



## **Soluciones estructurales de bajo impacto ambiental utilizando gaviones para la disminución del riesgo de inundaciones en una cuenca urbana. Aplicación en la cuenca del Ramal H, Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina**

## **Low environmental impact developments using gabions for reducing flood risk in an urban basin. Application in the Ramal H basin, Tandil, Buenos Aires province, Argentina**

Giaconi, Luis Mario<sup>1</sup> ✉ - Giaconi, Mario Nicolás<sup>2</sup> - Coelho Dos Santos, Gabriela<sup>3</sup> - Tear, María Florencia<sup>4</sup>

Recibido: 03 de septiembre de 2018 • Aceptado: 30 de octubre de 2019

### **Resumen**

*Este trabajo reflexiona respecto a la conveniencia de la construcción de pequeñas presas semipermeables de gaviones sin embalses permanentes como complemento del sistema de regulación principal de las crecidas fluviales extraordinarias en las cuencas intraserranas en los alrededores de la ciudad de Tandil; utilizándose para ello materiales de construcción extraídos del macizo rocoso cristalino ígneo metamórfico que, por sus características geotécnicas optimizan las condiciones de estabilidad mineralógica y mecánica requeridas.*

*A los fines comparativos e ilustrativos, se tomó como ejemplo la cuenca hidrográfica que desemboca en el desagüe pluvial Ramal H, en Tandil, la cual posee 332,5 ha y una pendiente del 3,6 %. En la misma se ha realizado una única presa de regulación en hormigón de 19,8 metros de altura sin embalse permanente denominada Presa del Ramal H.*

*Ello permite una comparación efectiva de la complementariedad de ambas concepciones de obra civil. La realización de estas contenidas obras en las áreas cabecera de los valles afluentes provocará el retardo y aplastamiento del pico del hidrograma de crecida, lo cual posibilitará en el valle principal la construcción de obras de regulación tradicional (presas de hormigón, RCC, CFRD o de materiales sueltos, según sea el caso) de menor altura.*

*La adopción de este tipo de presas generaría marcados beneficios: a) relativo costo constructivo, b) atenuado impacto*

1. Cátedra de Geología Aplicada, FCNyM, UNLP

✉ lmgiaconi@gmail.com

2. Cátedra de Geotécnia. Facultad de Ingeniería, UNLP

3. Cátedra de Geología Aplicada, FCNyM, UNLP

4. Facultad de Ciencias Naturales, UNLP

ambiental y c) implicancia social: en su construcción y mantenimiento se requiere sólo de mano de obra local no especializada contándose con la disponibilidad de canteras de rocas cristalinas en las inmediaciones, poseyendo las mismas características geotécnicas adecuadas.

**Palabras Clave:** Tandil - cuencas intraserranas - crecidas - presas de gaviones - materiales - características geotécnicas.

## Abstract

This work reflect on the convenience of the construction of small semipermeable gabion dams without permanent reservoirs as a complement of the main regulation system of the extraordinary fluvial floods in the intraserran basins around the city of Tandil; using construction materials extracted from the metamorphic igneous crystalline rock mass that, due to their characteristics, optimize the conditions of mineralogical and mechanical stability required.

For the comparative and illustrative purposes, the hydrographic basin that flows into the Ramal H storm drain, in Tandil, which has 332.5 ha and a slope of 3.6%, was taken as an example. In it, a single regulation dam was made in concrete, 19.8 meters high without a permanent reservoir called Presa del Ramal H.

This allows an effective comparison of the complementarity of both conceptions of civil works. The completion of these contained works in the headwaters of the tributary valleys will cause the delay and crushing of the peak of the flood hydrograph, which will make possible in the main valley the construction of traditional regulation works (concrete dams, RCC, CFRD or loose materials, as the case may be) of lower height.

The adoption of this type of dam would generate marked benefits: a) relative constructive cost b) attenuated environmental impact and c) social implications: in its construction and maintenance only local non-specialized labor is required, with the availability of crystalline rock quarries in the vicinity, possessing the same geotechnical characteristics suitable.

**Keywords:** Tandil - intraserran basins - floods - gabion dams - materials - geotechnical characteristics.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es consecuencia de la reinterpretación y ajustes del modelo hidráulico de un esquema oportunamente descrito (Giaconi et al, 2014) a lo que debe agregarse el estudio realizado sobre las rocas aquí propuestas como materiales de construcción.

En el año 2010 se ha finalizado la construcción de la denominada Presa del Ramal H en Tandil, Prov. de Buenos Aires, ciudad cuya ubicación geográfica se observa en la Figura 1. La presa de gravedad de hormigón se encuentra ubicada en el área sudeste de la mencionada ciudad, más precisamente en el sector comprendido entre las calles Larrea, Santos Vega, Tacuarí y López Osornio. Fue proyectada para laminar las recurrentes crecidas extraordinarias temporarias de una pequeña cuenca colectora de 332,5 ha, ubicada al pie de las sierras más altas del cordón de Tandilia, cuyas características particulares de alta impermeabilización del sustrato rocoso, creciente urbanización y pendientes elevadas del 3,6 % provocaba la concentración de los derrames precisamente en la entrada del conducto pluvial denominado ramal H.

Cuando el escurrimiento superficial de las precipitaciones sobre la mencionada cuenca, adquiriría una magnitud tal que el caudal de la lámina escurrida superaba la capacidad de conducción del pluvial denominado ramal H, se producía el derrame de dichos "excesos" pluviales inundando con frecuencia los barrios y zonas adyacentes ubicadas precisamente aguas abajo de la actual Presa del Ramal H. La Figura 2 ilustra sobre el sentido del escurrimiento fluvial de la cuenca, la ubicación de la presa y del ducto pluvial del ramal H en donde puede observarse, además, el alto grado de urbanización que la cuenca hidrográfica



Figura 1. Ubicación de la Ciudad de Tandil, Provincia de Buenos Aires.



**Figura 2.** Vista general en planta de la cuenca y ubicación de la presa "urbana" Ramal H. Las flechas indican el sentido general del escurrimiento fluvial. La punta de la flecha superior izquierda señala además la entrada al ducto pluvial ramal H.

al momento posee por lo que la presa del ramal H podría ser considerada una presa urbana. La misma es una presa tradicional (Figura 3) que funciona por gravedad y sin embalse permanente. Posee 160 metros de longitud y una altura final sobre su nivel de fundación de 19,80 metros (Giacconi, et al. 2009 -*Flores y Giacconi. 2010 -Giacconi et al. 2012-2 y Giacconi et al. 2012-3*) y fue construida en hormigón de diferentes especificaciones según los requerimientos de la ingeniería.

Respecto al ducto ramal H (Figura 4), su caudal de diseño es de 4 m<sup>3</sup>/s, lo cual resultó insuficiente para conducir las crecidas que en dicha vía fluvial se producían recurrentemente, por lo general en períodos de cinco años aunque se han verificado últimamente recurrencias menores no periódicas.

Coadyuva en este sentido el continuo crecimiento de la urbanización de la pequeña cuenca lo cual aumenta el grado de impermeabilización de la misma provocando el incremento de la relación altura-caudal debido a los menores tiempos de escurrimiento para un mismo caudal dado. La presa, finalmente, regula el flujo de tal manera de ir permitiendo el desagote de los excesos de manera controlada a los fines de optimizar el funcionamiento del conducto pluvial evitando la inundación.

La presa del ramal H es un claro ejemplo de presa urbana siendo que además, en la misma ciudad de Tandil, en la cuenca del A° Blanco sita al OSO de la cuenca que nos atañe, actualmente



**Figura 3.** Presa del Ramal H (Tandil) - Imagen aguas abajo tomada desde adyacencias al estribo de margen derecha. Sobre el estribo de margen izquierda pueden observarse las viviendas cercanas a la presa producto del desarrollo de la urbanización.



Figura 4. Vista de la entrada del ducto Ramal H.

no regulada pero realizados ya los estudios geológico-geotécnicos a nivel de prefactibilidad de la futura presa (Giaconi, et al. 2012-1 -Giaconi et al. 2014), el anteproyecto de ingeniería indicaría una presa de más de 350 metros de largo y una altura tal que obligaría a la posible construcción de una presa lateral a los fines de no inundar durante el desarrollo de la laminación de las crecidas las viviendas de los moradores y las cabañas de los numerosos emprendimientos turísticos sitios en el sector del embalse temporario.

A los fines de afirmar el criterio que nos inspira, es necesario comentar lo que también ocurre aguas arriba de la ciudad de Azul sobre el arroyo homónimo y el arroyo Videla. Es el caso de las presas La Isidora (sobre el A° Azul) y la presa Manantiales (sobre el A° Videla), cuyos estudios geológicos y geotécnicos fueron realizados anteriormente (Giaconi. 1993), pero en este caso los embalses temporarios se desarrollarían sobre un área de actividad agropecuaria.

