



## ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL ESCURRIMIENTO BAJO GEOTEXILES EXPUESTOS A CORRIENTES

Pablo Spalletti<sup>(1)</sup>, José Daniel Brea<sup>(1)</sup>, Pablo Porri<sup>(2)</sup> y Gerardo Fracassi<sup>(2)</sup>

(1) Laboratorio de Hidráulica - Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina

(2) Maccaferri S.A.

E-mail: pspallet@ina.gov.ar - dbrea@ina.gov.ar - pporri@maccaferri-arg.com.ar

### RESUMEN

Para el diseño de protecciones contra la acción de corrientes, debe conocerse o estimarse la velocidad del flujo debajo del filtro geotextil, que tiene suma importancia a la hora de analizar la estabilidad de la estructura frente al acarreo del material de asiento. Sin embargo, prácticamente no hay investigaciones donde se caractericen dichos escurrimientos. Para evaluar estos procesos Maccaferri S.A. solicitó al Laboratorio de Hidráulica del INA, una serie de estudios, en un canal de ensayo en escala de prototipo, cuya primera etapa, que es la que se describe en el presente trabajo, consistió en el estudio de mantas geotextiles no tejidas en polipropileno sometidos en forma directa a la acción de corrientes. En el modelo físico se estudió, para diferentes tirantes, caudales y materiales tejidos, el escurrimiento sobre mantas colocadas sobre un fondo de arena, y el flujo inducido por debajo de la cubierta permeable y por encima del suelo saturado de base. En cada experiencia se caracterizó el perfil completo del escurrimiento sobre la cubierta, determinando también las velocidades en cercanías del fondo, las velocidades del flujo desarrollado por debajo del geotextil y la relación entre las velocidades por arriba y debajo de la manta.

### ABSTRACT

For protections design against currents, must be known or estimated the flow rate below the geotextile filter, which is essential when analyzing the stability of the structure related to the material loose at the bottom. However, virtually there are no researches which characterize such runoff. To evaluate these processes Maccaferri SA asked to the Hydraulics Laboratory of the INA, a series of studies in a test channel at prototype scale. The first phase, which is described in this paper, studied nonwoven polypropylene geotextile blankets under directly to the action of currents. In the physical model were studied for different water levels, discharges and geotextiles the runoff on blankets laid over a sand bottom, and the induced flow beneath the permeable cover and above the saturated base soil. In each experiment were characterized the complete velocity profile above the cover, also determining the velocities near the bottom, the flow speeds below the geotextile and the relationship between the velocities above and below the blanket.

## **INTRODUCCIÓN**

Los escurrimientos sobre un colchón tipo Reno provocan un flujo interno dentro de la protección, que al escurrir entre las piedras tiene velocidades con componentes en las tres direcciones. Este escurrimiento desordenado puede atravesar el geotextil de base desarrollándose un flujo entre éste y el fondo del canal.

La instalación del geotextil tiene como objeto evitar que el suelo de base sea removido por el flujo que se desarrolla a través del colchón de alambre relleno con piedras, minimizando posibles erosiones. La permeabilidad de la manta permite la conformación de un flujo de agua residual por debajo de la misma que en primera instancia puede considerarse paralelo al fondo.

Para el diseño de protecciones contra la acción de corrientes, uno de los parámetros que se tiene en cuenta en el cálculo es justamente la velocidad del flujo residual, que tiene suma importancia a la hora de analizar la estabilidad de la estructura frente al acarreo del material de asiento. Sin embargo prácticamente no hay investigaciones donde se caractericen estos escurrimientos, por lo que a los parámetros utilizados en los cálculos se les suelen asignar valores de referencia, sin un adecuado sustento.

Para evaluar el escurrimiento bajo mantas geotextiles no tejidas en polipropileno que funcionan como filtro de colchones tipo Reno, Maccaferri S.A. ha solicitado y encarado en el Laboratorio de Hidráulica del Instituto Nacional del Agua (INA), una serie de estudios, en un canal de ensayo en escala de prototipo. La primer etapa de las investigaciones (Spalletti, 2010), que es la que se describe en el presente trabajo, consistió en el estudio de geotextiles sometidos en forma directa a la acción de corrientes, sin la presencia del colchón.

