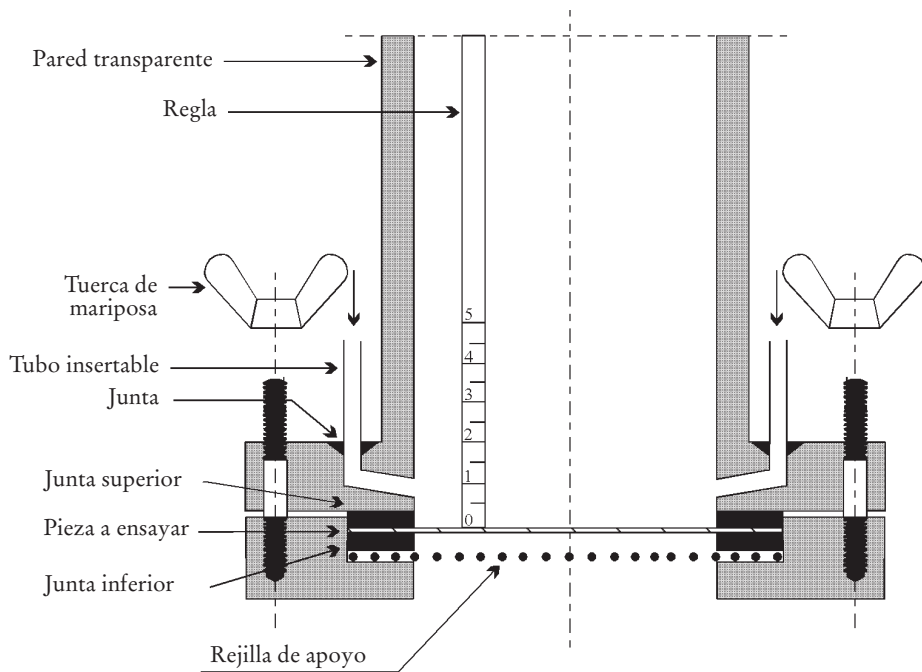


FIGURA A.4b
Base del cilindro medidor



A.3.5 Determinación de masa por unidad de superficie

Los medios para determinar la masa por unidad de superficie de una pieza a ensayar de hasta 0,01 g/m² se especifican en ISO 9864.

A.4 Pieza a ensayar

A.4.1 Preparación

La pieza de ensayo consistirá de un corte plano de una muestra del geotextil que se ajuste a la base de un cilindro (A.3.1) teniendo un diámetro interno de al menos 80 mm.

NOTA: El geotextil deberá manipularse lo menos posible y no doblarse para evitar cualquier alteración de su estructura superficial.

A.4.2 Muestreo

Se cortarán al menos diez piezas de ensayo de posiciones regularmente distribuidas a lo largo y a lo ancho de una muestra de material geotextil de al menos 1 m de largo tomada al azar.

NOTA: Se recomienda obtener piezas de ensayo adicionales para reemplazar aquellas que puedan descartarse en el caso de filtración por sus bordes durante el ensayo.

A.5 Acondicionamiento

Mantener cada pieza a ensayar durante 24 h en uno de los ambientes de ensayo descritos en ISO 554.

Mantener la pieza de ensayo en una posición horizontal sin ninguna carga.

A.6 Procedimiento

Montar y sellar la pieza de ensayo en posición en el extremo apropiado del cilindro (A.3.1). Después de verificar que el cilindro medidor está vertical, incrementar la presión hidráulica a razón de en torno a 10 mm/min. Registrar la altura máxima de agua alcanzada con una precisión de 1mm.

Observar durante la prueba el paso de agua a través de la pieza de ensayo y rechazar como insatisfactoria cualquier prueba en la que pase agua por la junta. Repetir estas pruebas utilizando una nueva pieza de ensayo.

Medir el (las) área(s) efectiva(s) de paso de agua en la superficie externa de la pieza de ensayo usando cualquier método adecuado para determinar los límites del (las) área(s) mojada(s).

NOTA: Se recomienda hacer la observación bajo la luz de una lámpara ultravioleta.

Medir, en mm², las áreas de paso de agua, con una precisión del 1%.

Cuando la carga de agua llegue a 100 mm, medir el tiempo necesario para que el agua penetre.

A.7 Resultados

Para cada pieza de ensayo registrar la presión hidráulica máxima, con una precisión de 1 mm y el porcentaje del área de paso respecto al área total de la pieza, con una precisión del 1% de variación.

Calcular la media aritmética de los valores obtenidos y el coeficiente de variación. Para las piezas de ensayo válidas usadas, es decir, excluyendo aquellas rechazadas según A.6, calcular la masa media por unidad de superficie y el espesor medio.

A.8 Informe de ensayo

El informe de la prueba incluirá como mínimo la información siguiente:

- a) El número y fecha de esta norma.
- b) La identificación del geotextil de acuerdo con EN ISO 10320.
- c) La masa por unidad de superficie de cada pieza de ensayo y la masa media por unidad de superficie de las piezas de ensayo.
- d) El espesor nominal correspondiente a la pieza de ensayo y el espesor medio de las piezas de ensayo.
- e) Detalles del aparato usado, incluyendo un esquema.
- f) El área de las piezas de ensayo expuestas.
- g) Los resultados tabulados de los datos experimentales y los cálculos.
- h) La carga de agua media debida a la resistencia a penetración de agua y el valor de la máxima carga hidráulica debida a dicha resistencia.
- i) Los tiempos medio y máximo requeridos para penetración de agua después de alcanzarse 100 mm de carga de agua.
- j) Los porcentajes medio y máximo del área humedecida de las piezas ensayadas.

ANEXO B (NORMATIVO)

Determinación del espesor de material suelto enrollado previamente (PLM)

B.1 Principio

Como espesor mínimo se toma la menor distancia entre las determinadas mediante agujas que atraviesan el material suelto colocado previamente. Para el espesor medio, se miden con una cinta métrica, a una presión especificada, el diámetro de la tubería revestida y el de la sin revestir.

B.2 Espesor mínimo

La determinación del espesor mínimo (e_{min}) de la envoltura se hará sobre cinco muestras de una longitud de 1000 mm, con un instrumento de medir como se muestra en la Figura B.1.

El instrumento de medir tendrá un rango de medida de hasta 20 mm con una precisión de lectura de 0,1 mm.

Inspeccionar visualmente las secciones de tubería para estimar el espesor mínimo.

Poner la base sobre una superficie plana y dura y ajustar el calibrador a cero.

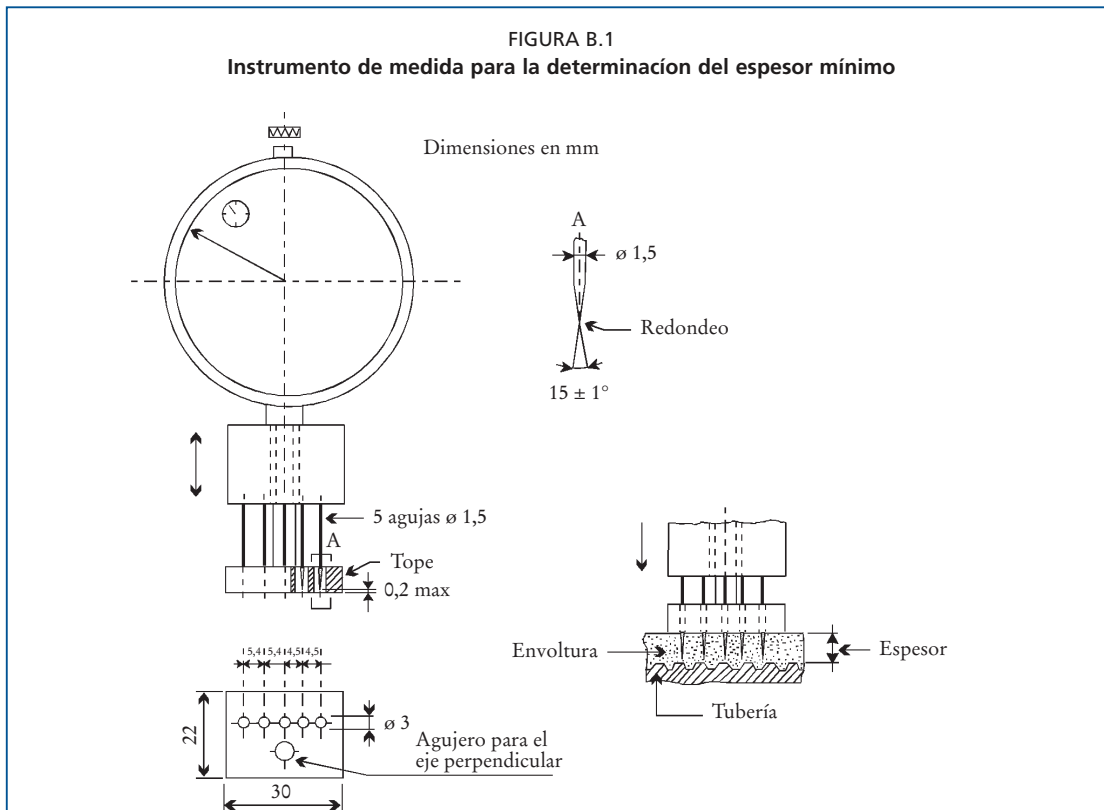
Apretar (a mano) las agujas a través de la envoltura hasta que al menos una alcance la pared de la tubería.