#### OBJETIVO

Un objetivo del presente trabajo es proponer, desde el análisis hidráulico, la incorporación en los valles de las sierras de Tandilia pequeñas presas semipermeables de gaviones que actúen como complementarios disipadores permeables (Serra. 1980; Sainz Trápaga y Serra. 1983; Giaconi et al, 2016) del sistema de regulación principal de las crecidas extraordinarias lo cual permite proyectar y construir la presa principal de una menor altura redundando en beneficios tangibles dado el grado de urbanización alcanzado y/o desarrollo agropecuario en el área de implantación de las mismas, cuestiones éstas absolutamente necesarias de preservar.

Así, desde las nacientes o cabeceras de los pequeños valles afluentes al valle principal, se irán disponiendo las presas semipermeables en "cascada" (Giaconi et al. 2008) en intervalos que

se dimensionan en función de las condiciones hidráulicas de cada cierre y de la imprescindible condición de estabilidad de los gaviones por lo que la velocidad del flujo encauzado debe ser menor de 3,5 m/s a los fines de evitar efectos erosivos sobre los mismos.

Planteado lo antecedente, otra de las finalidades es la inserción de un aspecto de suma relevancia a los fines del desarrollo de la presente propuesta cual es la cercana existencia de actuales canteras de materiales graníticos del basamento que podrán ser utilizados como materiales de construcción en el llenado de los gaviones.

Los aspectos sociales inherentes en este caso no sólo se circunscriben al resguardo de las vidas y los bienes de las personas involucradas por la ocurrencia de las inundaciones, sino que también involucra a la generación de mano de obra local no calificada en la construcción y mantenimiento de los gaviones, cuestión no menor desde el análisis de la necesaria creación de nuevos empleos.

Finalmente, el desarrollo de la presente propuesta involucra muy firmemente los aspectos del ambiente, siendo que los impactos a generarse son de magnitud no significativa comparados con el impacto puntual de la existencia de una sola presa de regulación.

En síntesis, el objetivo del presente trabajo se encuentra centrado en:

- La evaluación del impacto de pequeñas presas de gaviones en la respuesta hidrológica de una cuenca urbana.
- La factibilidad del uso de material local para la construcción de dichas presas de gaviones.

#### ASPECTOS METODOLÓGICOS

Cuando se trata el problema de la ocurrencia o riesgo por inundaciones es conveniente definir espacio, frecuencia, la magnitud del fenómeno y los sectores o esferas socioeconómicas sujetas a afectaciones. Teniendo en cuenta que un mapa de riesgo por inundación puede tener varias facetas, es necesario disponer de una información razonablemente confiable, de manera que los resultados a obtener también puedan ser considerados seguros. En este caso, se obtienen teniendo en cuenta criterios de influencia integrada y la correlación de los principales factores físico-geográficos que provocan las inundaciones del terreno.

Para determinar y representar espacialmente el peligro que producen las inundaciones en la Cuenca del Ramal H, se han seleccionado varios indicadores físico-geográficos inherentes a esta cuenca, a partir de la superposición de mapas de litología, tipos de suelos, altura del terreno, pendiente y desarrollo urbanístico.

Una de las condicionantes principales para que una zona se inunde es la inexistencia en el sitio específico de suficiente gradiente como para que el agua escurra rápidamente, por lo que en dicho estancamiento de las aguas influye la topografía, siendo natural que los terrenos bajos se inunden más rápidamente que los altos. En el caso que abordamos, dicha ocurrencia se producía aguas abajo de la actual presa del ramal H, poseyendo el área de la cuenca sita aguas arriba de la mencionada presa, una pendiente del terreno de magnitud manifiestamente ponderable tal como ha sido mencionado anteriormente, cuestión ésta que se visualizará más adelante en la hipsometría relevada.

Teniendo estas condicionantes aceptadas se pasa a la siguiente en importancia: otro requisito para que ocurra la inundación en el territorio, es que ésta no se infiltre. Para ello la superficie sobre la que se acumule el agua debe ser impermeable, por lo tanto, es imprescindible ponderar las características de los suelos. Del análisis desarrollado en el presente ítem, éstos no poseen gran desarrollo tanto en el cómputo superficial como en los espesores detectados dadas las características mayormente rocosas de la cuenca.

Lo descripto anteriormente no constituyen todos los elementos que condicionan la formación de inundaciones, es necesario tener en cuenta también el perfil geológico inmediatamente subyacente a la superficie donde ocurre la inundación, por ello es necesario introducir otro indicador más: la litología. En este caso, ésta corresponde a las rocas cristalinas del Basamento Precámbrico (Giacconi et al. 2009) que no sólo constituyen el substrato, sino que afloran en superficie en alta proporcionalidad con una distribución prácticamente homogénea en toda la cuenca.

Después de analizados y definidos todos los elementos físico-geográficos que influyen en la amenaza, se escogió entonces la información contenida en los siguientes mapas:

1. Altura sobre el nivel del mar
2. Pendiente del terreno
3. Tipos de suelos
4. Litología
5. Desarrollo urbanístico

A lo antecedente debe agregarse el estudio de la cuenca en donde, entre otros elementos, se incorporan:

6. Precipitaciones de 2 años de recurrencia
7. Tiempo de concentración de las subcuencas
8. Método de transformación de precipitación-escorrentía (Hidrograma Unitario del U.S. Soil Conservation Service)
9. Perdidas (Número de curva del U.S. Soil Conservation Service)
10. Control sin regulación de las cuencas

A los fines específicos de la presente investigación y como corolario de la información mencionada y sintéticamente descripta, se dispuso de una serie de cierres hidráulicos sucesivos, tal como se ilustra en la Figura 10, a partir del relevamiento topográfico de detalle de cada uno de los cierres oportunamente ejecutado (Giacconi y Schang, 2014).

En los cierres, se proyectaron presas semipermeables de alturas no mayores a los 2 metros, lográndose desarrollos de hasta 90 metros de longitud y anchos de hasta 10 metros sin involucrar la necesaria existencia estructural e hidráulica de los reservorios o cuencos de disipación de la energía de la corriente con el objeto de mitigar la acción de la erosión retrocedente mediante flujos de salida de velocidades menores de 3,5 m/s.

Se propone disponer en la cuenca de aporte del Ramal H de 9 presas de gaviones semipermeables de las dimensiones descriptas dividiendo el área de aporte original en 10 subcuencas que varían su superficie entre 0,05 y 0,23 km<sup>2</sup>. A continuación, en las Figuras 5 y 6 se puede observar la modelación empleada utilizando el software Slide de RocScience Inc. para el cálculo de la relación entre el volumen de almacenamiento y el caudal erogado por las presas de gaviones.

Dicho software permite calcular, para los distintos niveles líquidos del volumen retenido por las presas, el caudal unitario escurrido por la sección transversal del gavión. Con dichos valores y los datos topográficos se procede a calcular el caudal total escurrido para todo el desarrollo longitudinal del gavión y el volumen de agua retenido por el mismo. Se presentan a continuación en la Figura 7 las curvas volumen-caudal para las distintas presas de gaviones.

Para la evaluación de los escenarios propuestos se utilizó como herramienta computacional el programa HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) del US Army Corps of Engineers.

Se ha elegido el método del Hidrograma Unitario del U.S. Soil Conservation Service como Método de Transformación y el Método del Número de Curva como método para evaluar la escorrentía sobre la cuenca (Chow, 1983 - Chow et al. 1988), siendo los dos métodos de aplicabilidad en ambos casos: sin y con la complementariedad de las presas semipermeables.

