

**XXV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
SAN JOSÉ, COSTA RICA, 9 AL 12 DE SEPTIEMBRE DE 2012**

**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.

**PALABRAS CLAVES:** geotextiles, protecciones, corrientes, ensayos laboratorio

## **INTRODUCCIÓN**

La acción de la corriente sobre geotextiles induce un flujo por debajo de la manta permeable y por encima del suelo de base, y la velocidad de este flujo residual es un parámetro que debe evaluarse en el diseño de protecciones para analizar la estabilidad de la estructura frente al acarreo del material de asiento.

Más allá de la relevancia de este parámetro, prácticamente no hay estudios ni información disponible en relación al mismo, y en los cálculos suelen asignarse valores de referencia.

Con el fin de mejorar el conocimiento sobre este tema, Maccaferri S.A. solicitó al Instituto Nacional del Agua (INA), a través del Laboratorio de Hidráulica, una serie de estudios experimentales en escala de prototipo sobre protecciones sometidas a la acción de corrientes, donde una primera etapa consistió en la evaluación del escurrimiento bajo mantas geotextiles no tejidas en polipropileno (Spalletti, 2010).

En el modelo físico se estudió, para diferentes escenarios en relación a los parámetros hidráulicos 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 las experiencias correspondientes a la primer etapa de los estudios, y que se describen en el presente trabajo, se caracterizó el perfil del escurrimiento sobre la manta, las velocidades del flujo desarrollado por debajo del geotextil y la relación entre las velocidades por arriba y debajo de la manta, además de describirse el comportamiento general del sistema.

Se presentan también los resultados de experiencias donde se evaluó el efecto de la colocación de elementos de sostén apoyados sobre la manta, con el objeto de controlar el flameo de la misma.

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**

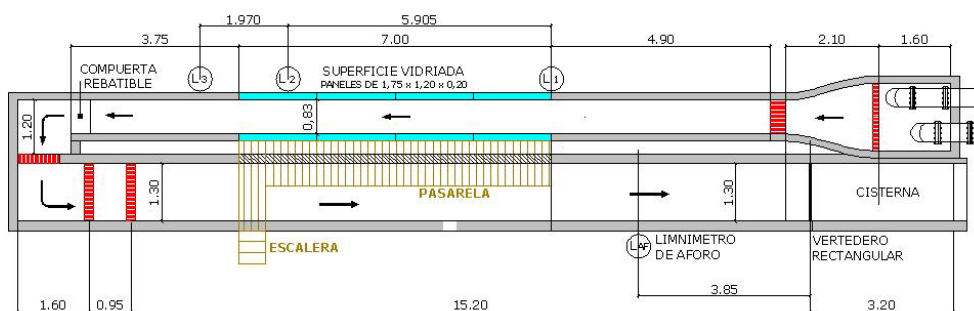
Las experiencias se desarrollaron en un canal de ensayo de 0,8 metros de ancho y 1,20 metros de alto y 15 metros de largo, con un tramo central vidriado de ambos lados de 7 metros de largo, localizado en la Nave 6 del Laboratorio de Hidráulica del INA (Figura 1).

El agua ingresa al canal mediante una cámara con su correspondiente estructura de quietamiento que uniformiza el flujo. Pueden utilizarse hasta ocho bombas en simultáneo disponiendo en total de un caudal aproximado de 0,85 m<sup>3</sup>/s.

Aguas abajo, el dispositivo experimental tiene una compuerta metálica rebatible accionada por un motor eléctrico, que permite regular los tirantes del escurrimiento. En el tramo de recirculación hay un tramo de baja velocidad en el que se encuentra un vertedero de aforo, tal como puede apreciarse en el esquema de la Figura 1.

También el canal cuenta con una serie de limnímetros que permiten determinar la pendiente superficial del escurrimiento.

Se efectuaron ensayos con tres geotextiles no tejidos, agujados y producidos con hilos de polipropileno (MacTex®N N26.1, N50.1 y N70.1) para diferentes condiciones de funcionamiento hidráulico, con velocidades entre 0,1 y 0,6 m/s y tirantes comprendidos en el rango de 25 a 50 centímetros.



