



ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE PUERTOS  
REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

# U15.09 – EXPLANADA PUERTO DE PAYSANDÚ – MEMORIA DE CÁLCULO DE DRENAJE PLUVIAL

Noviembre de 2015

[Descripción breve](#)

Memoria de cálculo del sistema de drenaje pluvial.



<b>Versión</b>	<b>Detalle</b>	<b>Elaboró</b>	<b>Fecha</b>	<b>Aprobó</b>
A	Versión Original	AP	23/11/2015	-
B	Ajuste de cálculo de captaciones superficiales	AP	29/11/2015	-

## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
1.1	OBJETIVO .....	5
1.2	ALCANCE.....	5
1.3	ESTRUCTURA DEL INFORME .....	5
<b>2</b>	<b>DESCRIPCIÓN GENERAL.....</b>	<b>5</b>
2.1	INFRAESTRUCTURA PLUVIAL EXISTENTE .....	6
2.2	ESCURRIMIENTO PLUVIAL PROYECTADO .....	8
<b>3</b>	<b>CRITERIOS DE DISEÑO .....</b>	<b>8</b>
3.1	PERÍODO DE RETORNO .....	8
3.2	CAUDALES DE DISEÑO .....	10
3.2.1	<i>Período de retorno .....</i>	<i>10</i>
3.2.2	<i>Cálculo de caudales .....</i>	<i>10</i>
3.3	DIMENSIONADO DE CAPTACIONES .....	12
3.3.1	<i>Reja operando como vertedero .....</i>	<i>12</i>
3.3.2	<i>Reja operando como orificio .....</i>	<i>13</i>
3.4	DIMENSIONADO DE CONDUCCIONES .....	13
3.4.1	<i>Condición de borde de niveles en el Río Uruguay .....</i>	<i>14</i>
3.4.2	<i>Velocidad máxima .....</i>	<i>14</i>
3.4.3	<i>Tirante máximo.....</i>	<i>14</i>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS .....</b>	<b>14</b>
4.1	ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL .....	15
4.2	ESCURRIMIENTO POR TUBERÍAS Y CANALES.....	15
4.2.1	<i>Capacidad hidráulica .....</i>	<i>16</i>
4.2.2	<i>Velocidad máxima .....</i>	<i>18</i>
4.2.3	<i>Desbordes en el sistema .....</i>	<i>19</i>
4.3	CONCLUSIONES .....	19

## TABLAS

Tabla 1 - Niveles del río según períodos de recurrencia.....	9
Tabla 2 - Coeficientes de la ley de Montana .....	12
Tabla 3 - Verificación de la abertura de pasaje de reguera .....	15

## FIGURAS

Ilustración 1 - Ubicación de explanada .....	6
Ilustración 2 - Obras de drenaje existentes .....	7
Ilustración 3 – Distribución Gumbel para niveles máximos anuales, Paysandú (estación 31.0) .....	9
Ilustración 4 – Curva de frecuencia de niveles en el Río Uruguay (escala del Puerto de Paysandú) .....	10
Ilustración 5 – Esquema de modelo en EPA SWMM .....	14
Ilustración 6 – Geometría de captación superficial.....	15

Ilustración 7 – Capacidad hidráulica de las conducciones (descarga libre en el río).....	16
Ilustración 8 – Capacidad hidráulica de las conducciones (descarga ahogada en el río) .....	16
Ilustración 9 – Perfil longitudinal del colector sur (descarga libre) .....	17
Ilustración 10 – Perfil longitudinal del colector norte (descarga libre) .....	17
Ilustración 11 – Perfil longitudinal del colector sur (descarga ahogada) .....	18
Ilustración 12 – Perfil longitudinal del colector norte (descarga ahogada) .....	18
Ilustración 13 – Velocidades máximas en conducciones (descarga libre) .....	18

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde a la memoria de cálculo hidráulico del sistema de drenaje pluvial proyectado en la explanada a construirse en el Puerto de Paysandú.

Se realiza aquí una breve descripción del sistema proyectado, y luego se exponen los criterios de diseño considerados, la metodología empleada y los resultados obtenidos.

### 1.1 Objetivo

El trabajo tiene como objetivo específico el proyecto de las obras de infraestructura pluvial que permitirán la adecuada evacuación de las aguas pluviales generadas en la explanada a construirse en un área de aproximadamente 1,4 há en el Puerto de Paysandú.

### 1.2 Alcance

El trabajo comprende el proyecto ejecutivo de estructuras de captación de escorrentía, colectores pluviales y cámaras de descarga. Se incluyen dos subsistemas de drenaje según se trate del sector norte o sur de la explanada.

### 1.3 Estructura del informe

El presente informe se estructura básicamente en cuatro capítulos que se sintetizan a seguir:

- ❑ Capítulo 1 – Se corresponde con la presente introducción.
- ❑ Capítulo 2 – Se efectúa una descripción general de las obras existentes de drenaje pluvial y del sistema proyectado.
- ❑ Capítulo 3 – Se exponen criterios de diseño empleados en el proyecto.
- ❑ Capítulo 4 – Se muestran resultados y conclusiones generales.

Se adjuntan las láminas de proyecto que señalan los detalles de las obras de drenaje previstas.

## 2 DESCRIPCIÓN GENERAL

La explanada a construir se ejecutará en un área de aproximadamente 13.600 m<sup>2</sup> (280 x 45 m) que actualmente se encuentra desocupada, sin edificaciones y con recubrimiento de suelo vegetal.

