

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional La Plata

**“Avances en el desarrollo del permeámetro de carga
constante según norma IRAM 78007”.**

Centro de Investigaciones Viales LEMaC

Área: Medio Ambiente y Obras Civiles (MAyOC)

Becario: Matias Hot

Director: Luis Del Bono

Resumen:

Este informe trata de reflejar los inconvenientes y las soluciones planteadas para los mismos en el desarrollo del instrumental necesario para la ejecución del ensayo de permeabilidad normal al plano en productos Geosintéticos. De algún modo se tratará de informar al lector el porqué de las decisiones tomadas y el grado de avance alcanzado al día de la fecha.

Ensayo de permeabilidad normal al plano:

Importancia:

El ensayo de permeabilidad normal al plano tiene fundamentalmente importancia en aquellos productos que serán utilizados en aplicaciones geotécnicas donde se requiera el flujo de agua a través de ellos. Casos comunes son los geotextiles utilizados en geodrenes los cuales tienen múltiples usos como ser:

- ✓ Consolidación profunda de terrenos
- ✓ Abatimiento de napa freática
- ✓ Captación y evacuación de fluidos (líquidos y gases)
- ✓ Alivio de empujes hidrostáticos

Los varios ejemplos enumerados con anterioridad nos demuestran que el control de calidad de los Geosintéticos en lo referente a la conducción hidráulica, se ve altamente justificado.

Basándonos en este punto de partida se decide el desarrollo del equipamiento necesario para el ensayo de permeabilidad normal al plano.

Métodos:

Actualmente la norma IRAM 78007 propone dos métodos de ensayo:

- ✓ Método de carga hidráulica constante
- ✓ Método de carga hidráulica variable

Por sencillez en el equipamiento y menor costo de implementación se optó por el estudio y desarrollo del ensayo por el método de carga hidráulica constante.

Este método básicamente propone, hacer circular un flujo de agua a través de un Geosintético manteniendo el nivel hidráulico constante, se recoge en un determinado tiempo un cierto volumen de agua. Con dichos parámetros se determinan el índice de pérdida de carga y el índice de velocidad. Si bien estas determinaciones no proporcionan en forma directa el valor de permeabilidad de la muestra sus valores son aptos para establecer el nivel de aceptación o no del material.

La reglamentación define:

Índice de pérdida de carga, es la pérdida de carga correspondiente a una velocidad de 20 mm/s a través del espécimen.

Índice de velocidad, es la velocidad correspondiente a una pérdida de carga de 50 mm a través del espécimen.

Desarrollo de equipamiento y avance hasta el momento:

El equipamiento necesario fundamentalmente está constituido por el permeámetro, propiamente dicho y el aparato medidor de oxígeno disuelto en agua u oxímetro. El instrumental restante es completado por equipos que existen en el Centro, como ser: termómetros, cronómetros, recipientes para medir volúmenes de líquidos, etc. Por ende no desarrollaremos estos últimos, avocándonos a la descripción de los dos primeros.

Permeámetro de carga hidráulica constante:

El equipo está constituido, en forma simplificada, por un tubo en forma de U de material transparente, el cual dispone de una brida capaz de alojar la muestra de Geosintético a ensayar. Con este principio se comenzó en el proceso de diseño del mismo. Uno de los primeros pasos fue determinar el diámetro interior del aparato. El cual se basó en la posibilidad de llevar a cabo el equipo, es decir de la existencia de la materia prima apropiada y que garantice un diámetro constante en toda su extensión. Otro de los principios fue recolectar el mínimo volumen posible de líquido ya que se requerirá menor cantidad de fluido y recipientes de recolección y provisión de menor tamaño.

La siguiente es la tabla que fundamentó la elección del diámetro de 50 mm.