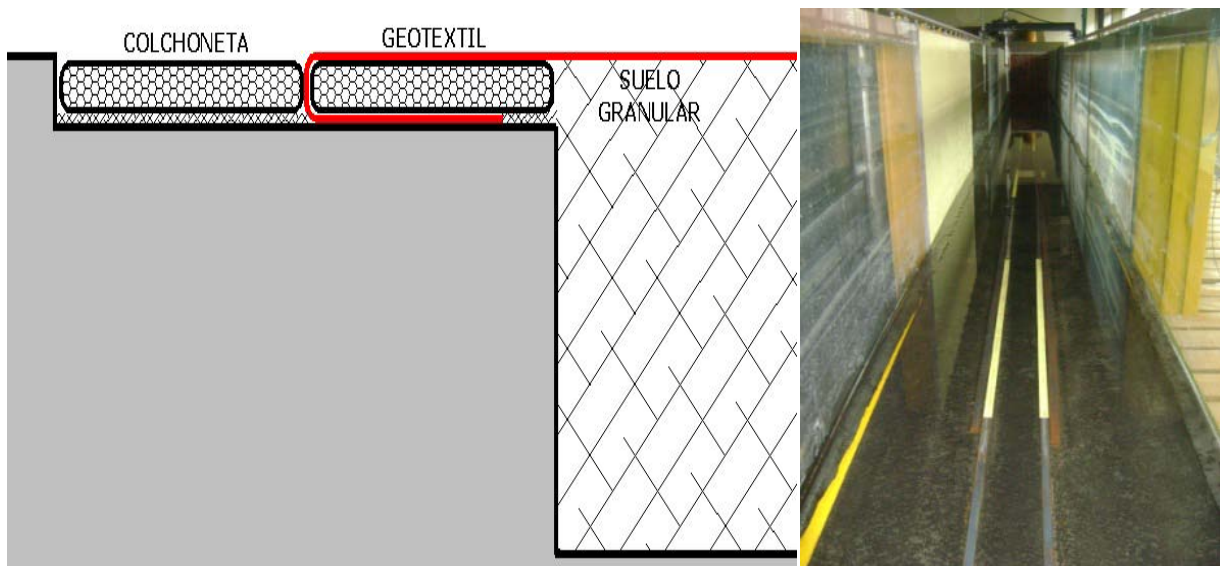
**Figura 1.-** Vista general del canal de ensayo y esquema del circuito hidráulico

En correspondencia con el tramo vidriado de canal de 7 metros de longitud, el geotextil se apoyó sobre una base de arena con un diámetro medio de ~~340~~ y 30 centímetros de espesor, nivelada y enrasada.

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.

Las transiciones entre los tramos de canal de ensayo a fondo fijo y la manta sobre la arena, tanto en el extremo de aguas arriba como en el de aguas abajo, se materializaron mediante elementos de sujeción cumpliendo la función de anclajes, constituidos por colchones de alambre y gravas, de acuerdo al esquema presentado en la Figura 2.

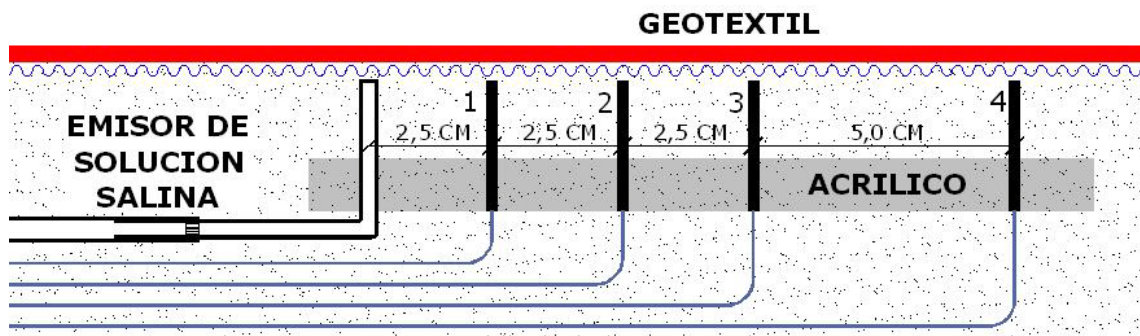
Para evitar el flameo de la manta, los geotextiles se mantuvieron en posición, mediante dispositivos de anclaje colocados longitudinalmente al escurrimiento (Figura 2) constituidos por varillas de acero simplemente apoyadas sobre las mantas, cuya separación en la mayor parte de las experiencias se adoptó igual a 30 centímetros, aunque también se realizaron ensayos con separaciones de 15 y 20 centímetros para evaluar la sensibilidad a este parámetro. También la manta se mantuvo fija en los laterales del canal.