Leer el espesor mínimo y redondear el valor medido al 0,1 mm más próximo.

B.3 Media de espesor medio

B.3.1 Instrumento

La determinación de la media del espesor medio (e) de la envoltura en las cinco muestras con una longitud de 1000 mm, es decir, de hecho la pieza de ensayo, necesita una cinta métrica sujeta a un peso de $1,75 \pm 0,25$ N para una cinta de un ancho de 8 mm; el peso será de $2,50 \pm 0,25$ N para una cinta de 16 mm de ancho; el peso necesario para anchuras de cinta entre 8 y 16 mm se interpolará linealmente entre 1,75 N y 2,50 N.



B.3.2 Procedimiento

Con una cinta métrica con una precisión de 0,1 mm determinar cuatro veces la circunferencia externa o directamente el diámetro externo de tubería más envoltura en lugares regularmente distribuidos en la pieza de ensayo.

Retirar cuidadosamente las envolturas y colocarlas aparte para la determinación de la masa (véase el Anexo C.2).

Repetir el procedimiento para determinar la circunferencia externa o el diámetro externo de la tubería.

B.3.3 Cálculo

Calcular la media de las circunferencias externas P_o y P_m o la media del diámetro externo D_o y D_m de las cuatro medidas de la pieza en ensayo y redondear el resultado al 0,1 mm más próximo.

Calcular la media del espesor medio (e) de la pieza de ensayo usando la siguiente ecuación:

$$e = (P_o - P_m)/2 \pi = (D_o - D_m)/2$$

donde:

e es la media del espesor medio del material envolvente (mm).

P_o es la media de la circunferencia externa de tubería y envoltura (mm).

P_m es la media de la circunferencia externa de tubería (mm).

$\pi = 3,142$.

D_o es la media del diámetro externo de tubería y envoltura (mm).

D_m es la media del diámetro externo de tubería (mm).

B.4 Informe de ensayo

El informe del ensayo incluirá al menos la siguiente información:

- a) El número y fecha de esta norma.
- b) El ambiente del acondicionamiento y el tiempo de reposo.
- c) La media y el mínimo del espesor medio de cada pieza ensayada.
- d) El coeficiente de variación a la presión especificada.
- e) La desviación de la media del espesor medio de cada pieza ensayada respecto al espesor prescrito por el fabricante.
- f) Si se requiere, pueden tabularse los datos experimentales y cálculos de la media y el mínimo del espesor medio de cada muestra.

ANEXO C (NORMATIVO)

Determinación de la masa por unidad de superficie de material suelto enrollado previamente (PLM)

C.1 Principio

Un área especificada de material de revestimiento se pesa para determinar la cantidad media de material envolvente alrededor de la tubería.

C.2 Procedimiento

La masa por unidad de superficie se calcula pesando el material suelto colocado previamente en la pieza de ensayo de una longitud de 1000 mm, después de desatarlo de las cuerdas que lo sujetan en el caso de envolturas fibrosas o de su cobertura en el caso de envolturas granulares.

Una vez que se ha medido el espesor de acuerdo con el Anexo B, pesar separadamente cada envoltura extraída de cada una de las cinco piezas a ensayar con una precisión de 0,1 g.

La masa obtenida es la masa por metro lineal de tubería (m_1) y se expresa en g/m.

C.3 Cálculo de resultados

Calcular la masa por unidad de superficie correspondiente, con su media de espesor medio (e), usando la siguiente ecuación:

$$m = 1000 m_1 / [\pi (D_m + e)]$$

con $D_m = P_m/\pi$ = diámetro exterior de tubería en mm.

e = media de espesor medio en mm determinado de acuerdo con B.3.

D_m y e se dan con una precisión de 0,1 mm; m se expresa en g/m² y se calcula al 1 g/m² más próximo.

C.4 Informe de ensayo

El informe del ensayo incluirá al menos la siguiente información:

- El número y fecha de esta norma.
- El ambiente de acondicionamiento y el tiempo de reposo.
- Si se requiere, pueden tabularse los datos experimentales y cálculos de la masa por unidad de superficie de cada muestra.
- La masa por unidad de superficie de cada muestra.
- La desviación de la masa por unidad de superficie de cada muestra respecto a la masa prescrita por el fabricante.

ANEXO D (NORMATIVO)

Material suelto enrollado previamente: determinación del índice de tamaño de poro

D.1 Principio

De la envoltura se toma un disco como pieza a ensayar, se fija en un marco y se coloca horizontalmente en un aparato cernidor. Se vierte cierta cantidad de una fracción de arena específica sobre la pieza de ensayo. Durante un tiempo determinado se aplica a la pieza de ensayo una vibración vertical con una frecuencia y amplitud específicas.

La cantidad de arena que permanece sobre y en la pieza ensayada indica los tamaños de los poros más grandes.

D.2 Material

D.2.1 Fracciones de arena

Las fracciones de arena estarán compuestas por arena de cerner seca de acuerdo con ISO 563 usando un juego de cribas ISO seleccionadas de la serie R-20 de ISO 565 con tamaños de malla dados por los límites de fracción del Cuadro D.1.

D.3 Aparato

D.3.1 Instrumento cortante

Para obtener piezas de ensayo de la muestra se usará un instrumento cortante metálico circular con un diámetro interno de $135 \pm 0,1$ mm.

D.3.2 Instrumento para cernir

El aparato para cernir generará una vibración vertical con una amplitud de 0,75 mm y una frecuencia de 50 Hz.

D.3.3 Porta-piezas de ensayo

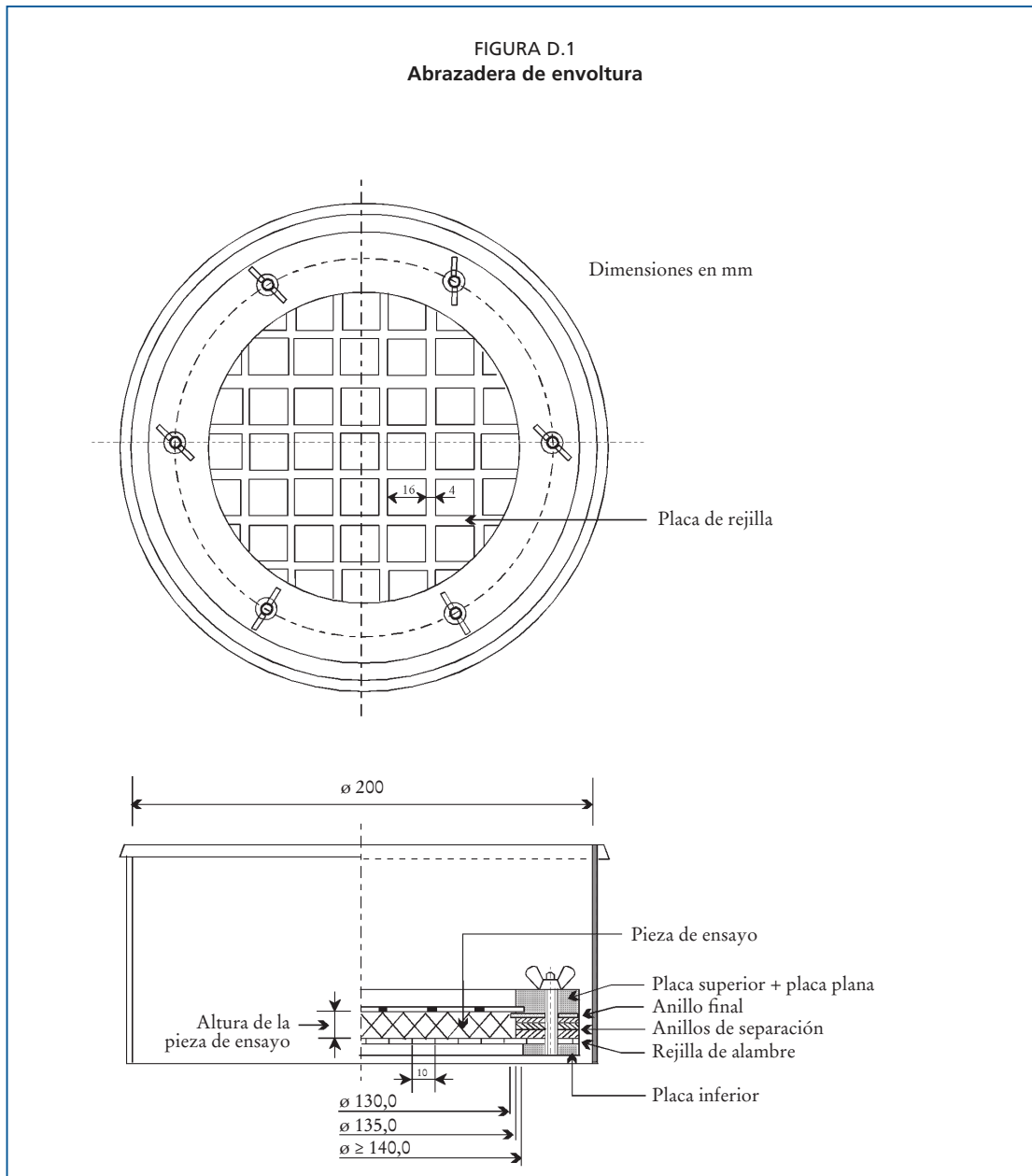
El porta-piezas de ensayo constará de los siguientes elementos (véase la Figura D.1):