De acuerdo al relevamiento de topografía efectuado en el marco del presente proyecto, el área de estudio tiene pendiente suave hacia el río.

Ilustración 1 - Ubicación de explanada



Junto al muelle se tiene un área con pavimento de adoquines, donde se sitúan dos galpones que actualmente se encuentran en estado de abandono y que serán posteriormente demolidos.

## 2.1 Infraestructura pluvial existente

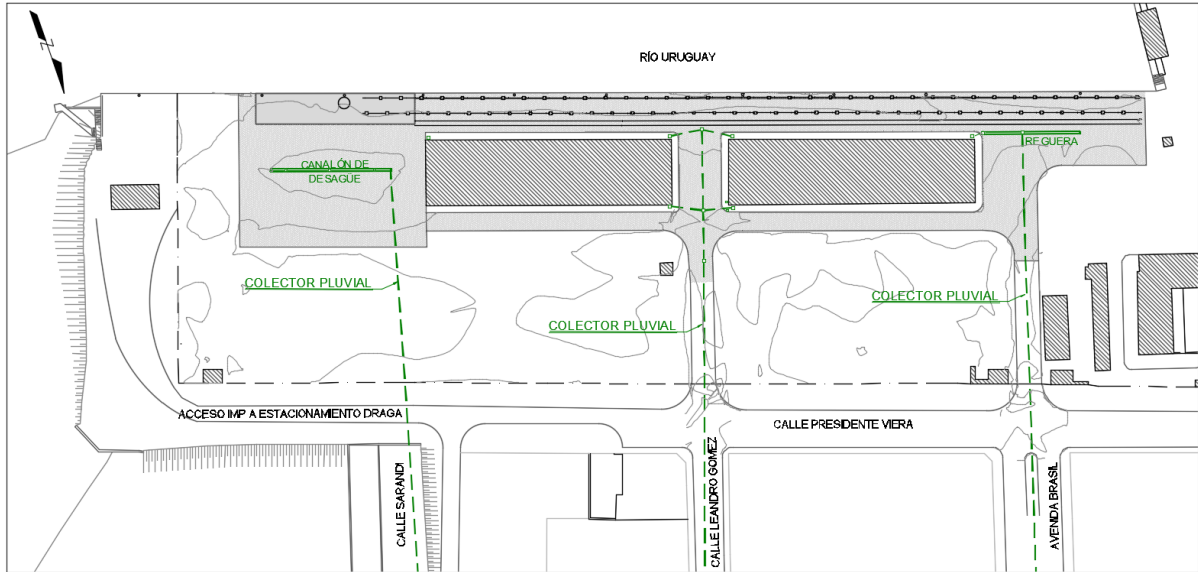
De acuerdo a información recabada en inspecciones de campo, así como también a partir de información proporcionada por la A.N.P., se tiene que el predio del puerto es atravesado por tres conducciones pluviales con descarga en el río. Dichos colectores pluviales se extienden bajo la prolongación de las calles Sarandí, Leandro Gómez y Avda. Sarandí, ingresan al puerto y descargan bajo el muelle existente.

Estos entubados son de propiedad municipal y se asocian al drenaje urbano. Se ha realizado la correspondiente solicitud de información al departamento de Planeamiento Urbano de la Intendencia de Paysandú (IdeP), en relación a información geométrica, cuencas de aporte, estado de conservación e incidencias operativas en los colectores. La respuesta a dicha solicitud es que la IdeP no dispone de información al respecto.

Los colectores se encuentran profundos y reciben conexiones dentro del predio del puerto, vinculadas a desagüe de techos y regueras de piso.



**Ilustración 2 - Obras de drenaje existentes**



A continuación se presentan registros fotográficos de los colectores pluviales y de las regueras de piso:

**Fotografía 1 – Colector y reguera existentes**



Canalón de desagüe / Reguera



Explanada sur y canalón de desagüe central



Reacondicionamiento de cámara pluvial dañada por calle L. Gómez en acceso al predio



Colector rectangular por calle L. Gómez en acceso al predio



Cámara en colector pluvial interior al predio por calle prolongación L. Gómez. Conexión de desagüe de techos

Cámara en colector pluvial interior al predio por calle prolongación de Av. Brasil

## 2.2 Ecurrimiento pluvial proyectado

Como fue mencionado con anterioridad, la explanada tiene una longitud total de aproximadamente 280 m y un ancho máximo de 45 m. De acuerdo a la planialtimetría definida en el proyecto vial, la explanada cuenta con pendiente transversal variable entre 0,5-1,3% y pendiente longitudinal prácticamente nula.

Las condiciones anteriores conllevan a que sea necesario un planteamiento de proyecto de drenaje a dos aguas, distinguiéndose así dos sub-sistemas independientes con descarga al río (sector norte y sector sur). Véase la lámina de proyecto DP-PA-01, con información planialtimétrica del proyecto de drenaje pluvial.

El escurrimiento superficial en la explanada se efectuará hacia estructuras de captación de tipo reguera, ubicadas a lo largo del eje central (longitudinal) del pavimento. Los canales de reguera tendrán 0,60 m de ancho, pendiente del 0,5% y altura variable entre 0,40 y 0,90 m. Consistirán en ductos con losa superior ranurada, intercalándose rejas removibles para limpieza según indicaciones en planos (véase lámina DP-DE-02).