En el modelo físico se estudió, para diferentes escenarios en relación a los parámetros hidráulicos (tirantes y caudales) y a las características de los materiales tejidos, el escurrimiento sobre geotextiles colocados en un canal de ensayo sobre un fondo de arena, y el flujo inducido por debajo de la manta permeable y por encima del suelo saturado que conforma la base. En cada experiencia se caracterizó el perfil completo del escurrimiento sobre la cubierta, determinando también las velocidades en cercanías del fondo, las velocidades del flujo desarrollado por debajo del geotextil y la relación entre las velocidades por arriba y debajo de la manta.

Para registrar las velocidades bajo el geotextil, se desarrollaron dispositivos basados en el registro del pasaje de una solución salina, mientras que el resto de las mediciones de velocidad se realizaron con ADV (Velocímetro Acústico Doppler).

## **DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS**

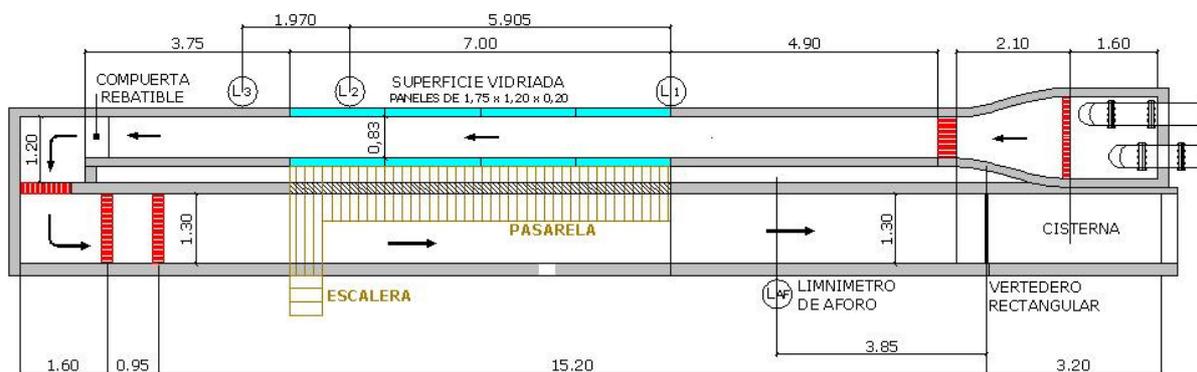
Las experiencias se llevaron a cabo en un canal de ensayo de 0,8 metros de ancho y 1,20 metros de alto, que presenta un tramo central vidriado de ambos costados de 7 metros de largo (Figura 1).

La alimentación del canal se hace en unos de sus extremos, donde se encuentra una cámara a la que llega el caudal bombeado. Se dispone también de una estructura de aquietamiento que uniformiza el flujo a la salida de la citada cámara. Pueden utilizarse hasta 5 bombas en simultáneo disponiendo en total de un caudal aproximado de 0,7 m<sup>3</sup>/s. Aguas abajo, el dispositivo experimental tiene una compuerta metálica accionada por un motor eléctrico. En el tramo de recirculación hay un tramo de baja velocidad en el que se encuentra un vertedero de aforo.