Area del permeámetro = 0,007854 (m²)

d = 0,1

Carga Hidráulica	Volumen de agua	Tiempo	Manómetro Vt	Temp. del agua	Corrección de viscosidad	Velocidad
H (m)	V (m ³)	t (s)	V _T (m/s)	T (°C)	R _T	V (mm/s)
0,25	0,015	30	-	20	1	63,662
			-			
			-			
			-			
			-			

Area del permeámetro = 0,001964 (m²)

d = 0,05

Carga Hidráulica	Volumen de agua	Tiempo	Manómetro Vt	Temp. del agua	Corrección de viscosidad	Velocidad
H (m)	V (m ³)	t (s)	V _T (m/s)	T (°C)	R _T	V (mm/s)
0,25	0,0035	30	-	20	1	59,418
			-			
			-			
			-			
			-			

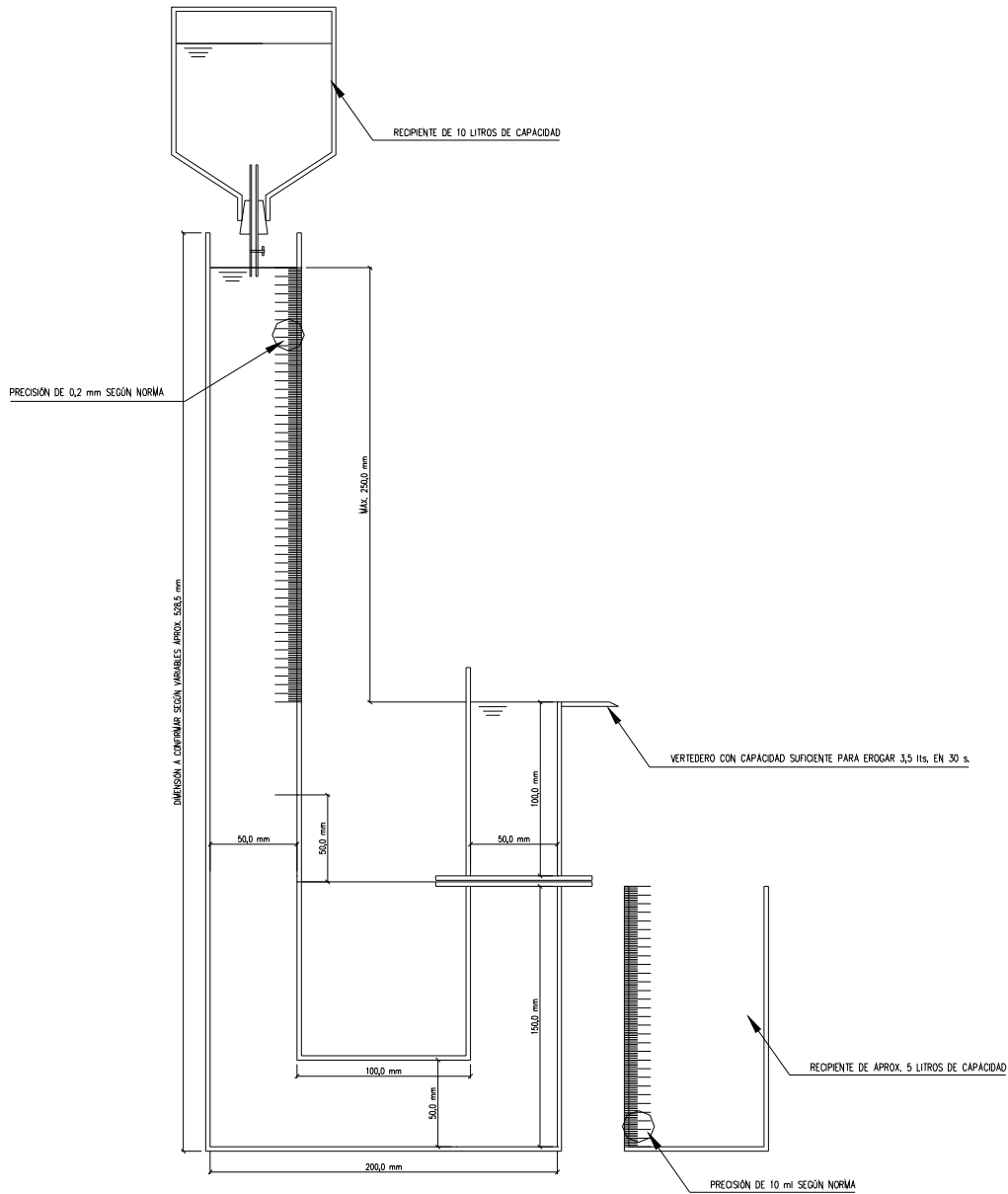
Conclusión:

Esto justifica la utilización del permeámetro de 5 cm de diámetro, ya que se requiere un recipiente de menor volumen para recoger el agua que pasa a través del mismo. Hecho éste que se da por la necesidad de mantener una velocidad aproximada de 60 mm/seg con una pérdida de carga máxima de 250 mm.

El siguiente paso fue optar por la elección de la brida en la rama vertical, ya que eso ayudaría al montaje del aparato y a la colocación de la muestra.

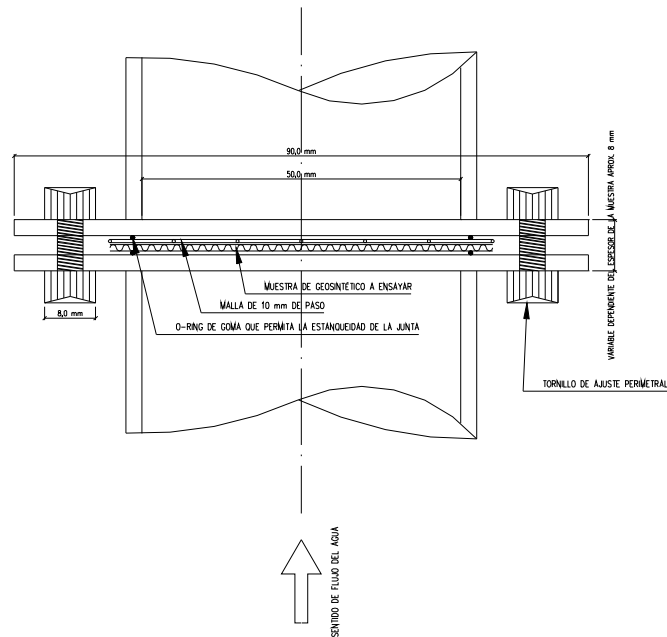
Como dispositivos de medición de carga hidráulica se utilizaron reglas milimetradas adosadas a los tubos del Permeámetro, las cuales logran la precisión exigida por la norma.

Un primer esquema del dispositivo es el siguiente.



Actualmente el equipo que provee agua es un recipiente de mayor volumen el cual se alojará en un mueble construido para la colocación del aparato completo, el fluido se transporta a través de una manguera transparente hasta el nivel fijado como carga constante. Su caudal será controlado mediante una llave o válvula que permita la erogación a la velocidad apropiada.

Sin lugar a dudas, el problema de mayor complejidad a resolver fue el diseño de la brida. La misma debería permitir un perfecto ajuste y colocación de la probeta dejando como sección neta el diámetro interior del permeámetro. La estanqueidad de esta junta es fundamental para establecer parámetros correctos. El primer esquema planteado fue el siguiente.



De las primeras experiencias y pruebas de estanqueidad no se obtuvieron resultados satisfactorios por lo que se optó efectuar las siguientes pruebas con dos diámetros de probetas y distinta cantidad de o – rings.

Probeta	O-Ring	Registro de perdidas
Grande	2	Si
Chica		Si
Grande	1	Si
Chica		No
Grande	0	Si
Chica		Si

Si bien la probeta chica con un solo o-ring no produjo filtraciones, se está en conocimiento que se genera un recorrido de las partículas de agua entorno a la muestra que no representa un flujo de permeabilidad normal al plano.

Un medio correctivo propuesto para esta disyuntiva es la utilización de una arandela de goma, como medio de cierre hidráulico, la cual deberá tener un diámetro interior de 50 mm y un diámetro exterior de aproximadamente 60 mm. Esto es equivalente a la utilización de un solo o-ring pero evitando el flujo fuera del plano del Geosintético.