Los canales de colecta de agua superficial descargan luego hacia colectores pluviales con pendiente mínima de 0,30% y diámetros de 500 y 600 mm, según se trate del colector del sector norte y sur respectivamente. Estos colectores descargan luego en el Río Uruguay.

Las cámaras de inspección de los colectores tendrán fondo descendido, actuando así como trampas de arena. Por otro lado, previo a las descargas en el río, se instalarán válvulas anti-retorno tipo pico de pato, para impedir el retroceso de caudal y consecuentes desbordes, debidos a un incremento de nivel en el río.

## 3 CRITERIOS DE DISEÑO

### 3.1 Período de retorno

Se ha realizado la solicitud a la División de Hidrografía de Dinagua (MVOTMA), de la serie histórica de registros máximos diarios de niveles del Río Uruguay en la escala limnimétrica del Puerto de Paysandú. Dicha estación corresponde a la Estación 31.0, con cero de regla a cota 1,02 Wharton.

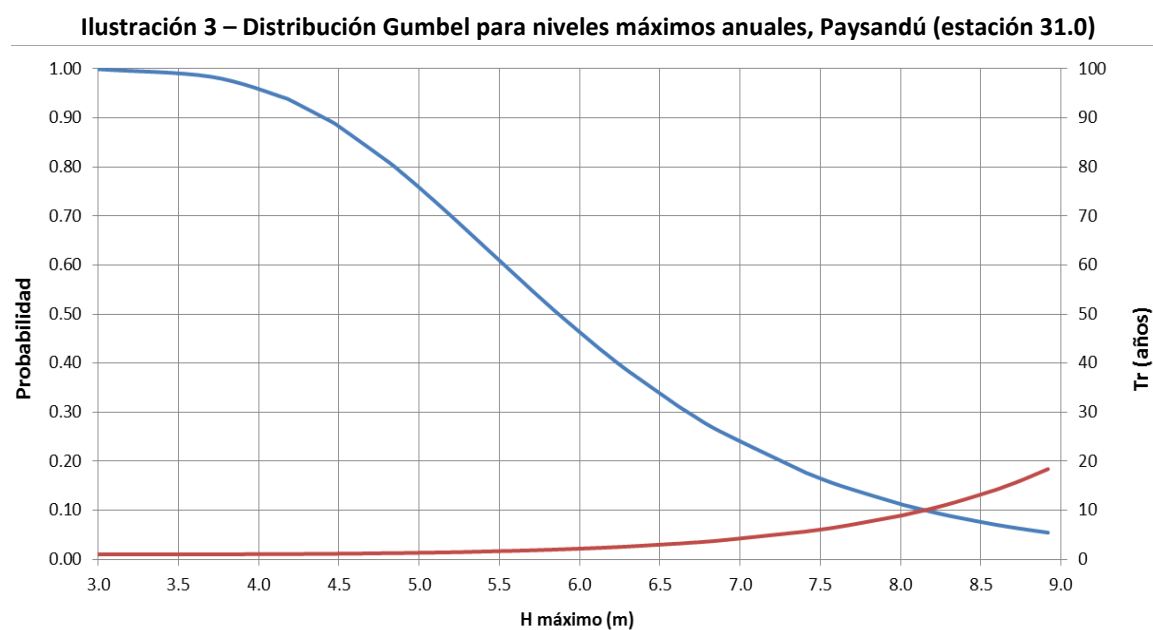


Los datos históricos se asocian al período 1899 a 2015, asimismo los datos anteriores al año 1980 han sido descartados ya que son anteriores a la construcción de la represa hidroeléctrica de Salto Grande.

Del procesamiento de datos se tienen los siguientes niveles característicos:

- ❑ Nivel medio: 3,20 Wh
- ❑ Nivel mínimo: 0,61 Wh
- ❑ Nivel máximo: 9,94 Wh

A partir de los datos históricos se estimó la curva de distribución de Gumbel, que permite en este caso representar la distribución de probabilidad del máximo nivel del río a partir de los datos de niveles máximos durante 35 años:



Para esta distribución se tienen los siguientes valores:

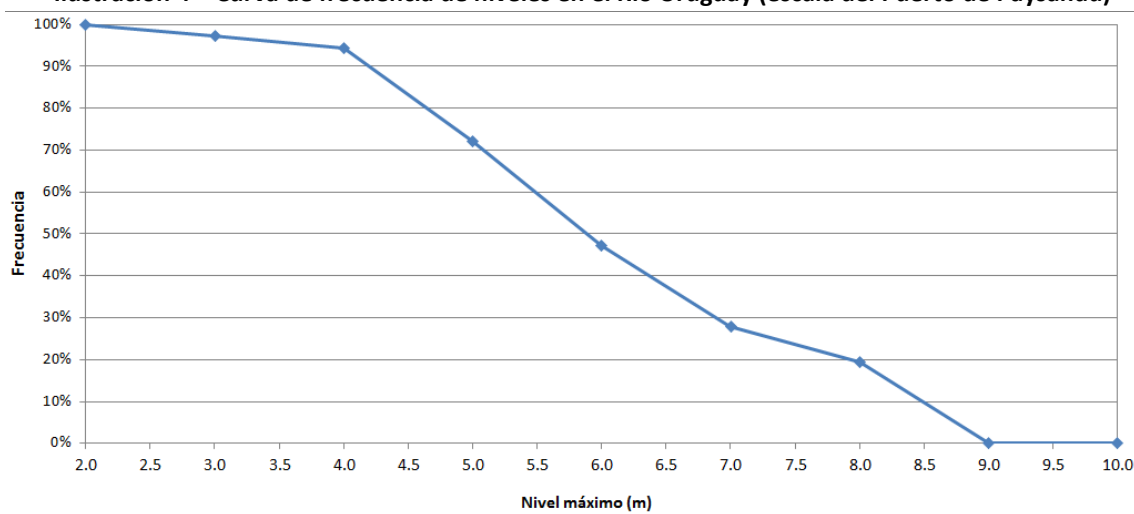
**Tabla 1 - Niveles del río según períodos de recurrencia**