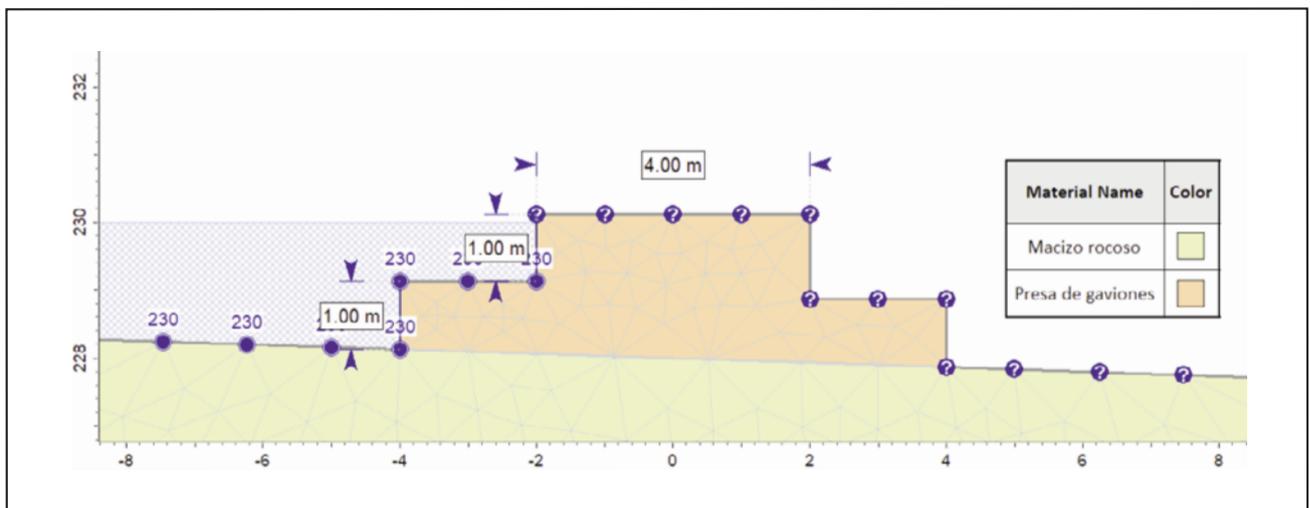


Figura 5. Modelo - presa de gaviones.

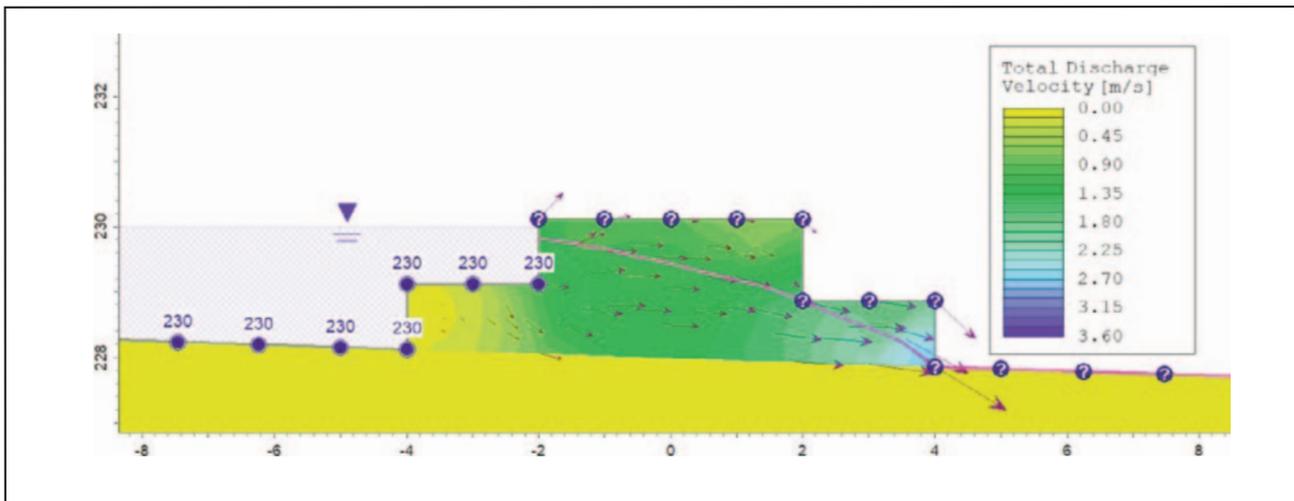


Figura 6. Resultado de la modelación - presa de gaviones.

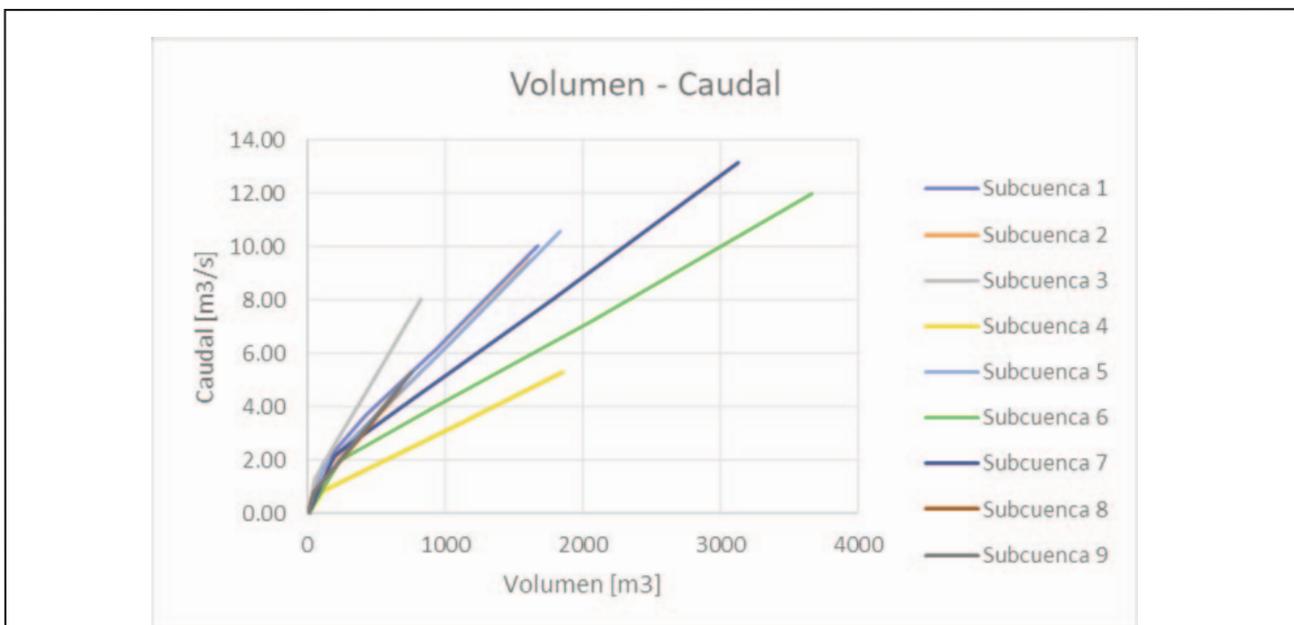


Figura 7. Curvas volumen [m³] -caudal [m³/s] (presas de gaviones).

El tiempo de concentración ( $t_c$ ) es el tiempo que tarda una gota de la precipitación, desde el punto hidráulicamente más distante, en alcanzar la sección de pasaje que define a la cuenca. Para el cálculo del tiempo de concentración se utilizó la fórmula de Kirpich (*SCS - 1940*), la cual estima el tiempo de concentración para pequeñas cuencas urbanas y con pendientes mayores al 1% mediante la fórmula:

donde:

$$t_c = \frac{0.02 * L^{0.77}}{S^{-0.385}}$$

$t_c$  (min): tiempo de concentración, en minutos  
 $L$  (m): longitud del cauce principal, en metros  
 $S$  (m/m): pendiente media del cauce principal ( $\Delta H/L$ ), en metros por metro

Para la lluvia de diseño se tomó una recurrencia de dos años y una duración de la tormenta de 8 horas, la distribución temporal del agua precipitada se presenta en la siguiente Figura 8.

Para el primer caso, la corrida de dicho modelo para una lluvia de recurrencia igual a 2 años se resume en las siguientes Tabla 1 y Figura 9.

La Figura 9 grafica el caudal vs tiempo que escurre como excedente superficial a través de la sección en donde se encuentra ubicada la presa del Ramal H. En abscisas se muestra el tiempo en horas y en ordenadas el caudal en  $m^3/s$ . En ella puede observarse el pico de la crecida ocurre a los 230 minutos del inicio de la lluvia de máxima precipitación para el periodo considerado y siendo su caudal de  $11,8 m^3/s$

Posteriormente se pasa a componer la cuenca total en diez subcuencas (9 con presas gavionadas y la última (10) la remanente, que corresponde a la misma presa del ramal H). La configuración del modelo se resume en la siguiente Figura 10.