- Cedazo de alambre con un tamaño de malla de 10 mm.
- Disco inferior con un diámetro interno de al menos 140 mm.
- Varios anillos separadores apilables, planos y rígidos con diámetro interno de $135 \pm 0,1$ mm, que aumentan de espesor cada 0,2 mm y un anillo final rígido con diámetro interno de $130 \pm 0,1$ mm y un grosor de 1,0 mm.
- Un disco superior con diámetro interno de $135 \pm 0,1$ mm y una altura de al menos 10 mm, con una placa de rejilla plana que porta en su base una malla de 16 mm.

CUADRO D.1

Límites de fracción y diámetro medio de partículas de las fracciones de arena

Límites de fracción (μm)		Diámetro medio de partícula (μm)
d_{min}	d_{max}	d_m
90	125	108
125	160	143
160	200	180
200	250	225
250	315	283
315	400	358
400	500	450
500	630	565
630	800	715
800	1000	900
1000	1250	1125
1250	1400	1325



D.3.4 Placa de base y pesa

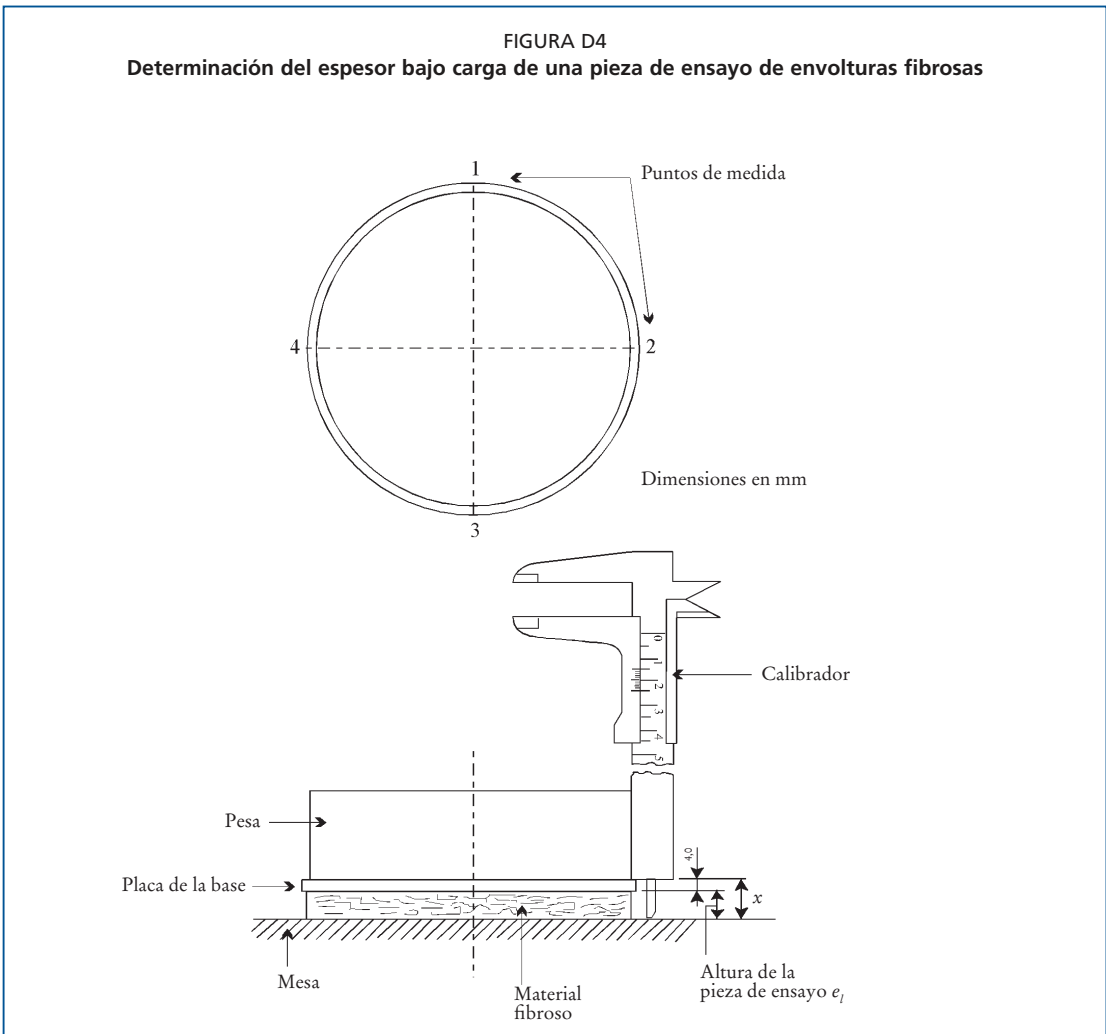
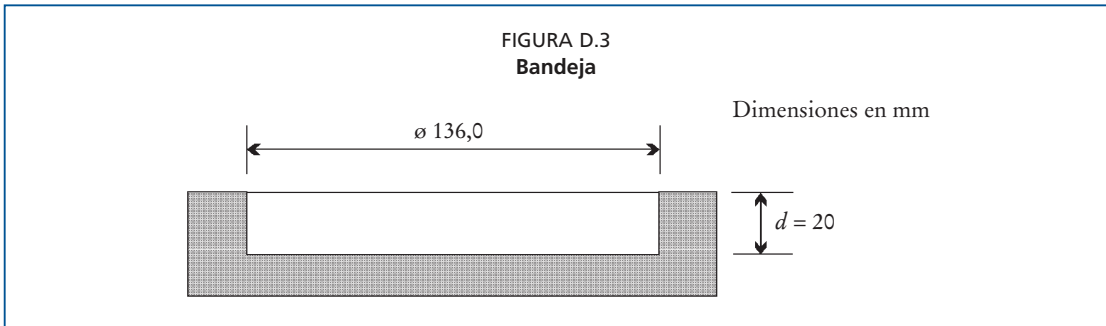
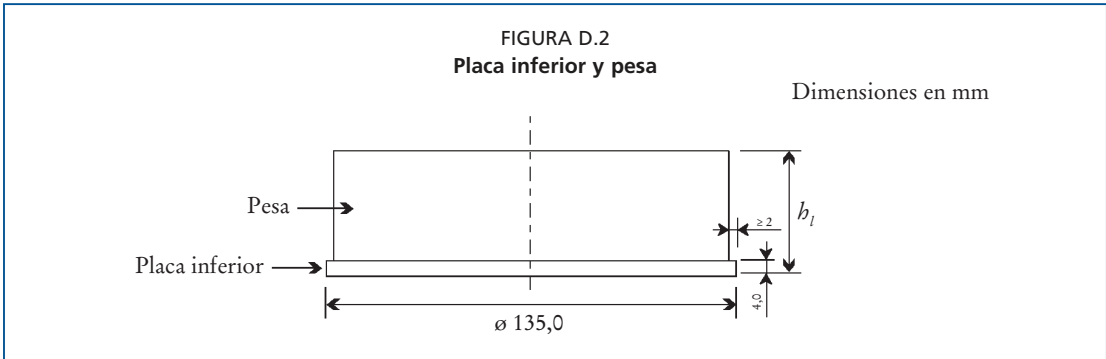
La medida del índice de tamaño de poro requiere que la pieza de ensayo permanezca bajo carga. Por tanto, es necesaria una placa de acero en la base con una masa total de $9,3 \pm 0,1$ kg y una altura total (h_i) medida con una precisión de 0,1 mm (Figura D.2). La placa inferior rígida y plana de la base tiene un diámetro externo de $135 \pm 0,1$ mm y un grosor de $4 \pm 0,1$ mm.