**Figura 1.-** Vista general del canal de ensayo

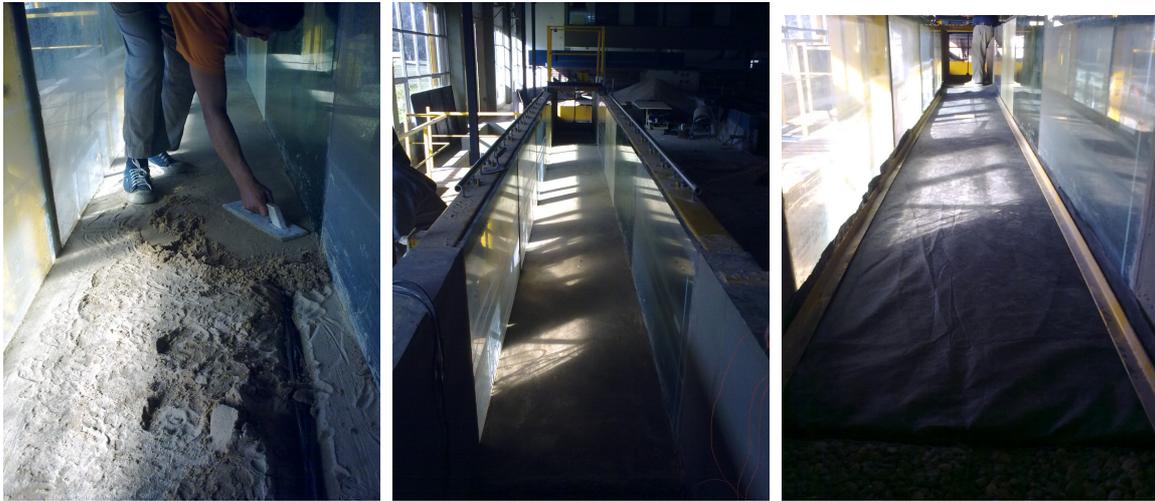
El esquema del canal de ensayo se presenta en la Figura 2, donde se puede apreciar el circuito hidráulico.



**Figura 2.-** Esquema del circuito hidráulico

Se efectuaron 24 ensayos en escala 1:1, es decir en condiciones de prototipo, con tres geotextiles no tejidos, agujados y producidos con hilos de polipropileno (MacTex®N N26.1,

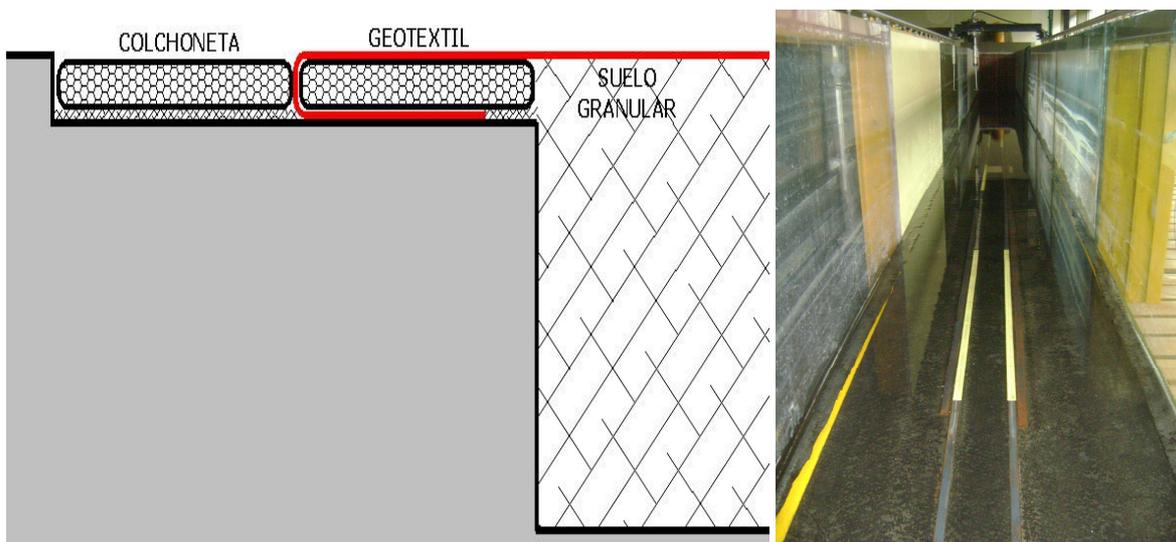
N50.1 y N70.1), para diferentes caudales y tirantes. Las mantas se apoyaron sobre una base de arena de 340  $\mu\text{m}$  y 30 centímetros de espesor, nivelada y enrasada, tal como puede apreciarse en la Figura 3.