H máx (m)	Cota (Wh)	Cota (Oficial)	F(x)	Probabilidad	Tr
5,87	6,89	5,98	0,50	0,50	2
7,24	8,26	7,35	0,80	0,20	5
8,15	9,17	8,26	0,90	0,10	10
9,02	10,04	9,13	0,95	0,05	20

De acuerdo al gráfico de la **Ilustración 3**, la probabilidad de alcanzar la cota 7,65 Wh (nivel de explanada) es de 31% (H máximo= 6,63 m). Dicha probabilidad se asocia a un período de recurrencia de 3,2 años. Se tiene entonces que en promedio, una vez cada 38 meses el nivel en el río alcanza el nivel de explanada.

Por otro lado se calculó la curva de frecuencia de niveles máximos anuales. En el histórico de datos se tiene que se ha superado este nivel con una frecuencia del 36% (véase [Ilustración 4](#)).

**Ilustración 4 – Curva de frecuencia de niveles en el Río Uruguay (escala del Puerto de Paysandú)**



Como resultado de este análisis, el período de retorno que se adopta para el cálculo de las intensidades máximas de precipitación es de 3,2 años.

Por otro lado, para el análisis hidráulico de los colectores pluviales proyectados se consideran dos condiciones de borde:

- Diseño de colectores con capacidad hidráulica suficiente, considerando descarga libre en el río.
- Verificación del sistema pluvial para que no existan desbordes, cuando el nivel en el río es 7,01 Wh, valor vinculado a una frecuencia de niveles del 50%.

## 3.2 Caudales de diseño

### 3.2.1 Período de retorno

Como fue mencionado, para el cálculo de caudales de escurrimiento se consideró un período de retorno de diseño de 3,2 años.

### 3.2.2 Cálculo de caudales

La determinación del caudal de aguas pluviales se realizó mediante el empleo del método racional. Éste relaciona el escurrimiento en un determinado punto, con el área de cuenca que escurre naturalmente a ese punto, la intensidad de lluvia que cae sobre la cuenca y un coeficiente de escurrimiento, valor semiempírico que relaciona el agua que efectivamente escurre con el agua precipitada sobre la cuenca.

La hipótesis implícita del método, de que la precipitación una vez que comienza perdura indefinidamente en el tiempo, al menos hasta tanto se posea escorrentía en el punto de interés, es perfectamente válida para cuencas pequeñas como las del presente proyecto.

A continuación se presenta la fórmula que permite determinar el caudal de escorrentía pluvial:

$$Qp = K \times C \times i \times A$$

Dónde:

$Qp$  = caudal máximo (L/s)

$K$  = coeficiente que para las unidades especificadas toma el valor 166,66

$C$  = coeficiente de escurrimiento

$i$  = intensidad de lluvia (mm/min)

$A$  = área de la cuenca (ha)

La intensidad de lluvia es constante y se calculó para una duración  $d$  igual a 5 minutos (tiempo en que permanece el agua en la explanada).

Para la verificación hidráulica del sistema de colectores se confeccionaron hidrogramas trapezoidales. Éstos fueron estimados a partir del método racional modificado, en donde el caudal aumenta en forma lineal hasta el caudal pico del método racional ( $Qp$ ), en el instante igual al tiempo de tránsito ( $t_o = 5 \text{ min}$ ) de la sub-cuenca. A partir del instante  $t_o$  el caudal se mantiene constante e igual a  $Qp$ , y luego disminuye linealmente hasta 0.

#### a. Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento depende del uso y tipo de suelo, que suele relacionarse con el porcentaje de impermeabilización de la cuenca.

Dadas las características de la pavimentación de la explanada, se consideró un coeficiente de escurrimiento  $C=1,0$ . Esto implica que la totalidad del agua que precipita, escurre luego en forma superficial.

#### b. Intensidad de precipitación

La intensidad de lluvia es la tasa promedio de lluvia, expresada generalmente en milímetros por unidad de tiempo sobre una cuenca dada. El valor que ésta asuma está íntimamente ligado al período de retorno de la tormenta y a la duración de la lluvia.

A efectos del cálculo de la intensidad de lluvia a adoptarse en la ecuación del método racional, se empleó la Ley de Montana:

$$i = a \cdot t^b$$

Dónde:

$i$  = intensidad (mm/hora)

$t$  = duración (hora)

$a, b$  = coeficientes característicos que para duraciones menores a 3,5 horas se obtienen a través de la siguiente expresión:

$$a = P_{(3,10,P)} (0.1241 \ln(Tr) + 0.317)$$
$$b = -0.547$$

Dónde:

P (3,10,p) = precipitación de 3 horas de duración y 10 años de período de retorno que se obtiene de la carta de isoyetas de lluvias extremas en Uruguay. Para la ciudad de Paysandú adquiere un valor de aproximadamente 86 mm.