El desarrollo de la brida de material acrílico, tuvo la ventaja que al ser un material semi-flexible, permite la deformación de la misma, efectivizando de ese modo el perfecto cierre hidráulico, el cual se complementa con la mencionada arandela, que intercepta las posibles filtraciones que se puedan generar por la permeabilidad planar de los materiales Geosintéticos.

El equipo fue construido íntegramente en material acrílico y posterior a su recepción se efectuaron además de las pruebas de estanqueidad antes mencionadas, el control de sus medidas y grado de terminación. Todos estos controles arrojaron resultados aceptables para la precisión exigida por la normativa.

Las siguientes son fotografías del primer prototipo de permeámetro.



Si bien a medida que se generan experiencias el prototipo se ha ido perfeccionando, esos avances continuarán en el tiempo con posibles mejoras.

Actualmente se encuentra en desarrollo el modular que complementa al equipo, destinado no sólo a la organización del mismo sino también a la obtención de apropiadas cargas hidráulicas mediante la elevación del tanque reservorio de agua.

Oxímetro:

El oxímetro es un dispositivo destinado a la medición de oxígeno disuelto en agua. La reglamentación es muy exigente en cuanto a este parámetro se refiere, llegando a estipular un máximo de oxígeno disuelto en el fluido de 6 mg/l (miligramos sobre litro) equivalentes a 6 ppm.

A raíz de esta necesidad se encaró la posible adquisición de un equipo de estas características.

Actualmente se encuentran avanzadas las negociaciones para obtener los recursos necesarios.

La siguiente es una lista de las particularidades del equipo a adquirir:

- Equipo: Oxímetro
- Marca: FIELDS
- Modelo: Gama 5 Digital
- Dispositivo de medición: Celda polarográfica
- Rango de medición: 0 – 19,9 ppm

Equipos similares a este se muestran en las siguientes fotos.



Consideraciones finales:

Se proponen como mejoras al Permeámetro la incorporación de los siguientes elementos:

- ✓ Nivel de burbuja adosable a la base del Permeámetro.
- ✓ Tornillos calantes regulables en altura.

Los mismos proveerán las herramientas necesarias para la perfecta nivelación del aparato.

Conclusiones:

El Permeámetro ha tenido grandes avances este último tiempo que han sido muy satisfactorios. Sin dudas se requerirá mayor trabajo para ir perfeccionando el equipamiento, como así también la experiencia obtenida al respecto.

Uno de los aspectos a trabajar en el futuro es obtener experiencia en los ensayos con muestras de Geosintéticos y en mejorar la operatoria a seguir en el ensayo.

Bibliografía:

- ✓ Norma IRAM 78007 “Determinación de las características de permeabilidad al agua normal al plano, sin carga”.
- ✓ Esquema de Norma IRAM 78026 “Clasificación, funciones y usos”
- ✓ “Geosintéticos. Desde la fabricación a su aplicación en obra”. LEMaC Centro de investigaciones Viales – CIT INTI Centro de Investigación y Desarrollo Textil. Año 2003.

INFORME N° 2

“Primeros ensayos de permeabilidad normal al plano en Geosintéticos”.

Centro de Investigaciones Viales LEMaC

Área: Medio Ambiente y Obras Civiles (MAyOC)

Becario: Delbono Héctor Luís

Introducción y objetivos:

El siguiente informe refleja las experiencias efectuadas en el ensayo de permeabilidad normal al plano sobre productos Geosintéticos. En esta serie de experiencias se utilizaron dos muestras de Geotextil no tejido de filamento continuo, soldado térmicamente. El material base del producto es un polímero estabilizado el cual constituye fibras de 45 micrones de diámetro promedio. Es considerado un producto de baja permeabilidad.