**Figura 3.-** Nivelación de la arena de base y configuración final del canal, previa a las experiencias

La colocación del geotextil se realizó de manera tal que el escurrimiento por debajo del mismo, sólo fue inducido por el flujo y el paso de agua a través de la manta, no imponiéndose en el extremo de aguas arriba del modelo, un caudal de base bajo el geotextil.

La transición entre el tramo de canal de ensayo a fondo fijo y la manta sobre la arena, se materializó mediante un elemento de sujeción aguas arriba que hacía las veces de anclaje, constituido por un colchón de alambre y gravas, de acuerdo al esquema presentado en la Figura 4.



**Figura 4.-** Esquema de sujeción de la manta en sus extremos y anclajes longitudinales

Para evitar el flameo de la manta ante el pasaje de la corriente, de forma de afectar lo menos posible al flujo, los geotextiles se mantuvieron en posición durante el desarrollo de los ensayos, mediante dispositivos de anclaje colocados longitudinalmente al escurrimiento

(Figura 4), constituidos por varillas de acero simplemente apoyadas sobre las mantas, cuya separación en la mayor parte de las experiencias se adoptó igual a 30 centímetros, aunque también se realizaron algunos ensayos con separación de 15 centímetros para evaluar la sensibilidad a este parámetro. También la manta se mantuvo fija en correspondencia con los laterales del canal.

Dado que no es posible determinar la velocidad del flujo bajo la manta por medio de medidores de velocidad convencionales, y debido a las bajas velocidades a medir y el reducido espacio para ubicar el sensor de velocidad, se planteó la implementación de un medidor de fabricación doméstica, desarrollado en el Laboratorio de Hidráulica (Izquierdo et al., 2010), con un principio de funcionamiento de uso ampliamente probado. El mismo consiste en seguir la evolución de una porción del flujo con algún contaminante, del que se pueda detectar su presencia en el tiempo y el espacio. En este caso particular, el medidor de velocidad cuyo esquema se indica en la Figura 5, consta de una placa de material aislante al que se le fija un dosificador de solución salina y juegos de electrodos distanciados una longitud tal que permita caracterizar el escurrimiento. Todo el conjunto se enrasa con el material del fondo, en este caso arena, en la forma indicada en el gráfico esquemático.