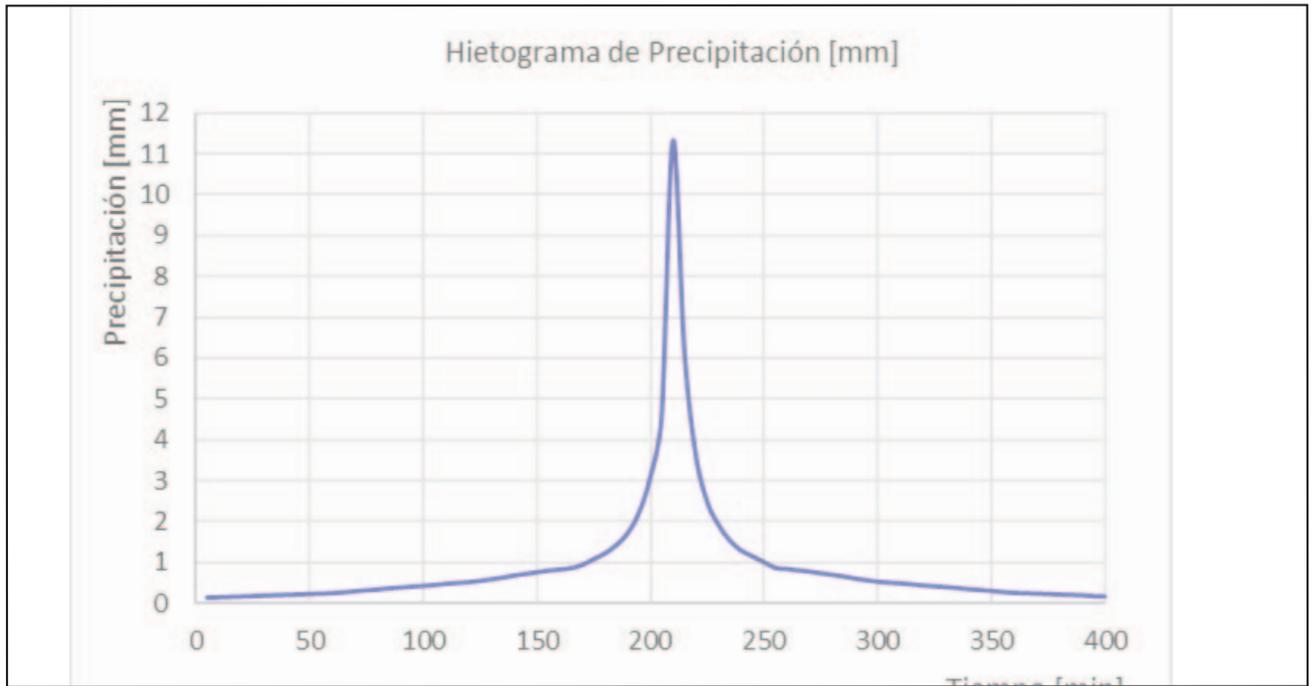


Figura 8. Hietograma de precipitación - Duración: 8 h - Recurrencia: 2 años.

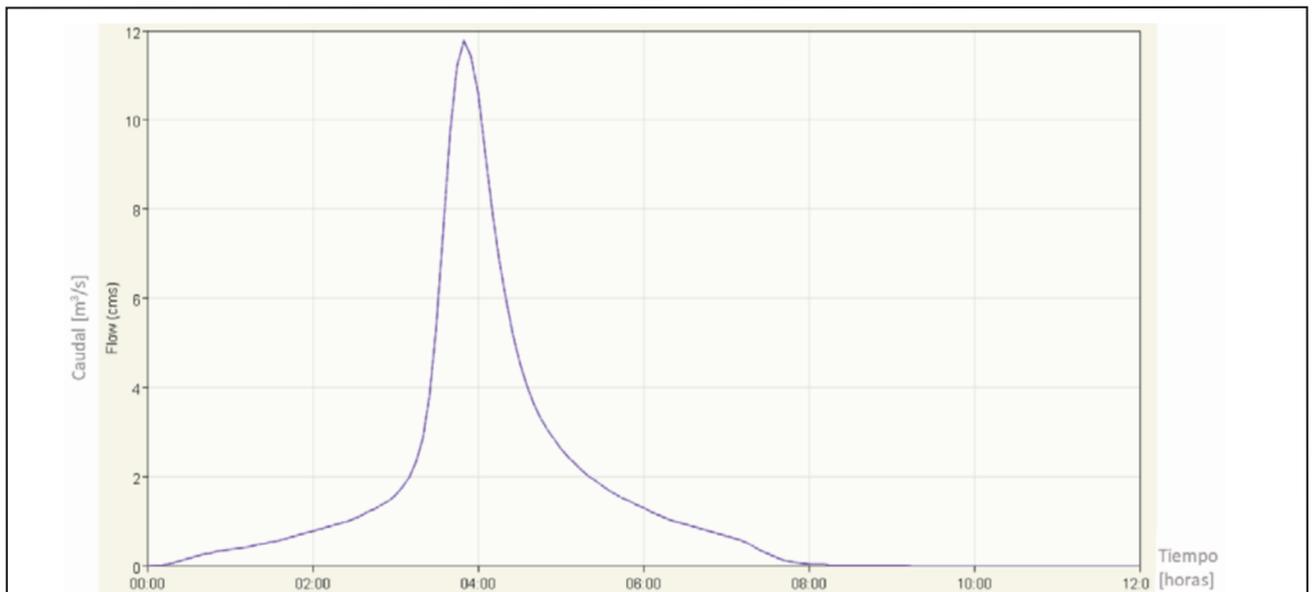


Figura 9. Cuenca del Ramal H. Diagrama caudal [m<sup>3</sup>/s] -Tiempo [horas] para el sistema sin presas de gaviones.

Tabla 1. Cuenca del Ramal H. Resultado del modelo sin cierres hidráulicos (presas de gaviones).

Sección: RAMAL H			
Inicio del modelo:	08Sep2019; 00:00	Modelo de cuenca:	SIN GAVIONES
Fin del modelo:	08Sep2019; 22:00	Modelo meteorológico:	Met 1
Fecha/Hora de la corrida:	08Sep2019; 20:08:22	Especificaciones de control:	Control 1
Resultados computados:			
Caudal pico:	11,80 m <sup>3</sup> /s	Fecha/Hora pico máximo:	08Sep2019; 03:50
Volumen:	53,05 mm		

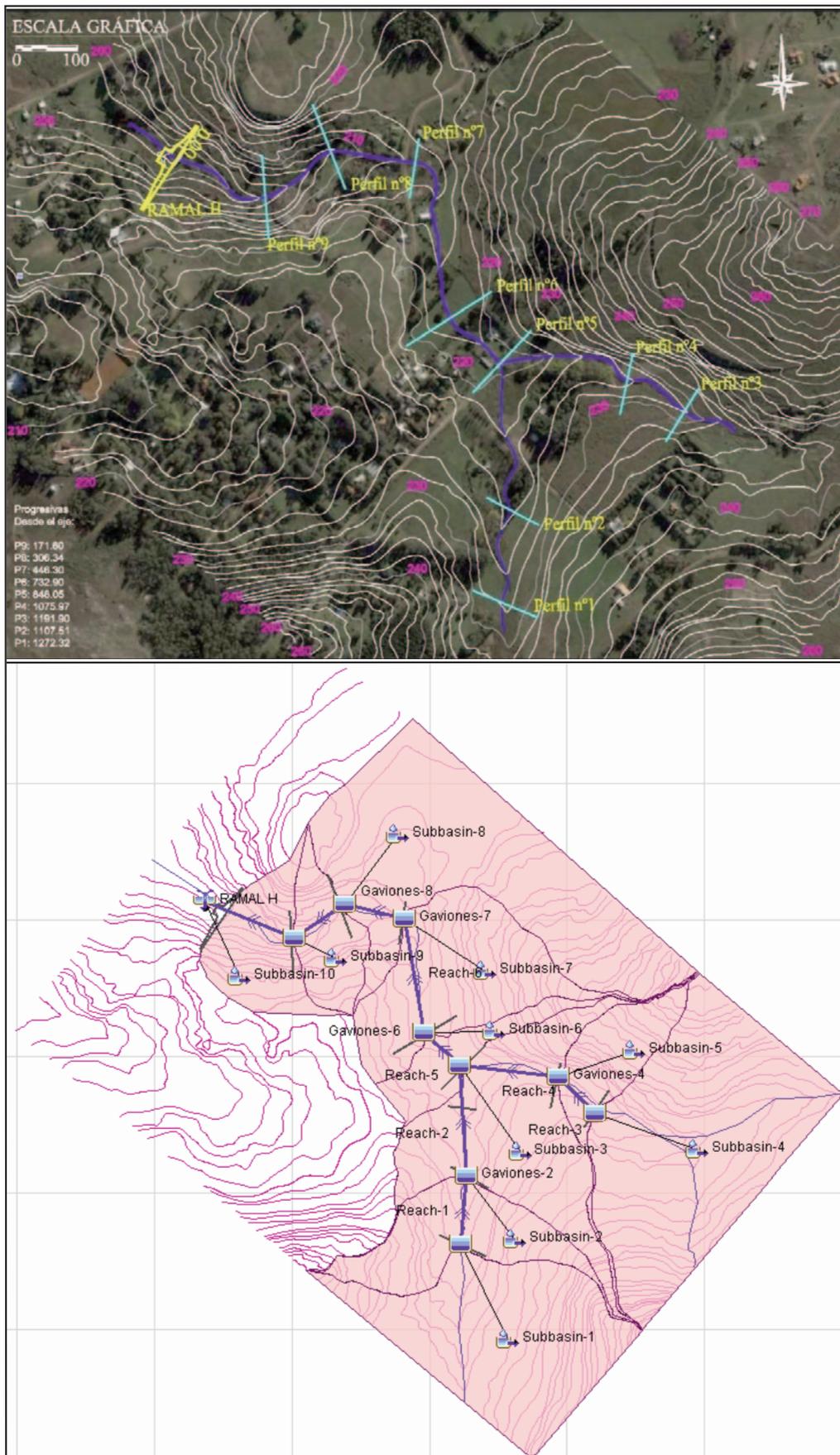


Figura 10. Cuenca del Ramal H. Escenario con complementarios cierres hidráulicos sucesivos mediante presas de gaviones

Cabe consignar que en la Figura 10, los cursos fluviales responden básicamente al rumbo de las estructuras del Tercer Dominio Tectónico: NW-SE (Teruggi, et al. 1980). El rumbo del eje de la presa del Ramal H es N40°E, siendo que la cota del terreno natural sobre el curso fluvial, en la progresiva 0,00, es 199,20 m. La equidistancia entre las curvas de nivel es de 2 m.