Los primeros ensayos se llevaron a cabo en el Centro siguiendo los lineamientos marcados por la norma IRAM 78007, con los siguientes objetivos:

- Perfeccionamiento del instrumental para su correcto funcionamiento
- Práctica de la metodología de ensayo
- Identificación de problemas en la metodología
- Prueba del nuevo sistema de cierre hidráulico (arandelas de goma)
- Mantenimiento de niveles de carga constante
- Centrado y fijación de la muestra.

Procedimiento de ensayo según norma IRAM 78007:

» Colocación de la probeta y preparación:

El ensayo de permeabilidad normal al plano se inicia acondicionando la muestra de ensayo y colocándola en el permeámetro. Posteriormente se somete el geotextil sin carga a un flujo de agua unidireccional, con régimen de agua constante, cargando el permeámetro hasta que haya una diferencia de carga a través de la muestra de 50 mm de columna de agua la cual debe estabilizarse en 5 minutos, si la misma no se equilibra se comprueba que no haya aire atrapado y se repite el procedimiento, de no cumplirse en el segundo intento, el ensayo no tendrá validez.

» **Determinación de la carga hidráulica máxima (H_{máx}):**

La determinación de la carga máxima es una de las acciones previas de mayor importancia, ya que ella será un parámetro base para la ejecución del ensayo. El procedimiento que indica la norma es, para establecer una pérdida de carga (H_{máx}.) tal que la velocidad de flujo sea lo mas cercana a 60 mm/seg, cargar el Geotextil con una columna de agua inicial de 20 mm, se recoge un cierto volumen de fluido, midiendo el intervalo de tiempo (mínimo 30 seg.) en el que se efectúa la recolección, y determinar la velocidad de flujo mediante la siguiente expresión:

$$v = \frac{Vol.Rt}{A.t}$$

donde:

v = velocidad de flujo en mm/seg

Vol = volumen recogido en m³

Rt = factor de corrección por temperatura del agua

A = área del permeámetro

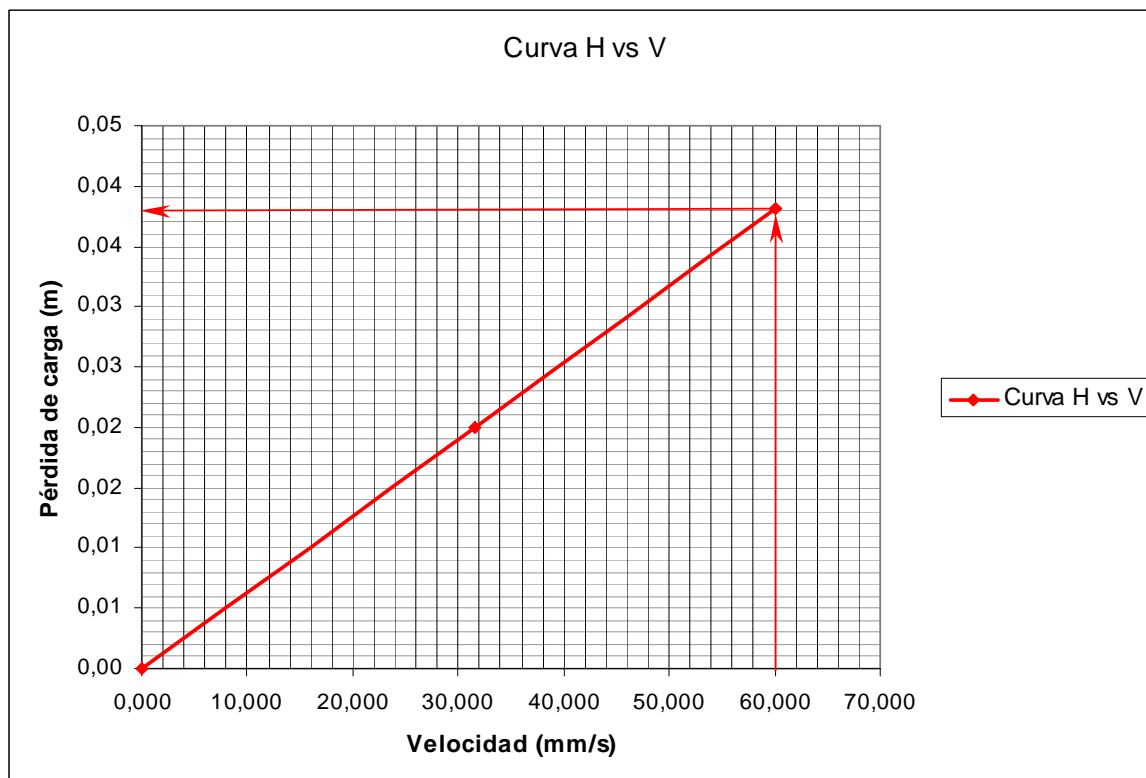
t = tiempo transcurrido en segundos

Determinada esta velocidad y considerando una relación lineal se estima gráficamente o analíticamente la carga máxima para una velocidad de 60 mm/s.

Nota: Para productos de baja permeabilidad, la carga máxima deberá ser de 250 mm, midiéndose la velocidad correspondiente.

Carga Hidráulica	Volumen de agua	Tiempo	Manómetro Vt	Temp. del agua	Corrección de viscosidad	Velocidad
H (m)	V (m ³)	t (s)	V _T (m/s)	T (°C)	R _T	V (mm/s)
0,00			-			0,000
0,02	0,0019	30	-	21	0,97632874	31,492
0,04			-			60,000

Esta tabla sirve para determinar la carga máxima (H_{max}) por relación lineal al cargar el permeámetro con 20 mm de carga estando centrada la muestra.



» **Ensayo con carga máxima:**

Determinada ya la carga máxima se procede a su estabilizado en el permeámetro. Una vez alcanzado su nivel se espera que el mismo permanezca estable durante un lapso mínimo de 30 segundos, se recoge el agua durante este periodo de tiempo o hasta que el volumen sea como mínimo 1 litro. Para dicho volumen se determina la velocidad de flujo.