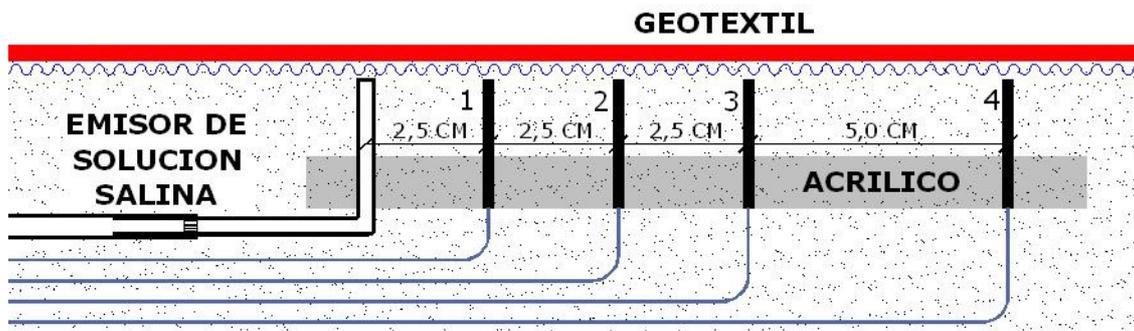


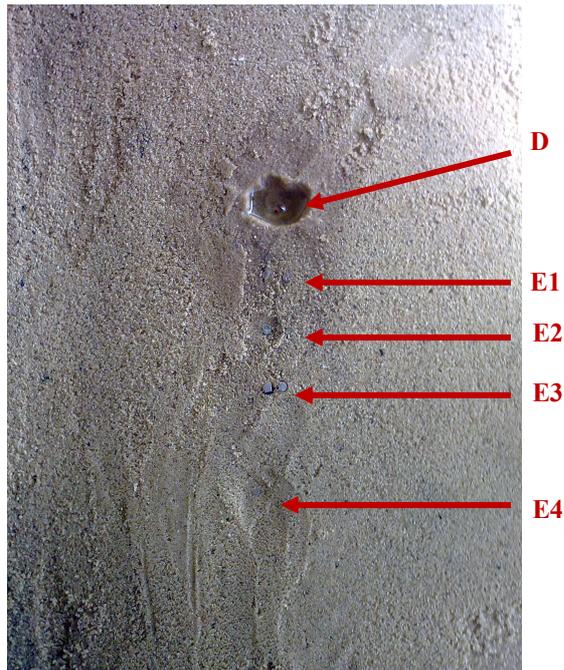
Figura 5.- Esquema del equipo de medición de velocidades bajo la manta

Al inyectarse una solución de agua salada por el dosificador, la misma es transportada por el flujo. El paso de la dilución es detectado por los electrodos, los que están constituidos por dos barras de material conductor separadas aproximadamente 5 milímetros entre sí y en contacto en su parte superior con el agua del modelo. Estos electrodos forman parte de un circuito electrónico que mide la conductividad del líquido entre los mismos.

El agua utilizada en el modelo es de origen freático y de calidad industrial, por lo tanto posee una conductividad relativamente baja comparada con la solución salina, la que es inyectada manualmente y de forma pulsante. Al pasar la dilución de sal en agua sobre los sensores, el circuito electrónico revela su presencia por la detección del cambio de conductividad del líquido entre los electrodos.

De esta manera, la velocidad del flujo bajo la manta es determinado por el tiempo que la mancha de solución salina tarda en recorrer el espacio que media entre los juegos de electrodos.

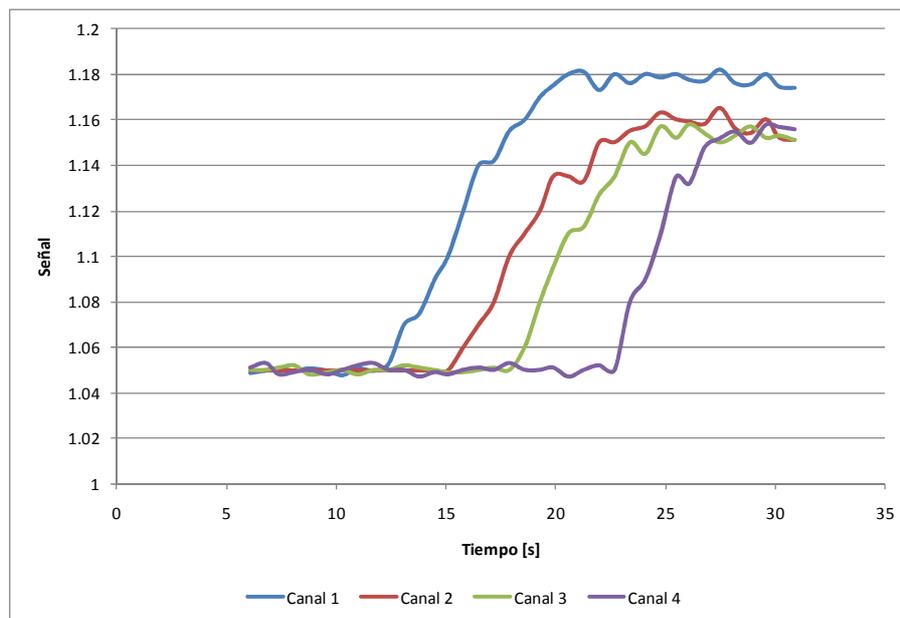
En la Figura 6 se muestran fotos del dispositivo de medición conformado por el dosificador y 4 pares de electrodos, con una distancia de 2,5 centímetros entre los tres módulos de aguas arriba y de 5 centímetros entre el tercer y el cuarto par de sensores.



**Figura 6.-** Detalle del equipo de medición bajo la manta. D: dosificador, E1, E2, E3 y E4: electrodos

En el modelo se implementaron tres medidores independientes entre sí, dispuestos en el eje del canal y localizados aproximadamente en las progresivas 2,00, 3,75 y 5,50 metros respecto del extremo de aguas arriba de la manta de geotextil.