**Figura 2.-** Esquema de sujeción de la manta

Dado que no es posible determinar la velocidad del flujo bajo la manta por medio de velocímetros 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 basado en el seguimiento de una porción del flujo con algún contaminante, del que se pueda detectar su presencia en el tiempo y el espacio, utilizándose en este caso una solución salina (Izquierdo y Tatone, 2010).

El medidor de velocidad cuyo esquema se indica en la Figura 3, 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.



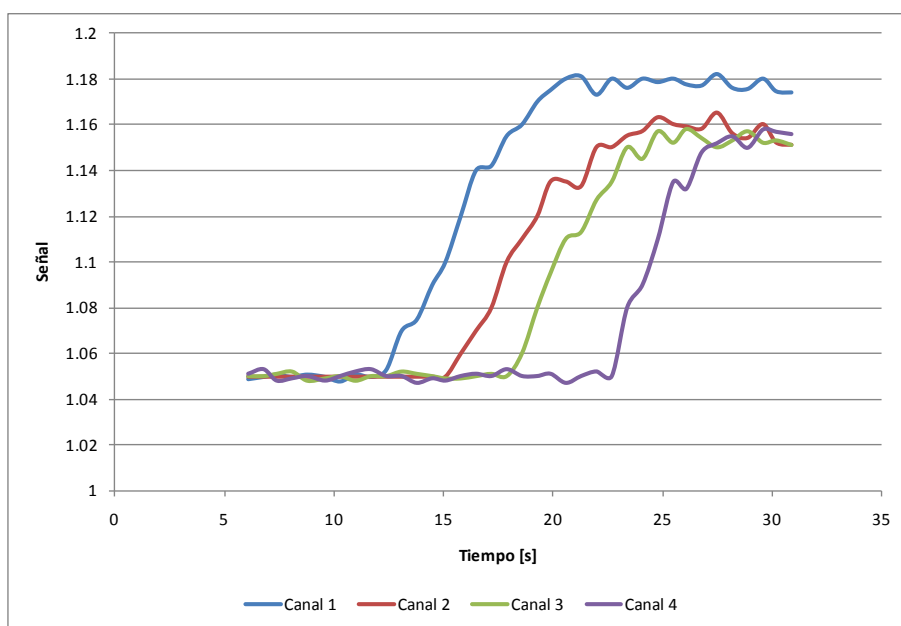
**Figura 3.-** Esquema del equipo de medición de velocidades bajo la manta

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.

El sistema se conecta a una PC, que permite graficar en función del tiempo una señal proporcional a la conductividad (Figura 4). 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 4.-** Ejemplo de registros de sensores de salinidad. Los canales representan los registros de cada par de electrodos

El funcionamiento de los sensores y el sistema electrónico de detección de cambio de conductividad para medir la velocidad promedio de desplazamiento de la solución salina bajo la manta, fue testado y verificado mediante la ejecución de un ensayo inicial en el que se realizaron ventanas de visualización en el geotextil y se agregó colorante a la solución salina, de forma tal de seguir en el tiempo el escurrimiento bajo la cubierta (Spalletti et al., 2011).

## RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Para las distintas configuraciones del sistema y para diversas combinaciones de los parámetros hidráulicos (tirante y caudal), se caracterizó el flujo en distintas posiciones en la vertical. Para ello se relevaron los perfiles de velocidades mediante ADV sobre la manta.

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 manta.

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.

También se caracterizó el escurrimiento bajo el geotextil en la zona de contacto con el suelo de base en tres progresivas longitudinales, tomando para cada condición de funcionamiento al menos 3 registros del paso de la solución salina en cada sensor, y se midió la pendiente de la superficie libre, a partir de la cual puede describirse el escurrimiento en el medio permeable conformado por el material de base.

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 [m3/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>
25	70.1	0.20	0.534	0.30	0.1329	<b>0.76</b>

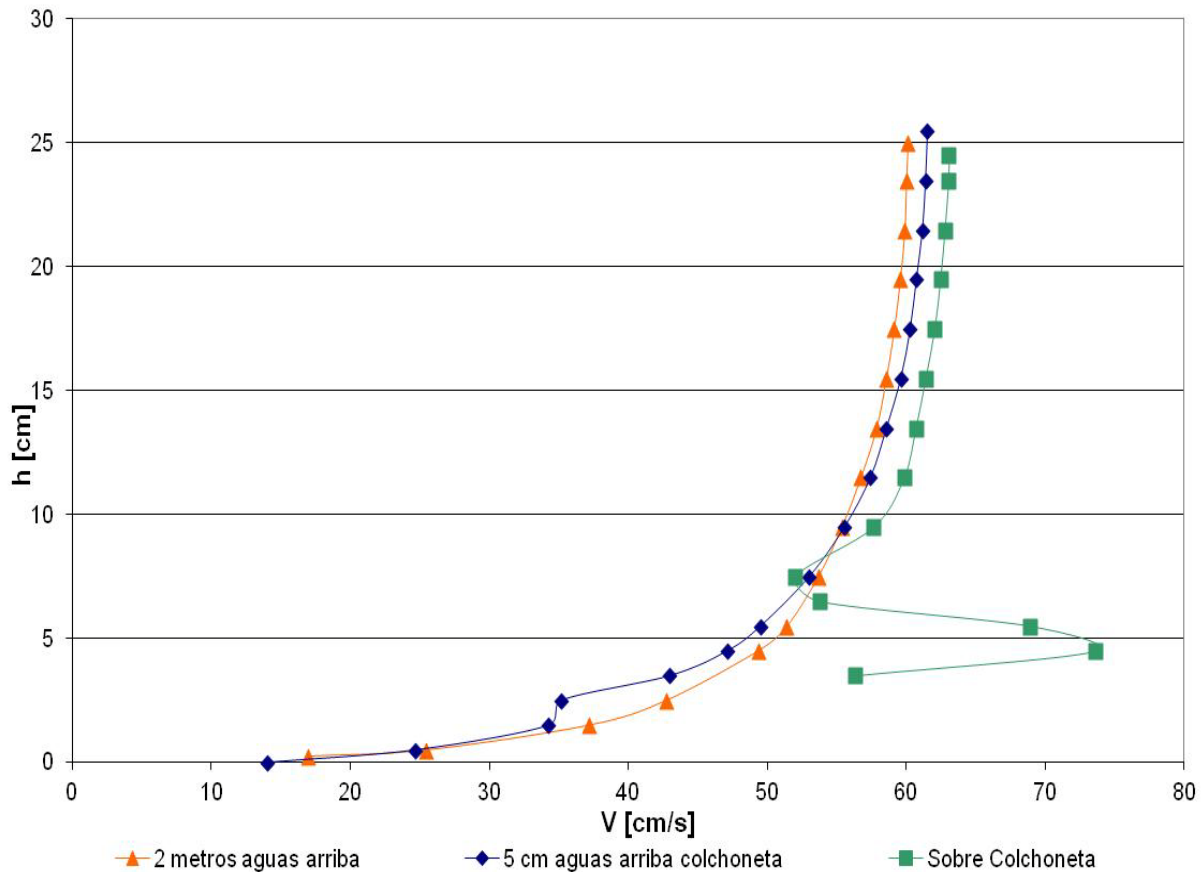
En el último ensayo (Ensayo 25), y a diferencia de las experiencias anteriores, en un tramo del centro del canal y en una longitud de 60 centímetros, se colocaron sobre el geotextil y en todo el ancho, colchonetas de alambre y grava con el objeto de crear una discontinuidad al flujo entre la manta y el suelo granular subyacente (Figura 5).