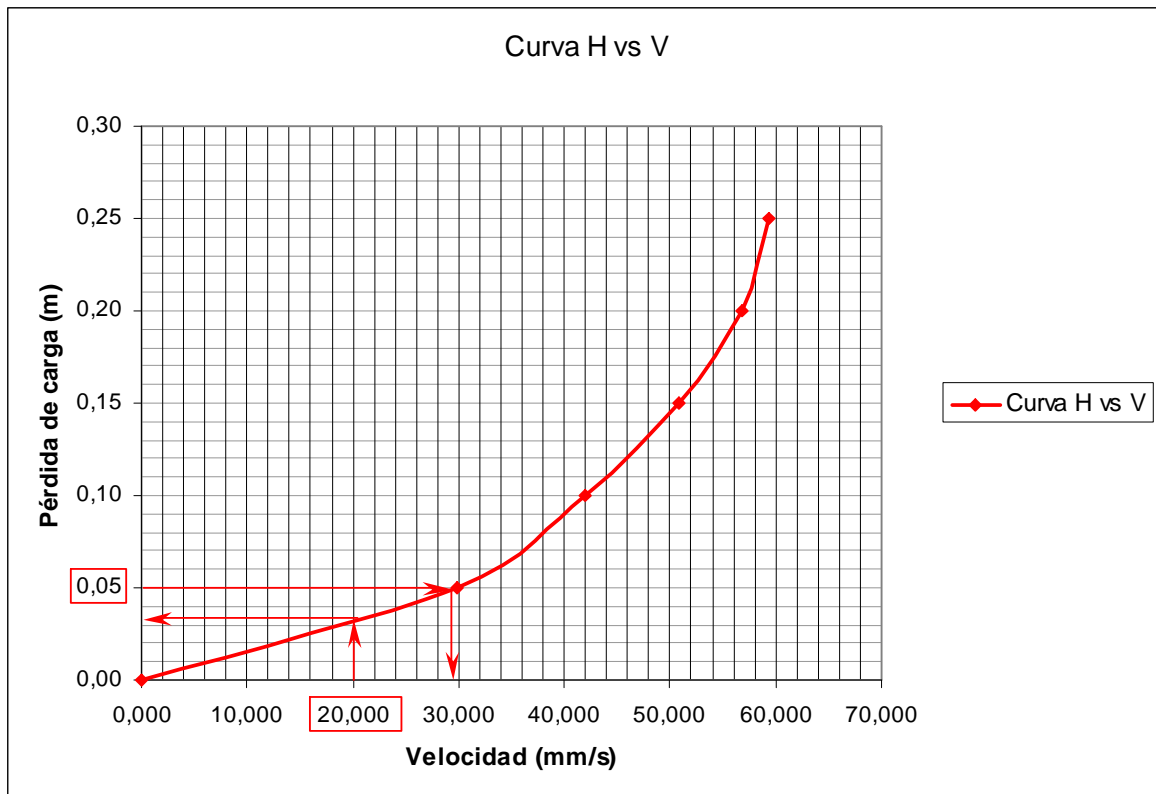
» **Ensayo con cargas restantes:**

Se repite el procedimiento para cuatro pérdidas de carga hidráulicas de valor 0,8 ; 0,6 ; 0,4 y 0,2 veces la pérdida de carga máxima ($H_{m\acute{a}x}$). Para cada una de estas cargas se determina la velocidad del flujo.

Los pasos descritos anteriormente son efectuados en una probeta, los mismos deben repetirse para 4 especímenes más.

» **Trazado de curvas y determinación de parámetros índices:**

Los resultados encontrados se grafican de manera de obtener los valores de **índice de pérdida de carga** e **índice de velocidad**. El siguiente es un gráfico representativo con la curva modelo, el mismo no corresponde a un ensayo real.



Índice de pérdida de carga: Pérdida de carga correspondiente a una velocidad de 20 mm/s a través de la muestra, redondeada al milímetro.

Índice de velocidad: Velocidad correspondiente a una pérdida de carga de 50 mm a través de la muestra, redondeada al mm/s.

Desarrollo de nuevo sistema de cierre hidráulico:

Uno de los grandes defectos identificados en los procesos del ensayo fue la inefectividad del cierre hidráulico en la junta o brida. El problema que se planteaba es que muchos de los productos permiten el flujo del agua en su plano, fenómeno conocido como permeabilidad planar, por lo que el cierre mediante o-rings no era efectivo. Necesitábamos entonces una junta que pueda deformarse de manera tal que apriete al producto en uno de los extremos y que del otro se materialice el contacto entre ambos elementos de cierre.

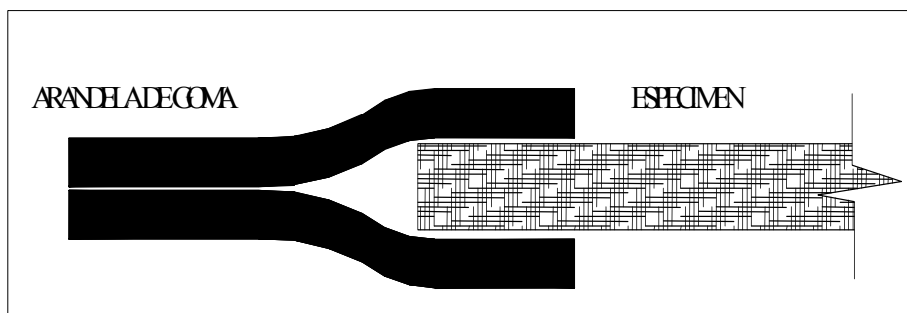


FIGURA 1

Con estos lineamientos se idealizó un cierre constituido por dos arandelas de goma con un canto tal que permita el apriete de la muestra, como se puede ver en la Figura 1.

Uno de los inconvenientes que se presentó posteriormente al colocar las arandelas, es que las mismas se deformaban ocasionando una disminución en el diámetro interno del Permeámetro lo que dificulta la realización del ensayo.