Las envolturas granulares necesitan además una bandeja con un diámetro de $136 \pm 0,1$ mm y una profundidad mínima (L) de 20 mm medida con una precisión de 0,1 mm (Figura D.3).

D.4 Procedimiento para envolturas fibrosas

D.4.2 Selección de anillos de separación

Separar cuidadosamente la envoltura de las muestras de 500 mm de largo comenzando por la costura. Utilizar un par de tijeras si no se puede encontrar la junta.



Con el instrumento cortante y un mazo cortar una pieza de ensayo de la envoltura separada.

Colocar la pieza de ensayo en una superficie plana y poner sobre ella la placa inferior y la pesa.

NOTA: Esta fuerza se aproxima al peso ejercido por el suelo sobre la envoltura.

Después de 600 ± 15 s determinar con un calibrador el espesor (x) con una precisión de 0,1 mm, como se muestra en la Figura D.4.

Repetir esta medición en otros tres lugares y calcular el valor medio (x_m) con una precisión de 0,1 mm.

Calcular la altura de la pieza de ensayo (e_1) restando 4,0 mm a x_m .

Seleccionar una serie de anillos de separación (incluyendo el aro final) correspondientes a la altura de la pieza de ensayo e_1 . Los anillos de separación y la muestra deben ajustar perfectamente.

Colocar la pieza de ensayo sin tensión y en forma plana sobre el porta-piezas de ensayo (véase la Figura D.1), con el lado de contacto con la tubería de drenaje hacia abajo.

Poner la placa superior en su lugar y montar el porta-piezas de ensayo sobre la bandeja de recogida del aparato de cribado.

D.4.3 Procedimiento de cernido

Elegir una fracción de arena d_m próxima al O_{90} supuesto.

Pesar 50 g de la fracción de arena seleccionada con una precisión de 0,01 g.

Asegurar que el aparato de cernido está nivelado.

Verter la arena sobre la pieza de ensayo, asegurando que durante el cribado la arena se distribuye uniformemente sobre la pieza de ensayo. Cerrar la tapa del aparato de cernido.

Activar el aparato de cribado durante 300 ± 2 s.

Quitar el porta-piezas de ensayo del aparato de cernido, asegurando que la arena sobre la parte superior y dentro de la pieza de ensayo no caiga en la bandeja de recogida.

Pesar la arena de la bandeja de recogida con una precisión de 0,01 g.

Quitar la arena copiada sobre y dentro de la pieza de ensayo girando y sacudiendo el porta-piezas de ensayo. Se obtendrán al menos 49 g de arena.

Elegir la fracción de arena para el siguiente análisis de cernido basándose en el resultado del primer cribado.

Repetir el procedimiento de criba.

Determinar el índice de tamaño de poro de acuerdo con D.4.4.

Si fuera necesario repetir el procedimiento de cernido con una fracción de arena seleccionada que incluya el índice de tamaño de poro esperado.

Determinar de acuerdo con este procedimiento el índice de tamaño de poro de las otras cuatro piezas de ensayo.

Cada fracción de arena se usará solamente cinco veces.

D.4.4 Cálculo de resultados

Para cada pieza de ensayo, representar en un diagrama el porcentaje de cada fracción que pasó la pieza de ensayo en un eje de probabilidad y el diámetro medio de la fracción en un eje logarítmico. Ajustar y trazar manualmente una línea recta entre los puntos representados. La intersección de esta línea recta con la línea del 10 por ciento marca el tamaño de poro O_{90} o el índice de tamaño de poro, que se expresa en μm y se redondea al 5 μm más próximo.

D.5 Procedimiento para filtros granulares

D.5.1 Selección de anillos de separación

NOTA: Al contrario de las envolturas fibrosas colocadas previamente, no es posible determinar el índice de tamaño de poro de una envoltura granular. Los procedimientos para medir el espesor bajo carga y por tanto la preparación de la pieza de ensayo son diferentes.

Separar cuidadosamente el envoltorio de la muestra de una longitud de 500 mm y colocar cada cosa aparte para su uso posterior.

Recoger el material granular en un plato.

NOTA: El plato es preferentemente de vidrio.

Pesar los gránulos obtenidos de la muestra con una precisión de 0,01 g y determinar la masa (G_m) en g/m.

Determinar la masa G_1 en g usando las siguientes ecuaciones:

$$G_1 = (A_1/A) G_m = 4,56 G_m / (D_m + e)$$

Donde:

G_1 es la masa de material granular para determinar la altura de la pieza de ensayo para la prueba de cribado (g).

$A_1 = \pi 135^2/4$; superficie media de cada una de las piezas de ensayo (mm^2).

$A = \pi (D_m + e)1000$; superficie media de tubería más envoltura por metro de longitud (mm^2).

G_m es la masa de material granular por metro de longitud de tubería (g/m).

e es la media del espesor de envoltura medio de la muestra de tubería (mm) de acuerdo con B.3.

G_1 se expresa en g y se redondea al 1 g más próximo.

Recoger en la bandeja cierta cantidad de material granular igual a la masa $G_1 \pm 0,1$ g.

Esparcir uniformemente el material granular en la bandeja.

Usar el instrumento cortante para cortar un disco de envoltorio y ponerlo encima del material granular.

Colocar la placa de la base y la pesa sobre la pieza de ensayo en la bandeja. Después de 300 ± 15 s determinar la lectura del calibrador x con una precisión de 0,1 mm en cuatro lugares como se indica en la Figura D.5 y calcular la media x_m .

Calcular la altura de la pieza de ensayo bajo carga e_1 usando la siguiente ecuación:

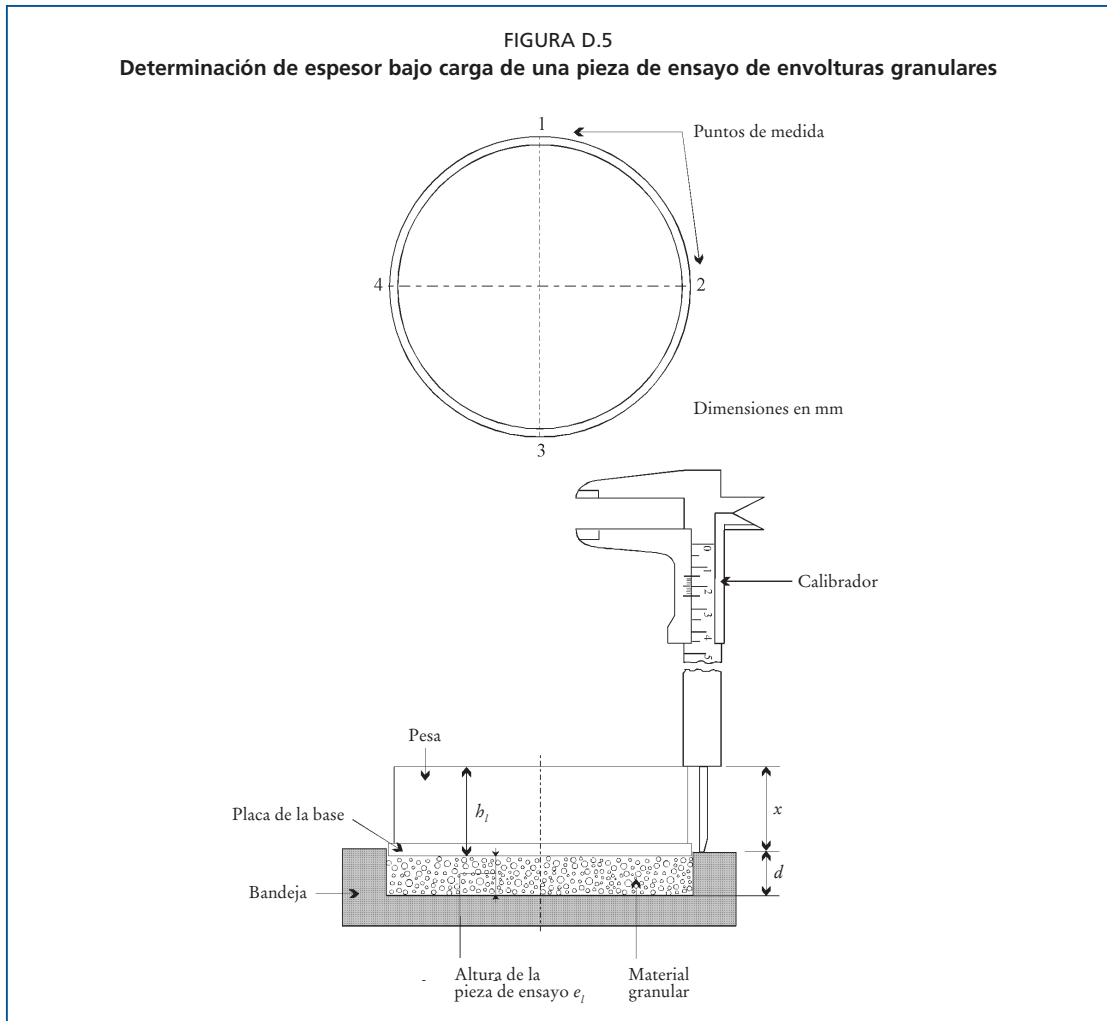
$$e_1 = d + x_m - h_1$$

siendo d la profundidad de la bandeja.

x_m la lectura media del calibrador.

h_1 la altura de la placa de la base más la pesa.

Todos los valores se expresan en mm y se determinan con una precisión de 0,1 mm.



Seleccionar una serie de anillos de separación (incluyendo el aro final) correspondientes a la altura de la pieza de ensayo e_1 .

Colocar el material granular de la bandeja en el soporte de la pieza de ensayo y distribuirlo uniformemente.

Colocar el envoltorio sobre el material granular.

Colocar el anillo superior en su lugar y poner el soporte de la pieza de ensayo sobre la bandeja de recogida del aparato de cribado.

D.5.2 Procedimiento de cernido

Se aplica el procedimiento para envolturas fibrosas dado en D.4.3.

D.5.3 Cálculo de resultados

La determinación de resultados es similar al de envolturas fibrosas según D.4.4.

D.5.4 Informe

El informe de ensayo incluirá al menos la siguiente información:

- a) El número y la fecha de esta norma.
- b) Detalles del aparato incluyendo un diagrama si fuera necesario.
- c) Los valores tabulados del material granular usado. Si es necesario pueden tabularse los datos experimentales y cálculos de la cantidad de material granular retenido.
- d) El índice de tamaño de poro (O_{90}) de cada muestra.

Bibliografía

EN ISO 12956. 1999. Geotextiles and geotextile related products - Determination of the opening size.

EN 964-1. 1994. Geotextiles and geotextile-related products - Determination of thickness at specified pressures - Part 1: Single layers.

EN 965. 1994. Geotextiles and geotextile-related products - Determination of mass per unit area.

PARTE 5: COMPATIBILIDAD PARA LA FINALIDAD DEL SISTEMA

1 ÁMBITO

La Parte 5 incluye ensayos que relacionan la compatibilidad recíproca entre conexiones y tubería. Si se venden conjuntamente, la adaptabilidad recíproca es de responsabilidad mutua entre los fabricantes de conexiones y los de tubería. Si se venden separadamente, el instalador y sus asociados deberán asegurar que cumplen con esta norma.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

No hay referencias normativas.

3 ENSAYO DE FUERZAS DE ACOUPLE Y PENETRACIÓN

Este ensayo no se efectuará para *DN* mayor de 200 mm.

Si se ensaya de acuerdo con el método especificado en la Figura A.1 del Anexo A, las fuerzas (en N) serán como se especifica en el Cuadro 1.

4 RESISTENCIA DE LA UNIÓN

Si el ensayo se lleva a cabo de acuerdo con la norma de apoyo EN [155 WI 127] la junta no se separará.

5 SEPARACIÓN ENTRE ACOUPLE O EXTREMO DE TUBERÍA Y TUBERÍA

La separación (*g*) entre acoples o reductores y tuberías depende del diámetro externo de las tuberías y no excederá las siguientes:

- Hasta *DN* 80 (inclusive): $g \leq 1,5$ mm.
- Desde *DN* 100 (inclusive) a *DN* 125 (inclusive): $g \leq 2,0$ mm.
- Desde *DN* 160 (inclusive) a *DN* 200 (inclusive): $g \leq 2,5$ mm.

CUADRO 1

Fuerzas máxima de acople y mínima de penetración

<i>DN</i>	Fuerza de acople	Fuerza de penetración
50-100 inclusive	≤ 200 N	≥ 300 N
125-200 inclusive	≤ 300 N	≥ 400 N

ANEXO A – ACOPLES

Método de ensayo para medida de las fuerzas de acople y penetración

A.1 General

Este ensayo determina la fuerza necesaria para introducir el extremo de la tubería hasta el tope del acople (fuerza de acople) y la fuerza requerida para empujar una corrugación de tubería más allá del tope del acople (fuerza de penetración).

A.2 Procedimiento

A.2.1 Aparato

Se necesita una máquina de ensayo de compresión con un par de placas de acero. Durante el ensayo estas placas no se deformarán de forma alguna.

A.2.2 Muestras

En el Cuadro A.1 se indica la longitud de la muestra para evitar pandeo, de acuerdo con el *DN*.

Los extremos de las muestras se cortarán perpendicularmente al eje de la tubería.

A.2.3 Ensayo

Colocar el acople y la tubería en la placa inferior como se indica en la Figura A.1. Aplicar una fuerza sobre la tubería bajando la placa superior a una velocidad de 30 mm/min.

La tubería no se pandeará durante la prueba. El ensayo se repetirá si se pandea.

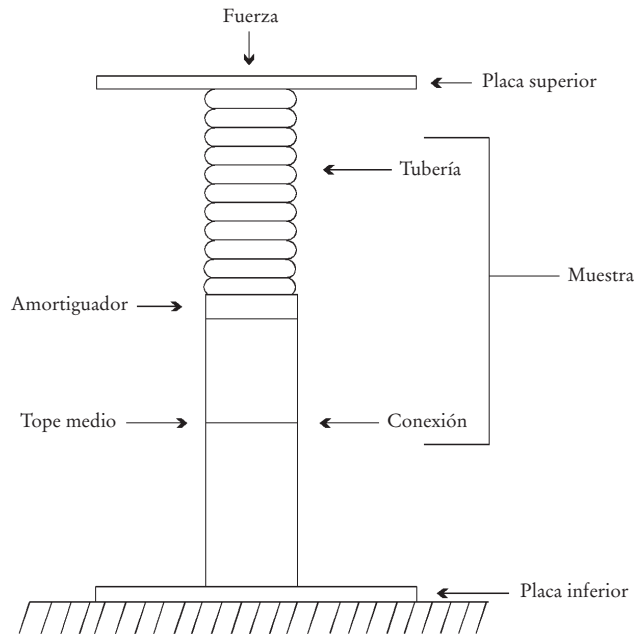
Se ensayarán los dos extremos del acople, cada uno con una muestra de tubería y un acople diferentes. En la medida de lo posible, el procedimiento tendrá en cuenta eso aún cuando la marca sobre el acople sea simétrica.

CUADRO A.1

Longitud de la muestra de tubería para evitar pandeo

<i>DN</i>	Longitud de la muestra (mm)
50	80
60	80
65	100
80	100
100	150
125	150
160	200
200	200

FIGURA A.1
Ensayo de las fuerzas de acople y penetración



PARTE 6: PRÁCTICA RECOMENDADA DE INSTALACIÓN

1 ÁMBITO

La Parte 6 describe la práctica recomendada para la instalación del sistema de tubería.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

➤ ISO/TR 7073. Técnicas recomendadas para la instalación de drenes y alcantarillas enterradas de cloruro de polivinilo sin plastificar (PVC-U).

3 DEFINICIONES

Las definiciones dadas en otras partes de esta norma europea se aplican para la finalidad de esta Parte conjuntamente con las siguientes:

3.1 Dren lateral:

Tubería de drenaje, receptora directa de agua en toda o en parte de su longitud a través de perforaciones en las paredes de la tubería.