El sistema electrónico de detección de cambio de conductividad, se conecta a una PC, que permite graficar en función del tiempo una señal proporcional a la conductividad (Figura 7). Medido el tiempo en que dicha señal supera un valor umbral predeterminado en cada par de electrodos y conocida la distancia que separa los mismos, se pudo determinar la velocidad promedio de desplazamiento de la solución salina bajo la manta.



**Figura 7.-** Ejemplo de registros de sensores de salinidad

## RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Para las distintas configuraciones del sistema y para diversas combinaciones de los parámetros hidráulicos, se caracterizó el flujo en distintas posiciones en la vertical. Para ello se relevaron los perfiles de velocidades mediante ADV sobre la manta. A modo de ejemplo en la Figura 8 se presenta el perfil de velocidades para el Ensayo 1.

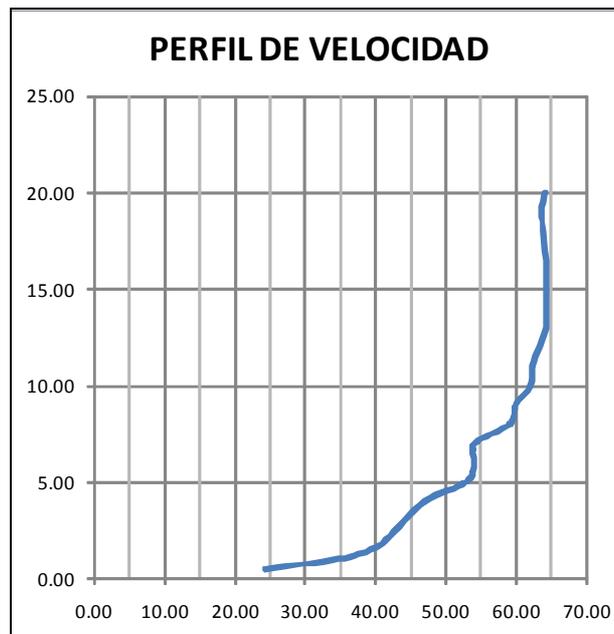


Figura 8.- Velocidades sobre la manta para Ensayo 1

Este dispositivo de medición presenta ciertas dificultades para determinar con precisión la velocidad en proximidades del fondo, ya que evalúa el comportamiento de un cierto volumen de control que puede estar afectado por la proximidad de los bordes sólidos. Por ese motivo, en correspondencia con el fondo, se emitieron pulsos de líquido con colorante que fueron registrados mediante filmación y luego desgrabados para caracterizar la velocidad media del escurrimiento sobre la cubierta.

De los análisis efectuados pudo apreciarse un alto grado de coincidencia entre los registros del ADV en los puntos cercanos al fondo y los resultados del procesamiento de las filmaciones, por lo que se consideró que las mediciones con el ADV eran adecuadas para caracterizar el escurrimiento en cercanías del geotextil.

En términos generales puede expresarse que las relaciones entre las velocidades en el fondo y las velocidades medias estuvieron en un rango entre 0,5 y 0,65.

La velocidad del escurrimiento bajo la manta geotextil en la zona de contacto con el suelo de base ( $V_{inf}$ ) en tres progresivas longitudinales, se caracterizó tomando para cada condición de funcionamiento al menos 3 registros del paso de la solución salina en cada sensor.