**Figura 5.-** Colchonetas de sostenimiento de la manta en el tramo central del canal

En esta experiencia las velocidades medias bajo la manta fueron de 0,76 cm/s en la zona no afectada de aguas arriba, y de 0,11 cm/s bajo la colchoneta de alambre y grava, es decir un valor 7 veces menor del que se tendría sin el colchón. En este ensayo se registraron también los perfiles de velocidades en tres verticales, una localizada 2 metros aguas arriba de la zona protegida, es decir en un sector no perturbado, otra, 5 cm aguas arriba del frente de las colchonetas, y la tercera sobre el colchón de alambre y grava a 10 cm de su frente.

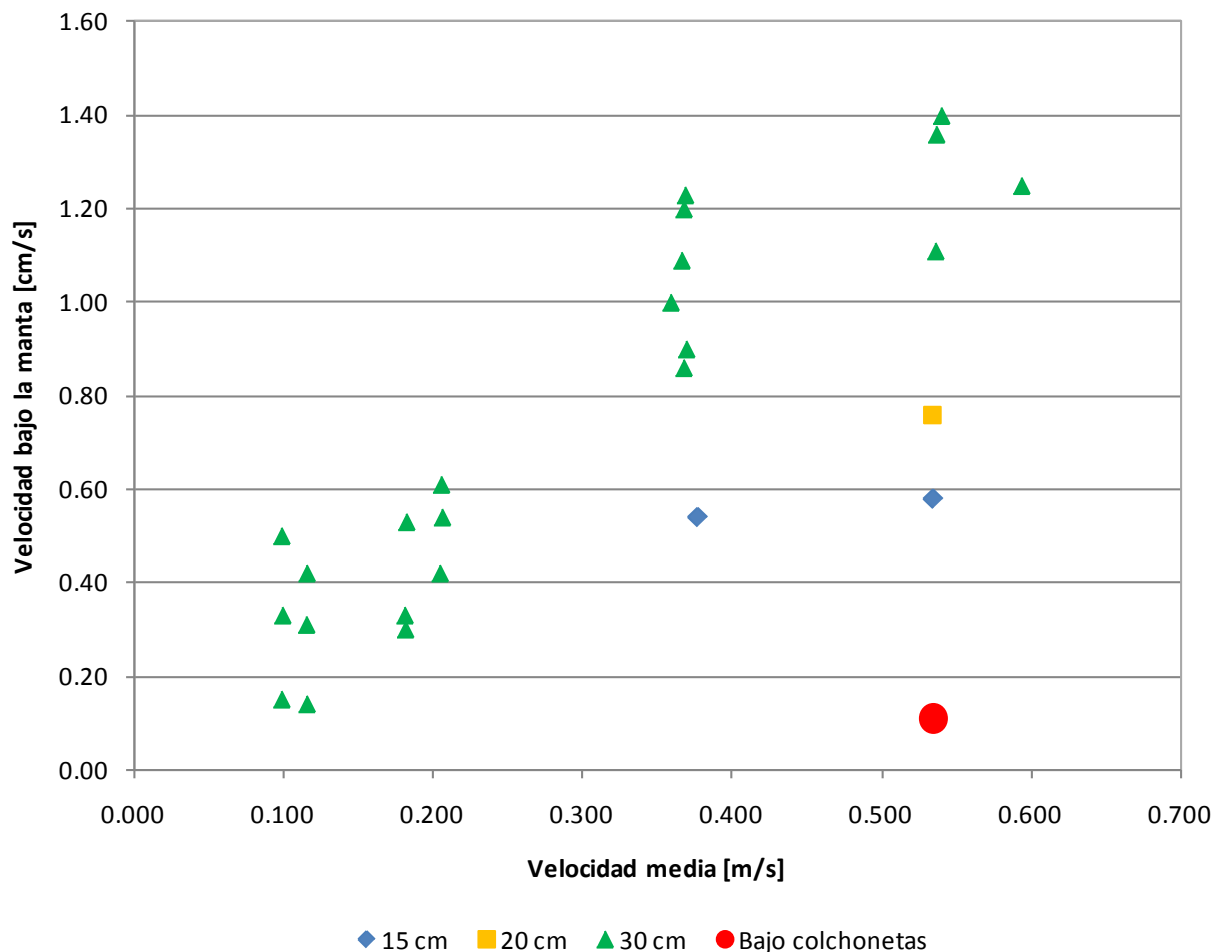
En la Figura 6 se presentan los perfiles en cada vertical, apreciándose el efecto del colchón que sobresale 3 cm del fondo.