3.2 Dren colector:

Una tubería que capta agua de drenes laterales y conduce el flujo conjunto a una salida. Si está perforada también puede actuar como receptor directo de agua.

3.3 Pozo de inspección:

Obra auxiliar en la unión de un lateral y un dren colector o en la unión de varios drenes colectores, usado para cambiar la pendiente, la dirección o ambas cosas y facilitar la inspección de una red de drenaje. Su diseño permite la deposición de limo y arena.

3.4 Máquina zanjadora:

Una máquina que excava una zanja, generalmente de 0,10 a 0,50 m de ancho y que coloca continuamente tubería en la solera de esa zanja, la cual debe rellenarse una vez colocada la tubería.

3.5 Máquina que no abre zanja:

Una máquina que coloca continuamente tubería de drenaje sin abrir zanja alguna o excavación abierta, por medio de un corte hecho con un rejón vertical o un apero en forma de V (p. ej. apero en V).

3.6 Material de relleno:

Material que se coloca sobre o debajo de una tubería de drenaje o recubriéndola totalmente durante su instalación.

3.7 Equipo de limpieza de drenes:

Equipo auxiliar compuesto por diferentes piezas de plástico que instalado en un dren colector se utiliza para limpiar un dren lateral con agua a presión.

3.8 Drenaje topo:

Una operación de duración limitada mediante la cual una reja vertical dotada de un proyectil cilíndrico, como instrumento de expansión opcional, se impele a través del suelo para formar un canal.

4 TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y MANEJO

4.1 Transporte

Los vehículos deberán tener una caja plana y limpia, sin clavos y otros salientes que pudieran dañar las tuberías revestidas o sin revestir.

Los laterales de la caja serán planos y no presentarán superficies ásperas o puntiagudas.

Cuando se transporta una carga mixta de productos (rollos, tubos rectos o ambas cosas) es importante que la carga superior no dañe la inferior. Deberá evitarse una gran flexión de los materiales.

4.2 Almacenamiento

Para impedir la deformación de la tubería es importante que durante almacenamiento a largo plazo la presión sobre el rollo situado más abajo sea la menor posible.

Generalmente, una pila de cuatro rollos es conveniente en el campo y de ocho rollos en dependencias del fabricante u otro lugar adecuado. Los rollos deben apilarse sobre una superficie plana, libre de materiales que pudieran dañar la tubería. Esto es aplicable tanto a tuberías de drenaje revestidas como sin revestir.

Tras la entrega del fabricante hasta la instalación efectiva, la duración del almacenamiento de abril a septiembre, ambos inclusive, debería ser la siguiente:

- En climas moderados -Escandinavia, Reino Unido, Irlanda, Bélgica, Países Bajos, Luxemburgo y Alemania- el período máximo a la intemperie es de tres meses.
- En climas duros -Península Ibérica, Italia, Grecia y Francia- el período máximo a la intemperie es de 1,5 meses.

En caso de que el almacenamiento supere estos períodos máximos, los rollos deberán acopiarse dentro de edificios o en pilas bajo cubierto.

Las pilas se colocarán de modo que se permita el paso de aire alrededor de tuberías y rollos, si éstos se almacenan a la intemperie en climas con temperaturas ambiente superiores a 23°C.

Las características de las envolturas de materiales sueltos enrollados previamente y de geotextiles los hacen más sensibles a los efectos de la intemperie. Las tuberías con filtro se acopiarán dentro de edificios o bajo cubierto, en casos de almacenamiento de larga duración en el exterior y a temperaturas ambiente superiores a 23°C.

4.3 Manejo (carga y descarga)

No deben arrastrarse tuberías sobre el terreno o sobre objetos duros. Independientemente de las técnicas de manejo mecánico que se usen, todo equipo que entre en contacto con tuberías no tendrá protuberancias.

Cuando se descarguen tuberías y rollos no deben arrojarse sobre el terreno sino que siempre deben descargarse cuidadosamente sobre el suelo o apilarse si tienen que almacenarse.

Cuando deban transportarse tuberías rectas una dentro de otra, las tuberías de dentro deben extraerse primero y apilarse separadamente.

Para el manejo de materiales con bajas temperaturas, según se especifica en 5.6, es necesario tomar precauciones adicionales, especialmente evitando golpes violentos a las tuberías.

5 PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN

5.1 General

Se supone que la colocación de tuberías de drenaje se hace principalmente por medios mecánicos. La conformidad de la entrega se registrará visualmente por un representante del cliente.

5.2 Examen in situ

Los levantamientos topográficos (nivel) y de suelos llevados a cabo antes del diseño deberán ser adecuados, con objeto de permitir una evaluación precisa de los problemas de drenaje y permitir un diseño del sistema completo y apropiado.

Siempre que sea posible, deberá determinarse e incorporarse al nuevo sistema la ubicación y condición de drenes existentes y obras enterradas.

Se consultará con el propietario de la tierra y las instituciones pertinentes antes de la iniciación de las obras. Siempre que sea posible, el diseño del sistema deberá evitar el cruce de tuberías o cables enterrados y descartar la necesidad de trabajar bajo cables eléctricos.

5.3 Planes de drenaje

Se prepararán planes detallados de drenaje que muestren el trazado, tipo y tamaño de tubería, uso y profundidad del material de relleno permeable y detalles sobre drenaje topo y subsolado.

5.4 Uso de maquinaria

No se usará maquinaria en un área hasta que no se haya terminado el trabajo preparatorio de demarcación inicial de la localización de drenes secundarios o cualquier otra ubicación topográfica de futuras tuberías de drenaje.

5.5 Capacidad de tránsito y condiciones del subsuelo

Las condiciones del suelo y del subsuelo deberán ser tales que permitan evitar sellado y compactación innecesarios en la superficie o cerca del dren. Pueden ser perjudiciales para la instalación del drenaje la presencia de capas freáticas altas, charcos o una capa superior de suelo húmeda.

El tránsito sobre el terreno deberá minimizarse siempre, especialmente cuando se instale drenaje con cultivos en crecimiento.

Se evitará una capa freática excesivamente alta y condiciones de suelo seco.

5.6 Condiciones atmosféricas

Normalmente no se colocará tubería y relleno permeable sobre tuberías de cloruro de polivinilo sin plastificar (PVC-U), si la temperatura del aire o de la tubería está por debajo de 0°C. Podrá instalarse tubería tomando precauciones adicionales, si las condiciones locales obligan a trabajar con baja temperatura. Pueden usarse tuberías de cloruro de polivinilo sin plastificar (PVC-U) revestidas previamente con materiales voluminosos con temperaturas de hasta -3°C.

Debe evitarse el estiramiento de tuberías de drenaje de plástico a temperaturas superiores a 30°C.

5.7 Establecimiento y control de equipo láser

Es de primordial importancia el control de la pendiente y profundidad de los drenes parcelarios. Para obtener la pendiente y profundidad correctas, ahora se utiliza frecuentemente con las máquinas de drenaje un equipo láser para el control de la pendiente. El correcto funcionamiento e instalación del equipo láser es de gran importancia. Por tanto, este equipo requerirá una revisión adecuada antes de utilizarse (véase el Anexo A).

5.8 Colocación de tubería

5.8.1 Requisitos generales

Las zanjas de dren discurrirán en línea recta a la profundidad y pendiente requeridas, salvo que existan condiciones topográficas que lo impidan.

La tubería se instalará con una profundidad mínima de 0,6 m respecto a la superficie del suelo para evitar daños debidos al tránsito sobre el terreno y preferiblemente deberá instalarse por debajo de la profundidad máxima de penetración de heladas.

Todas las líneas de drenes laterales deberán taparse en su extremo superior para evitar la entrada de suelo o animales.

Todos los drenes colectores se instalarán partiendo de su extremo inferior hasta el superior aguas arriba y deberán acondicionarse e instalarse antes que los drenes laterales.

Todas las líneas de drenes laterales se instalarán a partir de su extremo aguas abajo.

Si drenes topo tienen que atravesar drenes laterales, la profundidad de la tubería deberá ser tal que la base del dren topo esté al menos 100 mm por encima de la parte superior de la tubería. Se recomienda un ancho mínimo de zanja de 100 mm y normalmente deberá usarse un relleno permeable.

Deberán conectarse convenientemente al nuevo sistema drenes existentes que aún funcionen. Todos los demás drenes existentes se unirán a los nuevos drenes mediante una conexión adecuada o con relleno permeable.