Las características geométricas y el tiempo de concentración (Tc) de las subcuencas delimitadas por las presas de gaviones se detallan en la Tabla 2 siguiente:

La salida de la modelación se resume en las siguientes Tabla 3 y Figura 11.

La Figura 11 grafica en línea llena el caudal vs tiempo que escurre como excedente superficial a través de la sección en donde se encuentra ubicada la presa del ramal H. En abscisas se muestra el tiempo en horas y en ordenadas el caudal en m<sup>3</sup>/s. La línea punteada representa el caudal que proviene de la subcuenca 9 inmediatamente aguas arriba de la sección en estudio y la línea inferior de puntos sucesivos al gasto proveniente de la lluvia de diseño que precipita sobre el área de la subcuenca 10, la que corresponde a la sección específica de la presa del ramal H.

Como puede observarse, la configuración de laminación de las crecidas de la cuenca con la integración complementaria de las nueve presas semipermeables de gaviones provoca una reducción del gasto en el pico de la crecida en la presa del ramal H de 11,8 m<sup>3</sup>/s de la situación original a 4,4 m<sup>3</sup>/s en el escenario modificado. Es decir, una reducción de alrededor de 63 %. También se observa que el pico de crecida ocurre a los 330 minutos iniciada la lluvia modelo, esto equivale a un retraso del pico en 50% dejando constancia que, para recurrencias mayores, se observaron achatamientos y tiempos de retardo similares.

La modelización desarrollada demuestra la efectividad del sistema de complementariedad propuesto por lo que la presa del ramal H, para el presente caso estudiado, sería igualmente funcional con una menor altura. Se advierte respecto a que la disminución de dicha altura no es lineal a la reducción del gasto del pico de crecida del 63 % ya que para ello son necesarios otros parámetros (p.ej. curva altura vs volumen de embalse, volumen de regulación, etc.) no considerados al momento por no ser el objetivo principal de la presente investigación. Sólo se ha tratado aquí de demostrar la eficacia teórica del sistema de complementariedad propuesto, tal como ha sido demostrado en el presente ítem.

**Tabla 2. Características geométricas y tiempo de concentración de las subcuencas.**

	Área [Km <sup>2</sup> ]	Long. L [m]	Desnivel ΔH [m]	Pendiente i [-]	Tc [min]
Subcuenca 1	0,160	500	22	0,044	8,0
Subcuenca 2	0,074	158	26	0,165	2,0
Subcuenca 3	0,137	461	36	0,078	6,0
Subcuenca 4	0,227	586	24	0,041	9,3
Subcuenca 5	0,048	335	32	0,096	4,3
Subcuenca 6	0,035	112	24	0,214	1,4
Subcuenca 7	0,115	280	37	0,132	3,3
Subcuenca 8	0,226	750	48	0,064	9,4
Subcuenca 9	0,041	132	24	0,182	1,7
Subcuenca 10	0,056	169	27	0,160	2,1

**Tabla 3. Cuenca del Ramal H. Resultado del modelo con presas de gaviones.**

Sección: RAMAL H			
Inicio del modelo:	08Sep2019; 00:00	Modelo de cuenca:	CON GAVIONES
Fin del modelo:	08Sep2019; 22:00	Modelo meteorológico:	Met 1
Fecha/Hora de la corrida:	08Sep2019; 20:25:19	Especificaciones de control:	Control 1
Resultados computados:			
Caudal pico:	4,40 m <sup>3</sup> /s	Fecha/Hora pico máximo:	08Sep2019; 05:30
Volumen:	53,05 mm		

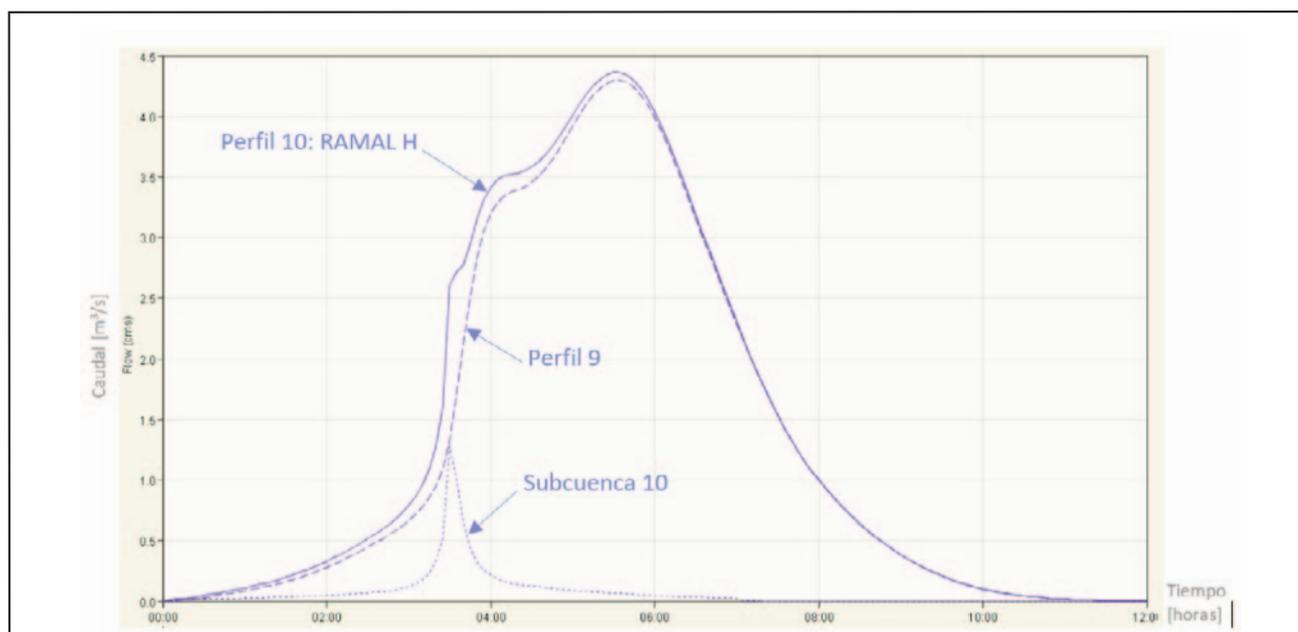


Figura 11. Cuenca del Ramal H. Diagrama caudal [m<sup>3</sup>/s] - Tiempo [horas] con el sistema de presas de gaviones incorporado.

Demostrada la viabilidad hidráulica del sistema de complementariedad propuesto, se desarrolla a continuación una descripción de los constituyentes estructurales de las presas semipermeables y las características intrínsecas y disponibilidad de los áridos constitutivos como relleno de dichas estructuras conformadas básicamente por gaviones.