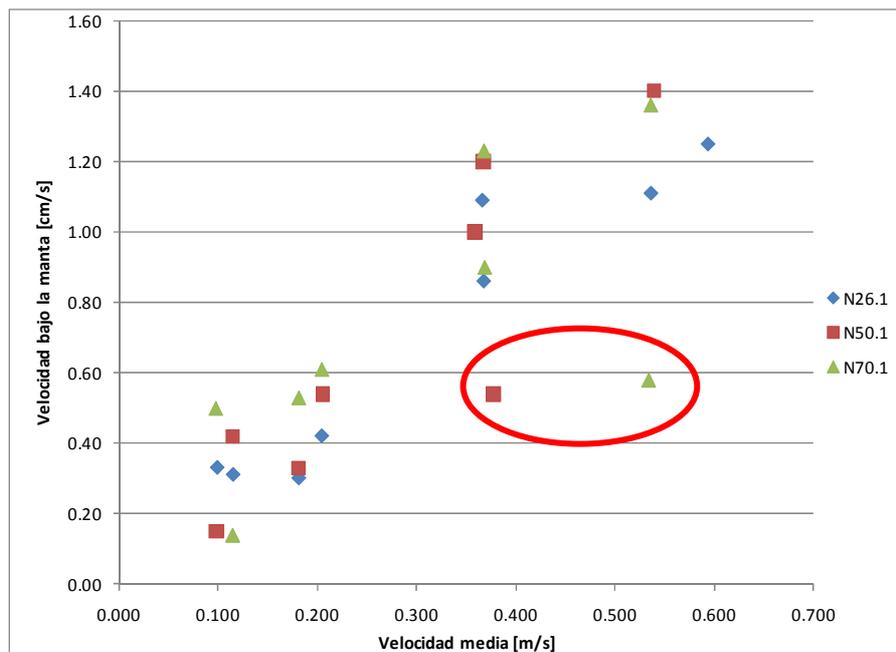
Las características físicas e hidráulicas de los ensayos realizados, así como los principales

resultados se resumen en la Tabla 1.

**Tabla 1.-** Resumen de las condiciones de ensayo

Ensayo	Geotextil	Sep.Varillas [cm]	$V_m$ [m/s]	H [m]	Caudal [m <sup>3</sup> /seg]	$V_{inf}$ [cm/s]
1	26.1	0.30	0.593	0.25	0.1230	<b>1.25</b>
2	26.1	0.30	0.535	0.30	0.1333	<b>1.11</b>
3	26.1	0.30	0.367	0.30	0.0914	<b>0.86</b>
4	26.1	0.30	0.181	0.30	0.0450	<b>0.30</b>
5	26.1	0.30	0.099	0.30	0.0246	<b>0.33</b>
6	26.1	0.30	0.366	0.50	0.1517	<b>1.09</b>
7	26.1	0.30	0.204	0.45	0.0762	<b>0.42</b>
8	26.1	0.30	0.115	0.40	0.0381	<b>0.31</b>
9	50.1	0.30	0.367	0.30	0.0914	<b>1.20</b>
10	50.1	0.30	0.180	0.30	0.0449	<b>0.33</b>
11	50.1	0.30	0.098	0.30	0.0244	<b>0.15</b>
12	50.1	0.30	0.539	0.30	0.1343	<b>1.40</b>
13	50.1	0.15	0.377	0.30	0.0939	<b>0.54</b>
14	50.1	0.30	0.358	0.50	0.1487	<b>1.00</b>
15	50.1	0.30	0.205	0.45	0.0768	<b>0.54</b>
16	50.1	0.30	0.115	0.40	0.0382	<b>0.42</b>
17	70.1	0.30	0.369	0.50	0.1530	<b>0.90</b>
18	70.1	0.30	0.205	0.45	0.0765	<b>0.61</b>
19	70.1	0.30	0.115	0.40	0.0382	<b>0.14</b>
20	70.1	0.30	0.536	0.30	0.1334	<b>1.36</b>
21	70.1	0.30	0.368	0.30	0.0916	<b>1.23</b>
22	70.1	0.30	0.182	0.30	0.0452	<b>0.53</b>
23	70.1	0.30	0.098	0.30	0.0244	<b>0.50</b>
24	70.1	0.15	0.534	0.30	0.1329	<b>0.58</b>

Graficando los valores de velocidad entre el suelo y la manta de geotextil en función de la velocidad media del escurrimiento para los 24 ensayos realizados, se tiene como resultado la Figura 9.