**Figura 6.-** Velocidades sobre la manta en tres verticales

Graficando los valores de velocidad entre el suelo y la manta de geotextil en función de la velocidad media del escurrimiento para los ensayos realizados, agrupando los valores de acuerdo a la separación de las varillas longitudinales, se tiene como resultado la Figura 7, donde se aprecia una marcada relación entre ambas velocidades en función de la separación de las varillas de anclaje.

No se observaron diferencias en el comportamiento de los distintos tipos de mantas (Spalletti, 2010 y Spalletti et al., 2011).



**Figura 7.-** Velocidades bajo la manta en función de la velocidad media del escurrimiento

En la Figura 7 y la Tabla 1 se aprecia que para el Ensayo 25 con separación entre varillas de 20 cm, en la zona no perturbada la velocidad del flujo entre la manta de geotextil y el suelo granular alcanzó un valor intermedio al obtenido para separaciones de varillas de 15 y 30 centímetros (Ensayos 20 y 24 bajo iguales condiciones de tirante y velocidad media del escurrimiento).

Respecto de la velocidad entre la manta y el suelo en la zona donde se localiza la colchoneta de alambre y grava que impide que el geotextil se levante y se separe del fondo, los registros fueron muy bajos, con valores medios del orden de 0,11 cm/s (punto resaltado en la Figura 7).

En el Ensayo 25, las velocidades del escurrimiento entre geotextil y suelo, al igual que en resto de las experiencias sin colchonetas fueron insuficientes para movilizar partículas de la base. Lo dicho puede observarse mediante la comparación de la configuración del canal antes y después de la experiencia que se presenta en la Figura 8, donde puede apreciarse que el fondo no experimentó ningún tipo de socavación, conservando su horizontalidad.

Las velocidades en el medio permeable de base, fueron muy inferiores a las registradas entre manta y suelo.



**Figura 8.-** Comparación manta de geotextil antes y después del Ensayo 25

## 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 las velocidades inmediatamente sobre los geotextiles 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%, con un valor intermedio de 3,3% para la situación intermedia con separación de apoyos de 20 cm.

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 bajo 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 trasmisión 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.

Para separaciones menores de los anclajes, y sobre todo cuando se colocaron los colchones en el centro del canal, se limitó la posibilidad de la cubierta de flotar y moverse por acción de la corriente, y con ello el flujo inducido bajo la manta.

Para velocidades superiores a 60 cm/s y anclajes distanciados 30 cm, comenzó a observarse el flameo de la manta, limitándose la máxima velocidad media a ese valor.

## 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 Esgurrimiento Bajo Geotextiles*. Informe LHA 313-01-2010. Julio de 2010, Argentina.

**Spalletti, P.; Brea, J.D.; Porri, P.; Fracassi, G.** (2011). "Estudio Experimental del Esgurrimiento Bajo Geotextiles Expuestos a Corrientes", *V Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Santiago del Estero, Argentina*. Noviembre de 2011.