Tr = período de retorno (3,2 años)

Tabla 2 - Coeficientes de la ley de Montana

Tr (años)	Duración < 60 minutos	
	a	b
3,2	39,68	-0,547

### 3.3 Dimensionado de captaciones

El proyecto de drenaje de la explanada contempla la construcción de regueras a lo largo de su eje longitudinal, con descarga en un colector pluvial que dirigirá el caudal de lluvia hasta su descarga en el río.

La explanada cuenta con pendiente transversal de 1,0%, con excepción de zonas con pendiente transversal variable con un mínimo de 0,5% y un máximo de 1,3%. La pendiente longitudinal es nula a lo largo de toda su extensión, teniéndose algunas áreas con leve pendiente del 0,2-0,3%.

De acuerdo a estas características, el dimensionado de las captaciones longitudinales (regueras) respetará las ecuaciones de captaciones en puntos bajos absolutos.

Las captaciones en puntos bajos absolutos se diseñan para que sean capaces de captar todo el caudal afluente. Las rejillas pueden comportarse como vertederos u orificios dependiendo de la profundidad del flujo y el caudal afluente. En este caso, si bien se entiende que la reguera funcionará como vertedero, se realizará la verificación del caudal interceptado por ambos procedimientos y se adoptará el que resulte menor.

#### 3.3.1 Reja operando como vertedero

El caudal interceptado por una reja en un punto bajo que opera como vertedero puede calcularse como:

$$Q_{\text{vertedero}} = 1,66 \times P \times d^{1,5}$$

Dónde:

$Q_{\text{vertedero}}$  = caudal interceptado por la reja (m<sup>3</sup>/s)

P = perímetro de la reja (m)

d = profundidad del flujo (m)

Se considera que la reja se encuentra sucia en una proporción de área (1-X) respecto al total. El perímetro queda entonces calculado como:

$$P = 2. W + 2. L. X$$

Dónde:

P = perímetro de la abertura de captación (m)

W = ancho de la abertura (m)

X= porción de área de reja limpia respecto al área total (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)

L= largo de la abertura de captación (m)

Para el diseño se consideró que la reja se encuentra 50% sucia.

### 3.3.2 Reja operando como orificio

El caudal interceptado por una reja operando como orificio puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{orificio} = 0,67 \times Ag \times \sqrt{2gd}$$

Dónde:

Q<sub>orificio</sub> = caudal interceptado por la reja (m<sup>3</sup>/s)

Ag = área limpia útil de la reja (m<sup>2</sup>)

g = gravedad (m/s<sup>2</sup>)

d = profundidad del flujo (m)

En caso de que la reja se encuentre sucia en una proporción (1-X) respecto a su área total, el caudal interceptado cuando opera como orificio se determina multiplicando por X el caudal de la reja limpia.

Para el diseño se consideró que la reja se encuentra 50% sucia.

### 3.4 Dimensionado de conducciones

Para la verificación del sistema de colectores se utilizó el sistema de modelación SWMM, desarrollado por la agencia de protección ambiental (EPA) de los EEUU.

El SWMM (Stormwater Management Model), modelo de gestión de aguas pluviales de la EPA, es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido.

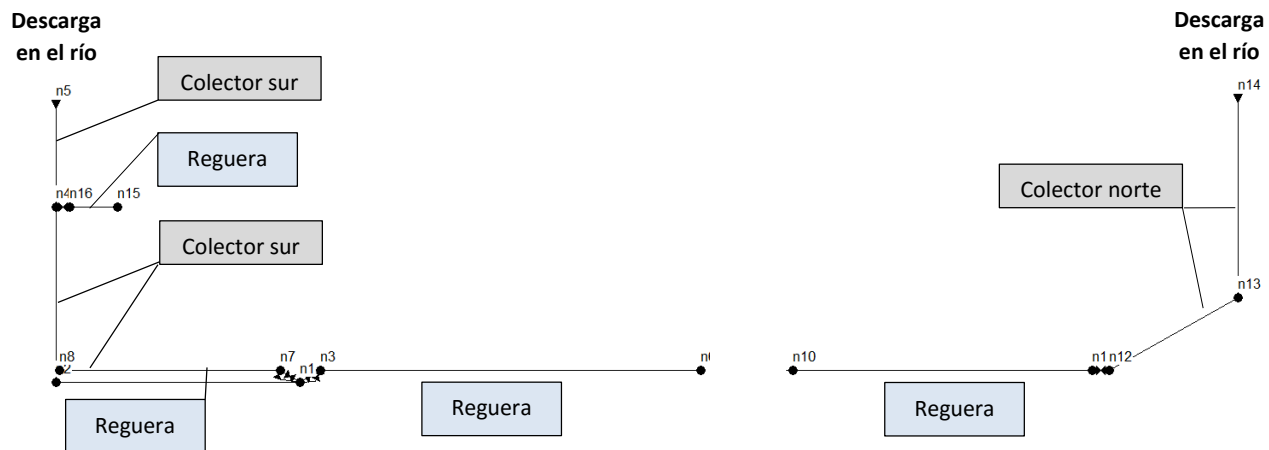
En el modelo implementado se ingresó información geométrica del sistema proyectado (tramos de colectores y cámaras), y la información hidrológica asociada (hidrogramas trapezoidales de escorrentía). Luego, mediante la simulación fue posible analizar el recorrido del agua a través del



sistema de tuberías y obtener como datos de salida distintas variables que interesan controlar (capacidad de conducción, velocidades, perfiles hidráulicos).