Por lo que a partir de este inconveniente se idearon varias soluciones a probar:

- Fabricación de un anillo que impida la deformación de las arandelas,
- Colocación de las arandelas pegadas con un material adhesivo.
- Reemplazo de las arandelas de goma por silicona.

Se optó por el uso de la silicona que tiene una mejor adherencia al material acrílico del permeámetro, cumpliendo satisfactoriamente con la función de la arandela de goma, la misma después de varias



experiencias en muestras de varios espesores no ha producido perdidas, por lo que esto era fundamental para obtener correctas lecturas de ensayo; por lo que se ha avanzado al respecto.

Mantenimiento de carga hidráulica constante:

Durante, los procesos de ensayo se advirtió que la regulación de los caudales de alimentación del permeámetro requería una llave con mayor precisión que la que podía brindar la llave esférica disponible hasta el momento. Por lo cual se decidió reemplazarla por una válvula esclusa la cual permitió una operatoria mucho más expeditiva en el desarrollo de las tareas.



Equipo modular:

Se construyó un equipo modular complementario que permite una plena organización, para llevar a cabo correctamente el ensayo de permeabilidad, obteniéndose mediante el mismo correctas cargas hidráulicas mediante la elevación del tanque reservorio de agua.

El equipo modular cuenta con las siguientes dimensiones:

Alto: 262 cm.

Ancho: 75 cm.

Profundidad: 43 cm.



Primeras experiencias:

Se efectuaron ensayos sobre probetas del un mismo material el cual sigue las siguientes características: Geotextil no tejido agujado producido con fibras de Poliéster, considerado un producto de baja permeabilidad de 150 gramos, también se ensayaron de 200 gr., 400gr., 600gr, y 700gr.

Los resultados de los distintos ensayos se pueden observar en las planillas adjuntas al final del informe.

Vale decir que en los ensayos se encontraron resultados similares y dentro del mismo orden de magnitud.

Consideraciones finales:

En los ensayos efectuados se pudo constatar una pequeña perdida en el permeámetro ubicada en la rama ascendente en la unión con la brida. La misma fue reparada mediante la implementación de un adhesivo sellador con base siliconada.

Se colocaron tornillos del diámetro equivalente al de los orificios de la base del permeámetro mejorando la metodología del centrado de las bridas y la muestra en el proceso de armado, previo al ensayo. Esto es de suma importancia para el mantenimiento de la sección constante del permeámetro para obtener resultados correctos.

Se observo que la muestra se deforma cuando se la somete al flujo por lo que se coloco una malla de 10mm detrás del espécimen para sostenerlo durante el ensayo, teniendo en cuenta la dirección del flujo.

Conclusiones:

Las primeras experiencias han servido para satisfacer muchos de los objetivos planteados al principio de este informe.

- La metodología de ensayo quedó afianzada y estudiada.
- El nuevo cierre hidráulico tiene un correcto funcionamiento para el ensayo de Geotextiles.

- Se materializó el mantenimiento de la carga hidráulica constante gracias a la implementación de una válvula esclusa y la construcción del modular.
- Se ha avanzado en la utilización del instrumental requerido, en donde se tienen avances día a día y experiencia a experiencia.

Sin embargo, vale la aclaración que estas experiencias han sido en un número menor en una clase de Geotextil y que solo son el comienzo de un largo camino para lograr la implementación correcta del ensayo.

Se plantean como posibles caminos a recorrer en el futuro, el ensayo de distintos tipos de materiales, ya sean Geotextiles (tejidos y no tejido), Geocompuestos, Geomantas, etc.

Bibliografía:

- ✓ Norma IRAM 78007 “Determinación de las características de permeabilidad al agua normal al plano, sin carga”.
- ✓ Esquema de Norma IRAM 78026 “Clasificación, funciones y usos”
- ✓ “Geosintéticos. Desde la fabricación a su aplicación en obra”. LEMaC Centro de investigaciones Viales – CIT INTI Centro de Investigación y Desarrollo Textil. Año 2003.