Se utilizarán tuberías con uniones selladas o tuberías de plástico corrugado sin perforar (en todos otros aspectos de acuerdo con los requisitos de esta norma)

si se colocan en alguna de las condiciones siguientes:

- a) Atravesando cortavientos de árboles, arbustos o de ambos.
- b) A menos de 5 m de setos o árboles (distintos que en huertos).
- c) Si las pérdidas de agua del dren pudieran causar erosión o socavación y desplazamiento de la tubería.

Una posición correcta se obtiene manteniendo cierta tensión de estiramiento sobre las tuberías mientras se colocan. Por ejemplo, es útil para este fin usar un dispositivo de frenado en el carrete del rollo y también puede usarse un rodillo pesado o un mecanismo similar.

5.8.2 Tubería colocada en zanjas excavadas mecánicamente

5.8.2.1 Preparación de zanjas de dren

La zanja de dren se excavará de forma que no se impida la entrada de agua a la zanja por sellarse sus paredes.

La solera de la zanja consistirá de suelo natural y normalmente deberá conformarse mediante una herramienta para conseguir una hendidura en forma de V, cuya base tenga un radio superior al radio externo de la tubería que se coloca.

5.8.2.2 Colocación de tuberías de drenaje

Las tuberías de drenaje deberán colocarse a medida que avanza la excavación y afianzarse en su posición.

La tubería se tatará temporalmente si se suspende la instalación de tubería.

Se usará un tubo rígido como puente para proteger la tubería si tienen que instalarse drenes de tubería en condiciones muy blandas, cruzando zanjas rellenadas o en situaciones similares.

Los puentes de dren pueden ser de cualquier material rígido adecuado y se colocarán de tal forma que sus extremos se apoyen sobre suelo firme al menos 600 mm por cada lado.

Se compactará firmemente el suelo por debajo del puente de dren y todos los huecos se rellenarán. Los puentes se instalarán durante o inmediatamente después de la colocación de los drenes. Puede ser necesario fijar las tuberías al puente.

5.8.2.3 Afianzamiento de la posición de tuberías

Respecto a desviaciones de la línea de pendiente proyectada, las líneas de dren cumplirán los siguientes requisitos:

- a) La desviación del punto inferior interno de la tubería de la línea de pendiente estipulada no superará la mitad de su diámetro interno.
- b) Al mismo tiempo, la desviación en ningún momento puede ser tal que, como consecuencia de una contrapendiente, más de la mitad de la sección de tubería permanezca llena de agua después que el dren haya cesado de desaguar.

Deberá asegurarse la correcta colocación de la tubería de drenaje y conexiones antes que la zanja del dren se rellene.

El espacio entre la tubería de drenaje y la pared de la zanja se rellenará de tal forma que no afecte la posición de la tubería.

Los drenes se tatarán inmediatamente después de su colocación, siempre que haya riesgo de que un exceso de agua cause que la tubería flote.

5.8.2.4 Rellenado con material excavado

Tan pronto como sea posible después de la instalación se rellenarán las zanjas de las tuberías con material colocado de tal forma que las tuberías no sean dañadas o descolocadas. Las zanjas deberán rellenarse hasta un nivel suficiente por encima de la superficie del suelo para permitir el asentamiento del relleno. En caso de suelos arenosos la zanja se rellenará con aproximadamente 100 mm de suelo permeable sin humus sobre la tubería.

Para rellenar zanjas de dren no se usará suelo congelado o suelo que debido al excesivo contenido de agua tienda a sedimentarse o a llegar a ser delicuescente.

5.8.3 Tubería colocada mecánicamente sin apertura de zanja

Normalmente, la base del dispositivo de instalación tendrá un aparejo para formar una hendidura en forma de V, cuya base tenga un radio superior al radio externo de la tubería que se coloca.

Cuando las tuberías de drenaje se colocan con máquinas que no abren zanja, es necesario evitar sacudidas o movimientos violentos de las máquinas para evitar arrastres o en ocasiones deslizamiento de suelo.

5.8.4 Conexiones

Inmediatamente después de establecidas se protegerán de desplazamientos.

Cuando tengan que conectarse drenes laterales preferiblemente por encima de drenes colectores, para formar una conexión se usará un tubo rígido de al menos 1 m que estará nivelado y apoyado adecuadamente.

Se usarán uniones hechas ex profeso si se conectan drenes laterales a drenes colectores. En ningún caso se permitirá que el dren lateral sobrepase por dentro al dren colector.

5.8.5 Pozos de inspección

Los pozos de inspección deberán adecuarse a su función, ser duraderos y capaces de mantener sus prestaciones. No habrá ninguna desviación en la línea de dren y se construirán sobre un cimiento protegido de heladas.

Si el pozo sirve para depositar barro o arena, su solera deberá estar al menos 0,30 m por debajo de la parte inferior de la tubería.

Las entradas y salidas de drenes colectores estarán constituidas por tubos de plástico rígido.

5.8.6 Dispositivos para limpieza de drenes

Los dispositivos para limpieza de drenes se instalarán de tal forma que no haya desviaciones en la línea de dren y que éste pueda limpiarse en sentido aguas arriba. Las distintas partes estarán firmemente fijadas y bien ajustadas para asegurar los emplazamientos de limpieza de drenes. El relleno deberá disponerse en capas horizontales bien compactadas de aproximadamente 0,30 m de espesor.

5.8.7 Salidas de colectores

Dondequiera que una tubería de drenaje desagüe en un canal abierto dispondrá de una salida debidamente construida y de un tipo adecuado. Siempre que sea posible, su parte inferior deberá situarse al menos a 150 mm por encima del nivel normal de agua en la zanja.

Un mínimo de 1 m del final del dren será de tipo rígido. Cualquier extensión de la tubería de drenaje más allá del talud también será rígida y resistente a heladas. Deberán colocarse rejillas para bichos.

Los elementos de la pared de las salidas incluirán una protección del talud y placas de protección de salpicaduras y estarán bien fijados en su posición.

5.8.8 Mantenimiento

Puede conectarse al sistema de tuberías un dispositivo auxiliar, por ejemplo un elemento de inyección de agua. En este caso se cerrará el extremo final de la tubería instalando un tapón final. Si no, cuando sea posible el sistema de inyección se conectará directamente a una cámara con tapa.

5.9 Consideraciones generales

5.9.1 Seguridad

5.9.1.1 Seguridad humana

Se prestará atención especial a todas las medidas de seguridad en el emplazamiento y durante el transporte.

Se adoptarán procedimientos de trabajo y en la medida de lo posible se

utilizará el equipo de forma segura y sin riesgos para la salud del personal de obra y de otras personas que puedan tener riesgos debidos a las actividades de dicho personal.

Se debe prestar atención a la importancia de asegurar que cualquier cosa que pueda crear peligro, especialmente partes de maquinaria, esté adecuadamente protegida y que las excavaciones sean seguras y adecuadamente sostenidas. Las excavaciones temporales se cubrirán o protegerán cuando se abandone el emplazamiento con objeto de reducir el riesgo de accidentes a niños y animales.

5.9.1.2 Servicios enterrados

Se contactarán todas las partes involucradas que tengan servicios enterrados en el área que será drenada y se averiguará por escrito la naturaleza y ubicación de esos servicios. Antes que comiencen las obras se preguntará a los agricultores sobre la presencia de cualquier servicio enterrado.

En todos casos, antes de colocar drenes se localizarán y mostrarán los servicios enterrados por medio de excavaciones manuales. En el caso de oleoductos o gasoductos estará presente un inspector durante la excavación y colocación de tuberías cerca o a través de servicios enterrados. Se informará inmediatamente a la institución responsable de cualquier contacto con servicios enterrados.

5.9.2 Conservación

Cuando se realicen obras de drenaje subterráneo se tendrá en cuenta debidamente el paisaje y sus hábitats de vida silvestre. Una adecuada planificación anticipada puede asegurar que la ejecución de obras de drenaje y su futuro mantenimiento tengan un efecto mínimo sobre el medio ambiente. Además, un nuevo sistema puede frecuentemente dar una oportunidad a la creación de elementos de conservación nuevos, por ejemplo lagunas.

ANEXO A

Práctica recomendada para uso de equipo láser

A.1 El trípode del transmisor láser debe colocarse firmemente y sin influencia de vibraciones o efectos similares. En terreno blando, como turba, es deseable si es posible que el transmisor se coloque fuera del campo a drenar.