La figura que sigue ilustra el esquema geométrico implementado en el modelo:

Ilustración 5 – Esquema de modelo en EPA SWMM



Las descargas de los canales de reguera hacia las cámaras pluviales fueron modeladas como orificios y vertederos.

Las descargas de los colectores en el río se modelaron como elementos outfalls.

### 3.4.1 Condición de borde de niveles en el Río Uruguay

Como fue mencionado en el ítem 3.1, el proyecto hidráulico toma en consideración dos escenarios:

- ❑ Diseño de colectores con capacidad de conducción suficiente (85%) cuando éstos se encuentran funcionando con descarga libre en el río.
- ❑ Verificación del sistema para que no existan desbordes, cuando el nivel en el río alcanza un valor de 7,01 Wh (frecuencia histórica de niveles del 50%).

### 3.4.2 Velocidad máxima

En el diseño de los colectores se consideró una velocidad máxima admisible de 5 m/s.

Si bien los colectores proyectados serán de PVC, se consideró un número de Manning de 0,013.

### 3.4.3 Tirante máximo

Tanto para tuberías como para canales, no se admiten tirantes de agua superiores al 85% de la altura de sección.

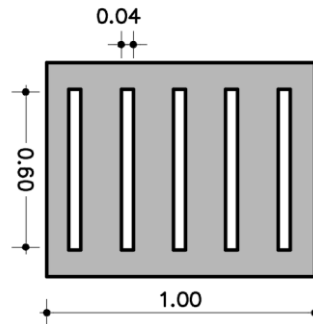
## 4 RESULTADOS OBTENIDOS

Se presentan a continuación los resultados obtenidos en la verificación de la abertura de pasaje de las captaciones superficiales (regueras), y del funcionamiento hidráulico de los colectores pluviales proyectados.

#### 4.1 Esguerrimiento superficial

La geometría de los canales reguera se presenta en el plano DP-DE-02. En 1 m de canal se tiene un área de pasaje de 0,12 m<sup>2</sup>:

Ilustración 6 – Geometría de captación superficial



Para las dimensiones de abertura presentadas en el esquema anterior, se tienen los siguientes resultados de verificación hidráulica de la captación, considerando funcionamiento de reja operando como vertedero o como orificio:

Tabla 3 - Verificación de la abertura de pasaje de reguera

L	W	X	P sucia	d	VERTEDERO		ORIFICIO		
					Q reja limpia	Q reja sucia	Ag	Q reja limpia	Qi reja sucia
m	m	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	m	m	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
0,60	0,04	0,5	3,2	0,01	0,011	<b>0,005</b>	0,012	0,007	0,004

Para 1,0 cm de lámina de agua sobre la reguera (d), el caudal de descarga es de 5,0 L/s por metro de canal (suciedad 50%).

Por otro lado, el caudal de esguerrimiento calculado para una cuenca de aporte de 45 m<sup>2</sup> (1 m x 45 m), para los criterios de diseño ya presentados (ítem 3.2), corresponde a 0,002 m<sup>3</sup>/s.

Se tiene entonces que el sistema funcionará adecuadamente, captándose mayor caudal que el de esguerrimiento para láminas de agua superiores a 1,0 cm.

#### 4.2 Esguerrimiento por tuberías y canales

Se ingresó al modelo la información geométrica del sistema proyectado: secciones, zampeados y pendientes, cotas de terreno, etc.

Se ingresaron además los hidrogramas de esguerrimiento superficial asociados a las distintas cuencas de drenaje y tiempos de esguerrimiento. Se realizaron las simulaciones hidrodinámicas considerando los dos escenarios de nivel en el Río Uruguay.

A continuación se presenta en forma gráfica las salidas del programa de simulación.

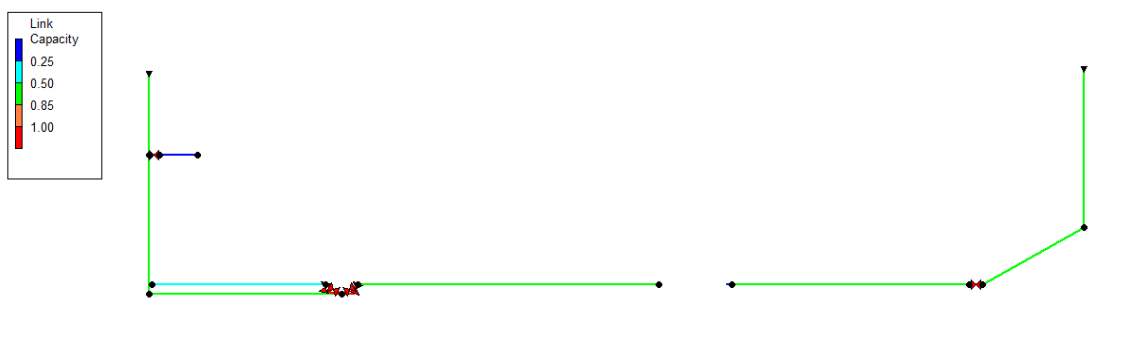
#### 4.2.1 Capacidad hidráulica

Según el criterio de diseño adoptado, se admite una relación máxima tirante/altura o tirante/diámetro del 85%.