#### ESTRUCTURA DE LAS PRESAS SEMIPERMEABLES - GAVIONES

La estructura de las presas semipermeables que se proponen se encuentra constituida por el entrelazado o combinación de gaviones. Estos pueden definirse como estructuras monolíticas producidas con malla de hilo de acero dulce galvanizado y cocido en doble torsión, amarrados en sus extremidades y vértices por hilos de diámetro mayor, rellenos con piedras (áridos), tornándolo permeable, flexible y de gran durabilidad y resistencia. Son muy utilizados en aplicaciones geotécnicas, hidráulicas y ambientales como lo que aquí se propone, en sustitución de los grandes bloques de piedra que son de difícil transporte y manejo. Los hay de diferentes tipos siendo los más importantes las denominadas colchonetas y cajas (*Officine Maccaferri S.P.A. 1981 y 1988*). Sus características principales son: a) Flexibilidad: pueden acompañar asentamientos o acomodamientos sin perder su eficiencia y función estructural. b) Monoliticidad: debido a la presencia de malla de acero, el peso propio y el carácter monolítico, las estructuras de gaviones son capaces de resistir esfuerzos de tracción y empujes generados por el terreno y cargas adyacentes. c) Durabilidad: el revestimiento zinc -aluminio asegura la durabilidad por muchos años y la protección adicional del alambre con material plástico garantiza la integridad de la estructura en ambientes agresivos o contaminados. d) Permeabilidad: los gaviones son permeables y drenantes permitiendo el flujo de aguas de escorrentía o de percolación, aliviando los empujes hidrostáticos y optimizando las secciones de dichas estructuras. e) Total integración al ambiente: se adaptan a cualquier ecosistema

ya que permiten el paso del agua y, al estar constituidos por materiales inertes, favorecen la recuperación rápida de la fauna y flora local. f) En su armado y construcción no requiere de mano de obra especializada por lo que ello puede realizarse sin mayores indicaciones específicas, lo cual constituye, como ya fue expresado una ventaja o beneficio desde el punto de vista social, toda vez que la construcción como así también el mantenimiento de los mismos puede realizarse con mano de obra local. g) Inmediatez de funcionamiento: inmediatamente después de haber sido montados, rellenos y cerrados, los gaviones están listos para desarrollar su función permitiendo la construcción de la obra en etapas y eventuales ampliaciones y/o modificaciones. h) Comparadas a otras técnicas constructivas, las estructuras en gaviones presentan costos directos e indirectos más bajos (*Giaconi y Sainz Trápaga. 1995*).

#### CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRIDOS PARA SU EMPLEO EN LOS GAVIONES

Los áridos a utilizarse proceden del laboreo mediante voladuras de las canteras de la región y han sido sometidos únicamente a procesos mecánicos de machaqueo por lo que presenta formas angulosas debido precisamente a la fracturación mecánica producida para su obtención.

Respecto a las características generales de los áridos es menester que las rocas que se colocarán en los gaviones sean resistentes, libre de grietas o fisuras, de textura uniforme, de baja absorción de agua debiendo presentar los bloques resultantes de la extracción en cantera una granulometría adecuada acorde a las condiciones de estabilidad del conjunto. Respecto a las características particulares se debe tener en cuenta:

Peso específico: debe ser igual o mayor de 26 kN/m<sup>3</sup>, los ensayos se realizan según Norma IRAM 10602. Mecánica de Rocas. Método de determinación de densidad.

Absorción: debe ser menor al 1,5%, los ensayos se realizan según Norma IRAM 10603. Mecánica de Rocas. Método de determinación del índice de vacíos por la técnica de absorción rápida. Durabilidad: la pérdida debe ser menor al 13%. Norma IRAM 10606. Mecánica de Rocas. Método de determinación de la durabilidad por humedecimiento y secado.

Resistencia a la compresión simple: debe ser > 50 MPa. Según la Norma IRAM 10536. Mecánica de Rocas. Método de ensayos de compresión.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### Análisis y producción de áridos para el llenado de los gaviones

Respecto a los áridos, a estos fines aplicados es necesario conocer:

- 1) Aptitud geotécnica
- 2) Distancia a la obra a construir
- 3) Volumen necesario.

En la Provincia de Buenos Aires la actividad minera productora de los áridos necesarios para el llenado de los gaviones se desarrolla precisamente en el mismo ámbito de las Sierras Septentrionales o Sistema de Tandilia, con la extracción en canteras de rocas graníticas del basamento precámbrico, de origen ígneo y metamórfico, habiendo numerosos emprendimientos comerciales en las inmediaciones de las obras por lo que los volúmenes requeridos, las relativas cortas distancias desde el sitio de extracción y el devenir relativo bajo costo de transporte, favorecen la ecuación económica de costo de las obras.

En general, en el basamento cristalino se presenta una típica asociación de rocas ígneo-metamórficas compuestas por gneises graníticos a tonalíticos, migmatitas, anfibolitas, esquistos, mármoles y granitoides (*Dalla Salda et al. 2005*).

Respecto a la aptitud geotécnica, los estudios característicos son:

- Tipo de roca
- Estado de la fisuración
- Parámetros geotécnicos: peso específico, resistencia, durabilidad, absorción de agua, etc.

Los áridos obtenidos mediante trituración de las rocas del basamento, poseen cualidades de resistencia al pulimento que los hace idóneos para garantizar la textura superficial necesaria durante un largo periodo de tiempo por lo que son especialmente adecuados para su empleo como árido grueso, denominándose como tal al constituido genéricamente por las fracciones de tamaños superiores a 2,5 mm.

Para caracterizar estas fracciones es necesario en general conocer sus propiedades particulares como la forma de sus partículas, su resistencia, absorción, etc., siendo para el caso que nos ocupa la granulometría una de las características físicas fundamentales del árido pues influye significativamente en su resistencia mecánica.

En Olavarría, Azul, Tandil y Balcarce, existen canteras en explotación, produciendo no sólo triturados pétreos para elaboración de hormigones, pavimentos, balasto para vías férreas, etc. (los triturados más comunes se comercializan en granulometrías 0/6, 6/12, 6/20, 10/30 y 30/50), sino también como piedra bruta para escollera. Siendo que la granulometría de los bloques para escollera (superiores al metro cúbico) excede a la granulometría

de máximo medio metro cúbico (tamaños pedraplén-escollera) necesaria para el llenado de los gaviones, sólo es necesario acondicionar la operación de extracción en cantera a estos fines, siendo que por lo general el producto granulométrico resultante de la rompedora primaria posee condiciones acordes a las necesidades expuestas.

En la producción de piedras trituradas de Tandilia, la extracción del material se realiza mediante el procedimiento de perforación de la roca y su voladura controlada en función del tamaño del producto requerido. A partir de esta etapa el material para la producción de piedras trituradas, es cargado y trasladado a la planta de trituración mediante palas cargadoras y volquetes, lugar donde el material se tritura en equipos adecuados, se los clasifica mediante zarandas y se los apila según la granulometría requerida.

El tipo de extracción y la estructura del macizo rocoso, produce bloques de angulosidad y rugosidad requeridas y formas tipo prismático y/o equidimensional que se adaptan perfectamente a lo requerido para el llenado de gaviones.

La angulosidad de las partículas del árido grueso es tenida en cuenta para su caracterización ya que, junto a las características rugosas superficiales, influye en la resistencia del esqueleto mineral, por su contribución al rozamiento interno.

Otra de las características del árido grueso de bloques para pedraplén es el peso específico debido a que la estabilidad de las estructuras se encuentra dada fundamentalmente no sólo por su angulosidad y rugosidad sino también por su propio peso sobre la fundación. Ello es lo que soporta el empuje hidráulico mientras se produce el proceso de desembalse a través del paso del agua por los áridos de la presa gavionada misma. En este caso, sólo el peso específico de las rocas ígneo-metamórficas del basamento cristalino de Tandilia, alrededor de 26 kN/m<sup>3</sup>, resultan adecuadas a este propósito, habiéndose obtenido en muestras de cantera en las cercanías de Tandil valores que superan el mencionado peso específico, variando entre 28 kN/m<sup>3</sup> a 31 kN/m<sup>3</sup> (*Tear et al. 2017*)

La resistencia mecánica del esqueleto mineral es un factor también predominante en la evolución del comportamiento después de su puesta en servicio. La evaluación de dicha resistencia se realiza mediante ensayos basados en la determinación de la resistencia intrínseca de la matriz rocosa de las rocas medida sobre probetas a través de la ejecución de ensayos de resistencia uniaxial o también denominados ensayos de compresión simple. Los valores obtenidos a través de los mismos sobre rocas sanas, grado de alteración A1 (*Engineering Geology of Earth. Dearman et al. 1989*), de composición básicamente granítica arrojan valores que varían entre 50 y 120 MPa e incluso superiores llegando a mayores a 250 Mpa (*Giacconi. 2009*), valores estos que denotan la existencia de áridos resistentes, sin inconvenientes para su uso con el propósito expuesto. Respecto a la absorción de agua y durabilidad por humedecimiento y secado, las rocas de origen ígneo metamórfico inalteradas o con bajo grado de alteración, grados de alteración 1 y 2 respectivamente, (*Dearman et al. 1989*), tratadas cumplen sin objeciones lo estipulado en las normas IRAM 10603 y 10606 respectivamente. Valores obtenidos sobre muestras de cantera arrojan como resultado tenores muy bajos de absorción: 0,2 a 0,5 (*Tear et al. 2017*), siendo que el congelamiento dado el clima imperante a la latitud y cota de las Sierras de Tandilia es prácticamente no significativo a los fines de la desintegración físico-mecánica de los áridos a través del tiempo.