A.2 Si hubiera líneas eléctricas aéreas en la zona y si el instrumento fuera sensible a las mismas, para impedir su influencia sobre el láser éste no puede colocarse bajo dichas líneas.

A.3 Si se descubre alguna influencia de radar y si el instrumento es sensible al mismo, la obra de drenaje puede proseguir solamente mientras no se use el radar. También puede desplazarse el radar si se solicita.

A.4 Debe mantenerse una distancia máxima de 300 m al transmisor láser durante condiciones de buen tiempo. La distancia máxima deberá reducirse a 200 m durante vientos fuertes. No se llevarán a cabo obras de drenaje con vientos muy fuertes o bajo niebla. La velocidad de la máquina de drenaje se ajustará de acuerdo con las condiciones.

A.5 Para minimizar la influencia del viento durante la colocación del equipo láser se recomiendan los siguientes procedimientos:

- a) Colocar una de las patas del trípode en dirección opuesta al viento.
- b) Comprobar si los acoples y tornillos están bien fijados y si fuera necesario ajustarlos.
- c) Enrollar los cables del transmisor y receptor alrededor de una pata del trípode o alrededor del mástil de recepción.
- d) Fijar el trípode colocando un gancho alrededor de la base de cada una de sus patas y colocar sacos de arena sobre ellos, o fijar cintas de goma entre el punto medio de cada pata y un peso o clavija colocados en el terreno en el centro del trípode.
- e) Proteger la posición del láser instalando un cortavientos temporal o si se puede usar un vehículo como protección contra el viento, en cuyo caso debe vigilarse la turbulencia de detrás del cortaviento.
- f) Instalar el transmisor láser tan bajo como sea posible y ajustar consecuentemente el mástil receptor.
- g) Mantener el transmisor bajo en relación al trípode y si se necesita una posición más alta extender las patas del trípode al máximo.

A.6 Comprobar si la pendiente instalada se ajusta a la pendiente real del rayo láser y repetir esta comprobación durante la instalación de drenes.

A.7 Controlar el láser periódica y adecuadamente.

CUADERNOS TÉCNICOS DE LA FAO

ESTUDIOS FAO: RIEGO Y DRENAJE

- | | | | |
|---------|---|----------|---|
| 1 | La práctica del riego y la ordenación de aguas, 1972 (A* E* F* I*) | 35 | Mecanización del riego por aspersión, 1986 (C E F I) |
| 1 Rev. | 1. Irrigation practice and water management, 1984 (I) | 36 | Riego localizado, 1986 (Ar C E* F I) |
| 2 | Revestimiento de canales de riego, 1972 (Nueva edición 1977, disponible en E, F e I en la colección FAO: Fomento de tierras y aguas, N_1) | 37 | Arid zone hydrology, 1981 (C I) |
| 3 | Design criteria for basin irrigation systems, 1971 (I*) | 38 | Elementos para el proyecto de drenajes, 1985 (Ar C E F I) |
| 4 | Village irrigation programmes _ a new approach in water economy, 1971 (F I*) | 39 | Los lisímetros, 1986 (C E F I) |
| 5 | El riego automatizado, 1971 (E* F* I*) | 40 | Organización, operación y conservación de los proyectos de riego, 1991 (C E* F I) |
| 6 | El drenaje de los suelos pesados, 1971 (E* F I*) | 41 | Ordenación del ambiente para la lucha antivectoral en arrozales, 1986 (E F I) |
| 7 | Salinity seminar, Baghdad, 1971 (F I*) | 42 | Consultation on irrigation in Africa, 1987 (F I) |
| 8 | El agua y el medio ambiente, 1973 (E* F* I*) | 43 | Water lifting devices, 1986 (F I) |
| 9 | Los materiales para avenamientos, 1972 (E* F* I*) | 44 | Design and optimization of irrigation distribution networks, 1988 (F I) |
| 10 | La ordenación integrada de las aguas en la agricultura, 1974 (E* F* I*) | 45 | Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems, 1989 (I) |
| 11 | Planning methodology seminar, Bucharest, 1972 (F* I*) | 46 | CROPWAT - programa de ordenador para planificar y manejar el riego, 1993, (E F I) |
| 12 | Farm water management seminar, Manila, 1972 (I*) | 47 | Wastewater treatment and use in agriculture, 1992 (I) |
| 13 | Water use seminar, Damascus, 1972 (F* I*) | 48 | The use of saline waters for crop production, 1993 (I) |
| 14 | Riego por goteo, 1974 (E* F* I*) | 49 | CLIMWAT FOR CROPWAT, 1993 (I) |
| 15 | Drainage machinery, 1973 (F* I*) | 50 | Le pompage éolien, 1994 (F) |
| 16 | Saneamiento de suelos salinos, 1973 (C* E* F* I*) | 51 | Prospects for the drainage of clay soils, 1995 (I) |
| 17 | La influencia del hombre en el ciclo hidrológico, 1973 (E* F* I*) | 52 | Reforming water resources policy, 1995 (I) |
| 18 | Aguas subterráneas, seminario de Granada, 1972 (E* F I*) | 53 | Environmental impact assessment of irrigation and drainage projects, 1995 (I) |
| 19 | Mathematical models in hydrology, 1973 (I) | 54 | Cruets et apports, 1996 (F) |
| 20/1 | Water laws in Moslem countries _ Vol. 1, 1973 (F* I*) | 55 | Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos, 1997 (E I) |
| 20/2 | Water laws in Moslem countries _ Vol. 2, 1978 (F I) | 56 | Evapotranspiración del cultivo, 2006 (E I) |
| 21 | Groundwater models, 1973 (I) | 57 | Soil salinity assessment, 1999 (I) |
| 22 | Agua para agricultura _ Índice, 1973 (E/F/I*) | 58 | Transferencia de la gestión del riego, 2001 (E-F-I R) |
| 23 | Los métodos de simulación en el aprovechamiento de los recursos hídricos, 1974 (E* F I*) | 59 | Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems, 2000 (I) |
| 24 | Las necesidades de agua de los cultivos, 1975 (C* E F I) (1977, rev. (I)) | 60 Rev.1 | Materiales para sistemas de drenaje subterráneo (E I) |
| 25 | Precipitación efectiva, 1974 (C* E* F* I*) | 61 | Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas, 2002 (I) |
| 26/1 | Pequeñas obras hidráulicas _ Vol. 1, 1976 (E F* I) | 62 | Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems, 2007 (I) |
| 26/2 | Pequeñas obras hidráulicas _ Vol. 2, 1976 (E F I) | 63 | Modernizing Irrigation Management – the MASSCOTE approach. Mapping System and Services for Canal Operation Techniques, 2007 (I) |
| 27 | Estaciones agrometeorológicas, 1976 (E* F* I) | | |
| 28 | Ensayos de drenaje, 1976 (E F I) | | |
| 29 | Calidad del agua para la agricultura, 1976 (E* F* I*) | | |
| 29 Rev. | 1. La calidad del agua en la agricultura, 1987 (C** E* F I) | | |
| 30 | Self help wells, 1977 (I)* | | |
| 31 | Contaminación de las aguas subterráneas, 1981 (C* E I*) | | |
| 32 | Deterministic models in hydrology, 1979 (I)* | | |
| 33 | Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos, 1979 (C* E F I) | | |
| 34 | Corrosion and encrustation in water wells, 1980 (I) | | |

Disponibilidad: agosto de 2006

Ar	-	Arabe	Multil	-	Multilingüe
C	-	Chino	*	-	Agotado
E	-	Español	**	-	En preparación
F	-	Francés			
I	-	Inglés			
P	-	Portugués			
R	-	Ruso			

Los cuadernos técnicos de la FAO pueden obtenerse en los puntos de venta autorizados de la FAO, o directamente en la Sección de Distribución y Ventas, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.

Materiales para sistemas de drenaje subterráneo

Esta publicación presenta directrices prácticas para evaluar la necesidad de envolturas y para seleccionar materiales adecuados (tuberías y envolturas) para el funcionamiento correcto y duradero de sistemas de drenaje subterráneo. Además contiene directrices para instalar y mantener adecuadamente materiales de drenaje, así como especificaciones y normas requeridas por dichos materiales, que puedan usarse en documentos de licitación para la ejecución de obras de drenaje subterráneo. Además, se incluyen directrices prácticas para la realización de investigaciones de laboratorio y campo para evaluar el funcionamiento de materiales de drenaje. El objetivo de esta publicación es proporcionar esta información práctica a ingenieros de drenaje y contratistas encargados de proyectos de drenaje.