Las figuras que siguen se corresponden a salida del modelo en donde se visualiza mediante escala de colores la capacidad hidráulica de las conducciones.

La **Ilustración 7** representa el escenario en el que la descarga de los colectores al río se efectúa libremente, y la **Ilustración 8** se corresponde a la situación en la que el nivel del río se sitúa a cota 7,01 Wh.

**Ilustración 7 – Capacidad hidráulica de las conducciones (descarga libre en el río)**



**Ilustración 8 – Capacidad hidráulica de las conducciones (descarga ahogada en el río)**

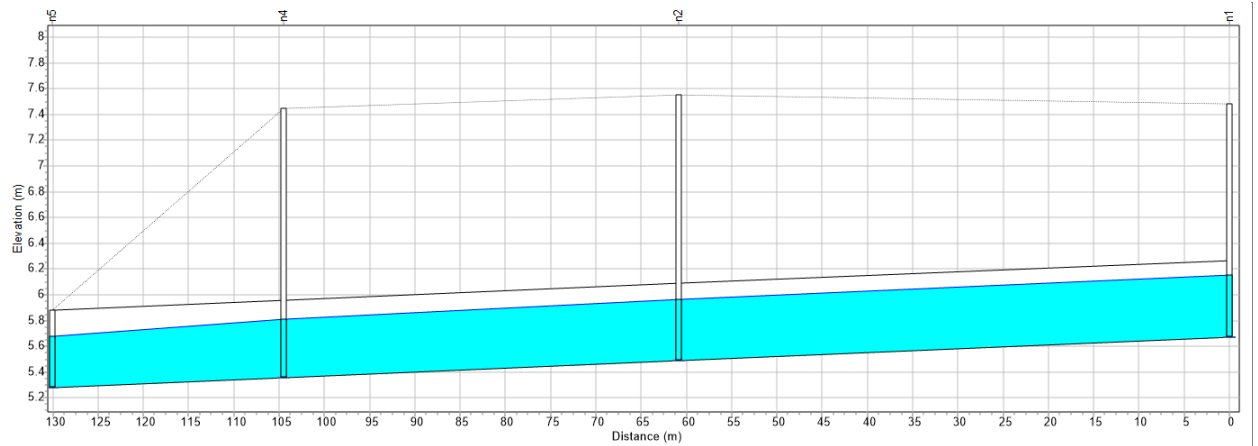


De las figuras anteriores se desprende que se cumplen los criterios anteriormente establecidos:

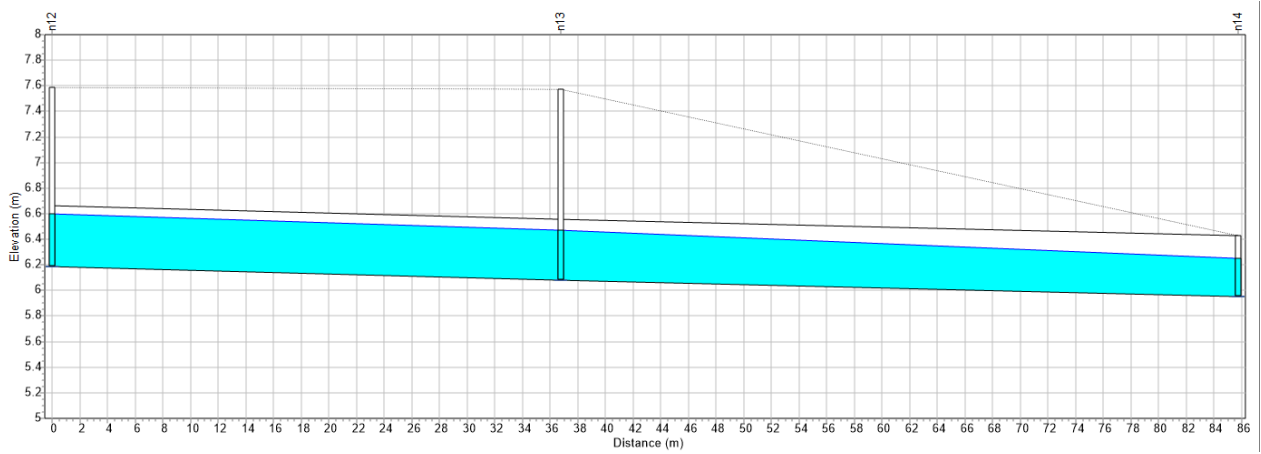
- El diseño de las conducciones es tal que se satisface la condición de tirante máximo cuando el nivel en el río es bajo y la descarga es libre (**Ilustración 7**).
- Cuando el nivel en el río es alto, algunos tramos de colector trabajan a presión y las regueras tienen margen de conducción previo a que se produzcan desbordamientos en el sistema (**Ilustración 8**).

A continuación se presentan los perfiles hidráulicos máximos en los colectores pluviales, de acuerdo a la condición de borde en el río.