**Figura 9.-** Velocidades bajo la manta en función de la velocidad media del escurrimiento

En la Figura 9 se aprecia una marcada relación entre ambas velocidades, salvo para los puntos resaltados, que se corresponden a los ensayos en que la separación de las varillas de anclaje fue de 15 centímetros. No se observan diferencias en el comportamiento de los distintos tipos de mantas, por lo que puede suponerse que la permeabilidad de todos los geotextiles estudiados, si bien no permite que se escape material en ningún caso, es suficientemente alta como para que el flujo bajo la manta se establezca en todos los casos en forma similar.

También mediante el registro de tres limnímetros se midió la pendiente de la superficie libre. Considerando válida en el tramo intermedio del canal (donde puede suponerse que los filetes en el manto de arena son rectilíneos y paralelos) la Ley de Darcy para un medio permeable, que postula que la velocidad es el producto de la pendiente por el coeficiente de permeabilidad, se obtuvieron los valores de velocidad en el medio permeable de base, que fueron varios órdenes de magnitud inferiores a las registradas entre la manta y el suelo.

## CONCLUSIONES

De los resultados se tiene que la velocidad en cercanías de la manta es del orden de la mitad de la velocidad media del escurrimiento. Comparando estas velocidades con las correspondientes al flujo bajo la manta, surge que para separaciones de las varillas de sostenimiento de 30 cm, la relación de velocidades bajo y sobre la cubierta fue, en término medio, del 5,3%, y para 15 cm de distanciamiento de apoyos, dicha relación bajó al 2,5%. En todos los casos, las velocidades entre el geotextil y el suelo, fueron insuficientes para movilizar partículas de la base.

La corriente que se desarrolla por debajo de la manta se establece por el flujo de agua que atraviesa el geotextil, ya sea por las componentes verticales de la velocidad como por el pasaje de líquido que se produce cuando la manta no queda posicionada exactamente horizontal (situación que puede presentarse tanto por pequeñas discontinuidades de la base como por la tendencia de la cubierta a flotar o moverse por acción de la corriente), y no por la transmisión de tensiones de corte a través de la manta. Es por este motivo que no se observan grandes diferencias en el comportamiento de los 3 tipos de mantas estudiadas.

Los resultados de las experiencias, ponen de manifiesto la sensibilidad de los registros de velocidad bajo el geotextil frente a la separación de los anclajes de la manta, constituidos por varillas de acero. Cuando la separación fue menor, se limitó la posibilidad de la cubierta de flotar y/o moverse por acción de la corriente, y con ello se redujeron en forma sensible, los valores de velocidad del flujo inducido por debajo de la manta.

La velocidad en el medio permeable que constituye el suelo, es varios órdenes de magnitud inferior a la del flujo bajo el geotextil y no es significativa.

Para velocidades medias del escurrimiento superiores a 60 cm/s, y anclajes distanciados 30 cm, comenzó a observarse el flameo de la manta con un movimiento ondulante. Por ello, la máxima velocidad media analizada fue del orden de 0,6 m/s.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Izquierdo, J. M., Tatone G.** (2010): “Equipo Ultrasónico para Estudio de Erosión en Modelos Físicos”, *XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Punta del Este, Uruguay*, Noviembre 2010.

**Spalletti, P.** (2010). *Estudio en Modelo Físico del Esguerrimiento Bajo Geotextiles*. Informe LHA 313-01-2010. Julio de 2010, Argentina.



Instituto de Recursos Hídricos



Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías



Universidad Nacional de Santiago del Estero



Instituto Nacional del Agua



Subsecretaría de Recursos Hídricos



Agencia Nacional de Promoción Cient. y Tec.



Gobierno Prov. de Santiago del Estero



Ministerio de la Producción



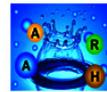
Secretaría del Agua



Secretaría de Desarrollo, Ciencia y Tecnología



Consejo Prof. de la Ingeniería y Arq.



Asociación Argentina de Recursos Hídricos



Asoc. Internacional de Investig. Hidroamb.



Comisión Regional del Río Bermejo



CORPORACION ARGENTINA TECNOLÓGICA s.a. INGENIERÍA CIVIL & HIDRAULICA