Respecto a la petrografía de los áridos y a los fines ilustrativos, se tomaron muestras de roca extraídas de canteras en las cercanías de Tandil, realizándose las respectivas descripciones microscópicas (Tear *et al.* 2017). La descripción de secciones delgadas de los distintos lito-tipos se realizó con un microscopio petrográfico Olympus, modelo BH2-UMA.

La clasificación de las distintas muestras de roca se brinda a continuación:

### Muestra Tandil T1 (Figs. 12 y 13)

Roca metamórfica de tamaño de grano medio a grueso, textura inequigranular, porfiroblástica y fábrica isótropa. Mineralógicamente presenta alrededor de un 40% de porfiroblastos

inalterados de feldespato potásico, de tipo microclino perítico y ortosa, de tamaños entre 3 y 2 mm. Un 30%, aproximadamente de plagioclasas euhedrales a subhedrales de tamaño promedio 1 mm y con evidencias de microestructuras de deformación (maclas ahusadas) y presentan una conspicua alteración a sericita. Los cristales de cuarzo (Qz) anhedral, de aproximadamente 1 mm, se presentan con extinción ondulosa y migración de bordes de granos, inmersos en una matriz de cuarzo recrystalizado a subgranos poligonales de menos de 20  $\mu\text{m}$ . Se observan además algunos minerales máficos como anfíboles muy cloritizados, menores a 1 mm, dispuestos entre los porfiroblastos félsicos, y titanita como mineral accesorio. La Roca se clasifica como migmatita.

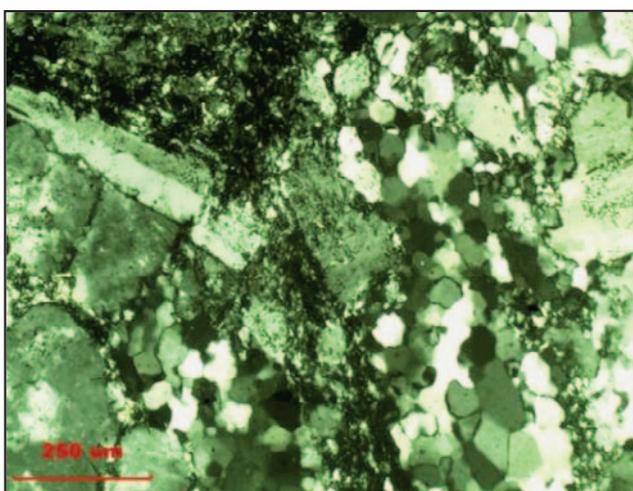


Figura 12. Se puede visualizar los granos de Qz de la matriz recrystalizados a subgranos y con desarrollo de bordes de grano y extinción ondulosa. A la izquierda: un cristal de feldespato con macla de Carlsbad.

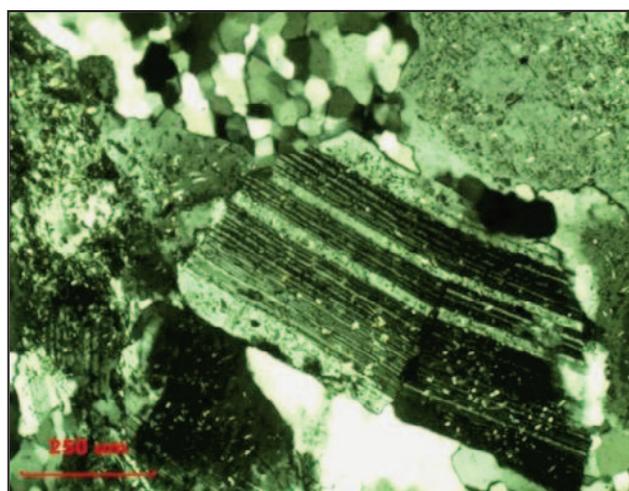


Figura 13. Cristal de Plagioclasa con alteración a sericita. Granos de Qz alrededor recrystalizados.

### Muestra Tandil T2 (Fig. 14 y 15)

Roca metamórfica de textura granoblástica y estructura isótropa. Composicionalmente presenta un 40% de feldespatos y plagioclasa, con tamaños máximos de 2 mm a mínimos de 0,5 mm, de muy a completamente alterados y con evidencias de deformación, rodeados por trenes Qz y biotitas alteradas. El Qz constituye un 30% de la muestra, presenta tamaños máximos de 1,5 mm y mínimos de 400  $\mu\text{m}$ , los granos mayores poseen extinción ondulosa en bandas, desarrollo de subgranos y reabsorciones de borde. Los granos de plagioclasas se hallan alterados a sericita, biotitas con bordes regulares y, en menor medida, a calcita y cloritas.

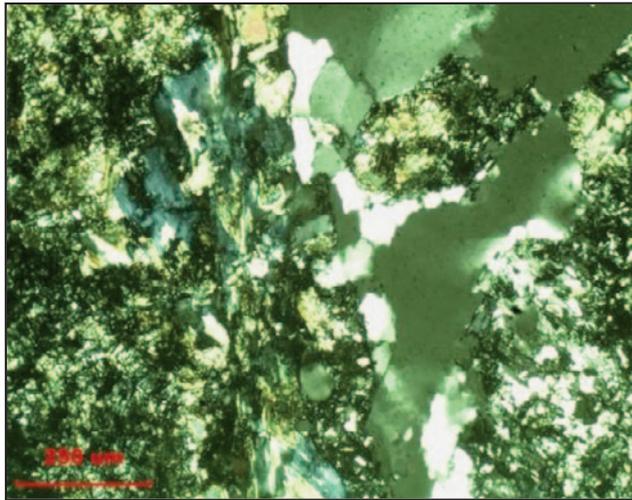
El 30% restante lo constituyen los mafitos, principalmente biotitas alterando a plagioclasas y biotitas relictuales altamente alteradas a cloritas, con signos de deformación en sus bordes y asociadas a titanita acicular. También se detectan abundantes apatitas y anfíboles de aproximadamente 1,5 mm, alterados a cloritas y biotitas con inclusiones de circones. La roca corresponde a una migmatita.

### CONCLUSIONES

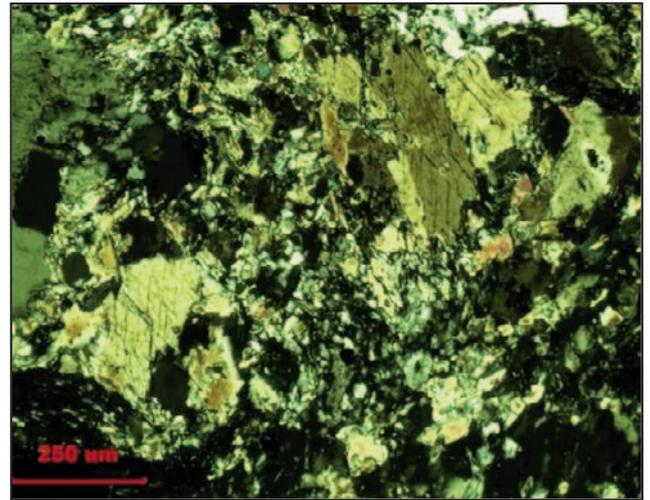
En función del objetivo en que se encontraba centrado en presente trabajo, lo expuesto a lo largo del mismo determina la factible implantación de un sistema integrado de contenidas presas de gaviones semipermeables en los valles afluentes con presas de gravedad de estructura tradicional, sean éstas de hormigón, CFRD, RCC o de materiales sueltos según sea la dimensión de los valles principales y las características determinadas de la geología y la geotécnica del subsuelo de fundación a los fines de su estabilidad y seguridad.

Así, el cálculo hidrológico y la modelización hidráulica determinan una ganancia apreciable respecto a la respuesta hidrológica de la cuenca a favor de la implantación del sistema de complementariedad expuesto vs. el sistema de regulación de crecidas extraordinarias mediante una única presa en el valle principal.

Las parametrizaciones realizadas han determinado un caudal 63 % menor en el pico máximo de crecida en un tiempo comparativo mayor del 50 % a favor del sistema propuesto en



**Figura 14. Centro-izquierda: Abundante alteración y presencia de cloritas. A la derecha: granos de cuarzo con deformación.**



**Figura 15. Secciones basales de anfíboles.**

el presente trabajo. Ello produce como consecuencia el diseño de una menor altura en la presa principal y menor vulnerabilidad acuífera freática (Giaconi, 2008) con su consecuente ventaja desde el punto de vista no sólo económico y ambiental sino también respecto a la oportunidad de ejecución ya que, como se ha descrito en párrafos anteriores, en muchos lugares de Tandilia el avance de la urbanización complica en grado sumo el desarrollo de los sistemas de laminación a través de una única presa de regulación aún con embalses temporarios, como el caso expuesto en la cuenca del A° Blanco (Giaconi et al, 2014).

Por otra parte, las rocas ígneo-metamórficas del Basamento constituyen el presupuesto básico para la obtención de áridos gruesos de inmejorable condición geotécnica dado sus pesos específicos, resistencia a la compresión, baja absorción de agua, alta durabilidad y rugosidad posibilitándose mediante su explotación en cantera, la obtención de granulometrías acorde a las necesidades de uso para el llenado a mano, e incluso mecánica, de los gaviones constituyentes de los cuerpos de las presas semipermeables.

#### APRECIACIONES DE LOS AUTORES

Finalmente, respecto a la implantación de las presas semipermeables de gaviones como primarios elementos complementarios del sistema de regulación de crecidas principal, los beneficios tangibles se pueden enumerar de la siguiente manera:

- a) Contenidos estudios básicos debido al bajo compromiso de la fundación de las mismas.

- b) Excelente seguridad (pequeños volúmenes temporalmente embalsados en zonas no pobladas).
- c) Rápida y fácil reparación en caso de rotura.
- d) Posibilidad de pequeños emplazamientos “en cascada”.
- e) La actividad de varios “cuencos disipadores” que producirían como resultado una menor velocidad del flujo con la consecuente menor magnitud erosiva fluvial.
- f) Las presas propuestas toman al flujo de crecida en el primer sector del encauzamiento donde volumétricamente es factible controlar.
- g) Una sensible disminución de los procesos de erosión retrocedente,
- h) Ocupación de pequeñas áreas (implica un impacto social más equilibrado).
- i) Menor costo de las expropiaciones.
- j) Menor altura de la presa principal del sistema de regulación.
- k) Existencia cercana a las obras de volúmenes y calidades geotécnicas de áridos acordes a los requerimientos del tipo de obra propuesto.

Todo lo cual se resume en: 1) Atenuado impacto ambiental, 2) Bajo costo constructivo y 3) Implicancia social: en su construcción y mantenimiento se requiere sólo de mano de obra local no especializada contándose con la ventaja de la disponibilidad de canteras de áridos de rocas cristalinas en las inmediaciones. En definitiva: un menor costo económico y ambiental.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CHOW, V. T. 1983.  
Hidráulica de los Canales Abiertos.  
*Editorial Diana, México.*
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. 1988.  
Hidrología Aplicada,  
*McGraw-Hill International Editions.*

- DALLA SALDA, L; DE BARRIO, R; ECHEVESTE, H. Y FERNÁNDEZ, R. 2005.  
El Basamento de las Sierras de Tandilia. Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires.  
*Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata. Págs. 31 a 50.*
- DEARMAN, W.R; SERGEEV, E. Y SHIBAKOVA, V. 1989.  
Engineering Geology of the Earth.  
*1° Edition. Moscú.*
- FLORES, R. M., GIACONI, L. M. 2010.  
“Aspectos geotécnicos de la fundación del Ramal H”.  
*CAMSIG 2010. Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica. Mendoza (Argentina).*
- GIACONI, L. M. 1993.  
Estudio geológico geotécnico de la fundación de obras de regulación de crecidas extraordinarias y de las áreas de embalse de los A° Azul y Videla. Sierras de Tandilia, Partido de Azul.  
*Gago Tonin Ingenieros Consultores. Ex Dirección de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires (actual Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas). Informe inédito*
- GIACONI, L. M., 2008.  
“Aspectos geoambientales de Tandil. Vulnerabilidad del acuífero freático y sus implicancias ambientales”.  
*Actas del XVII Congreso Geológico Argentino. Jujuy. ISBN 978-987-22403-1-8. Págs. 1135 -1136.*
- GIACONI, L. M., CALVETTY, B., GIACONI, M. N. 2012-1.  
“Aspectos geológico-geotécnicos preliminares de la presa del A° Blanco. Tandil, (Prov. de Buenos Aires)”.  
*Resumen. 10° Simposio ASAGAI. Villa Carlos Paz (Córdoba). 2 Págs.*
- GIACONI, L. M., CALVETTY, B., GIACONI, M. N. 2014.  
“Aspectos geológico-geotécnicos preliminares de la presa del A° Blanco. Tandil, (Prov. de Buenos Aires)”.  
*Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente (ASAGAI)*  
*- Catálogo Latindex - ISSN 1851 - 7838. Revista Nro. 32.*
- GIACONI, L. M., FLORES, R. M., GIACONI, M. N. 2012-2.  
“Tratamiento geotécnico de la fundación de la presa del Ramal H, Tandil, mediante inyecciones cementíceas”  
*. Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente (ASAGAI)*  
*- Catálogo Latindex - ISSN 1851 - 7838. Revista Nro. 29 (Diciembre 2012). Págs. 23 a 40.*
- GIACONI, L. M., FLORES, R. M., GIORDANO, R., CUMBA, A., DE LUCA, E. GIACONI, M. N. 2012-3.  
“Excavación fina y saneamiento dental de la fundación de la presa del Ramal H, Tandil (Prov. de Buenos Aires)”.  
*Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente (ASAGAI)*  
*- Catálogo Latindex - ISSN 1851 - 7838. Revista Nro. 29. Págs. 01 a 12.*
- GIACONI, LUIS MARIO Y GIACONI, MARIO NICOLÁS. 2014.  
“Complementariedad de la laminación de crecidas extraordinarias en las Sierras de Tandilia mediante pequeñas presas semipermeables de gaviones utilizando áridos de rocas cristalinas del Basamento Precámbrico”.  
*II Congreso Argentino de Áridos. Buenos Aires. 9 al 12 de noviembre de 2014. Tomo II - Págs. 795 a 806.*  
*Con Referato.*
- GIACONI, L. M., GIORDANO, R, CUMBA, A. 2008.  
“Alternativa ambiental para la regulación de torrentes mediante presas de gaviones en la ciudad de Tandil”.  
*Actas del XVII Geológico Argentino. Jujuy. ISBN 978-987-22403-1-8. Págs. 1137 - 1138.*
- GIACONI, L. M., GUICHÓN, M, GIORDANO, R., CUMBA, A. 2009.  
“Criterios conceptuales del análisis geotécnico de macizos rocosos utilizados para la construcción de una presa de gravedad en hormigón en la cuenca del Ramal H (Tandil)”.  
*IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología -II Reunión del Cuaternario de América del Sur. La Plata.*  
*ISBN 978-950-34-0597-0. Págs. 536 - 544.*
- GIACONI L. M., SAINZ TRÁPAGA, J. 1995.  
“Regulación de pequeñas cuencas intraserranas sin embalse permanente en las Sierras de Tandil. Conveniencia de presas semipermeables de gaviones. Adaptación al ambiente”.  
*Cuartas Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses. Tomo II, págs. 37 a 45. Junín. Provincia de Buenos Aires.*
- GIACONI, L. M. Y SCHANG, P. 2014.  
Relevamiento topográfico de detalle de posibles cierres hidráulicos sobre los arroyos Ramal H superior, Manantiales y Ramal H Inferior. Cuenca del Ramal H. Tandil.  
*Informe Inédito*
- KIRPICH, Z.P. 1940.  
Time of concentration of small agricultural watersheds.  
*Civil Engineering, 10, 6, pp. 362*
- OFFICINE MACCAFERRI S.P.A. 1981.  
Diques Flexibles para la Sistematización y Derivaciones Hidráulicas,  
*Bologna - Italia.*

- OFFICINE MACCAFERRI S.P.A. 1988.  
Obras de Sistematización y Defensa Hidráulica, Ghiacci y Papetti.  
*Bologna - Italia.*
- SAINZ TRÁPAGA, J. Y SERRA, J. 1983.  
Presa Permeable Arroyo Pedregoso Sur - Epuyén,  
*Publicación de la Dirección General de Estudios y Proyectos, Provincia del Chubut.*
- SERRA, J. 1980.  
Conceptos y Fundamentos Hidráulicos de los Disipadores Permeables,  
*Publicación de la Dirección General de Estudios y Proyectos, Provincia del Chubut.*
- TEAR, MARÍA F; COELHO, GABRIELA; GIACONI, LUIS M. 2017.  
Características petrográficas y geotécnicas de muestras de áridos de cantera de las Sierras Septentrionales de Tandilia:  
Olavarría, Azul y Tandil.  
*Cátedra de Geología Aplicada, FCNyM. UNLP. Informe Inédito.*
- TERUGGI, M. E. Y KILMURRAY, J. O. 1980.  
Sistema Septentrional de la Provincia de Buenos Aires.  
*Geología Regional Argentina. Vol. II. Córdoba. Pg. 919 a 965.*