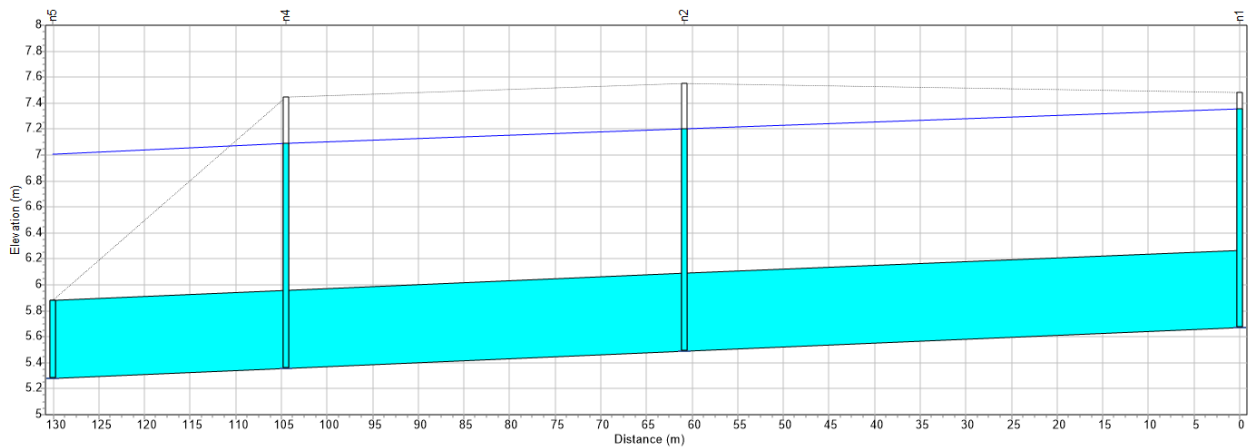
**Ilustración 9 – Perfil longitudinal del colector sur (descarga libre)**



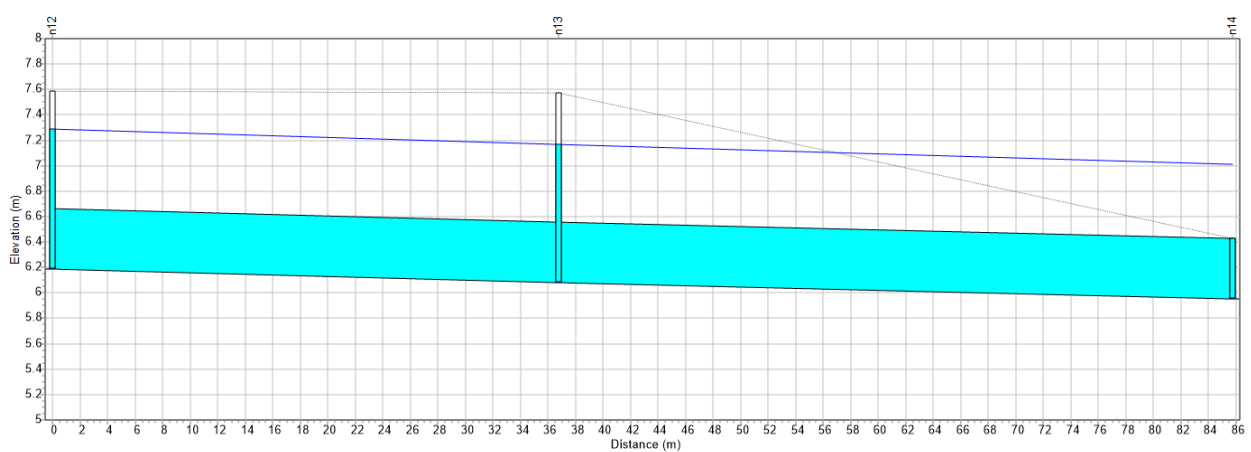
**Ilustración 10 – Perfil longitudinal del colector norte (descarga libre)**



**Ilustración 11 – Perfil longitudinal del colector sur (descarga ahogada)**



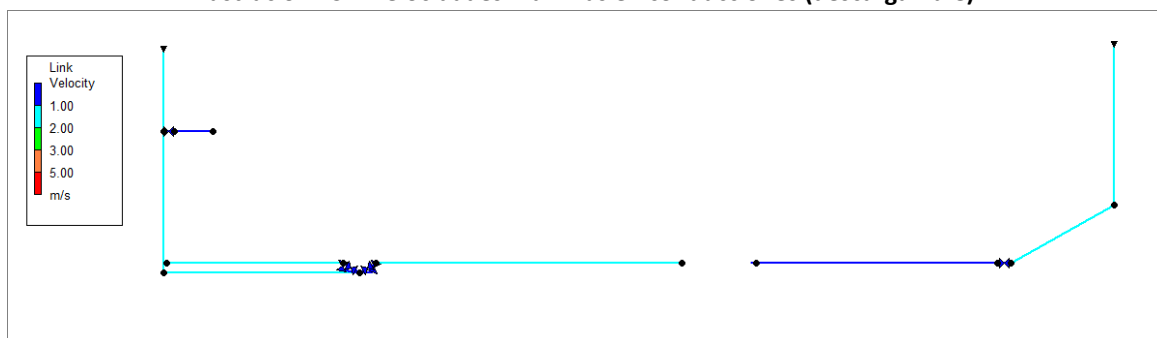
**Ilustración 12 – Perfil longitudinal del colector norte (descarga ahogada)**



#### 4.2.2 Velocidad máxima

La figura siguiente presenta las velocidades máximas alcanzadas en el sistema. Éstas se sitúan por debajo de la velocidad máxima admisible (5 m/s).

**Ilustración 13 – Velocidades máximas en conducciones (descarga libre)**





#### 4.2.3 Desbordes en el sistema

Para la condición de diseño más crítica, no se tienen desbordes en el sistema (flooding=0,0 L/s en nodos).

#### 4.3 Conclusiones

Se tiene que para cada una de las componentes del proyecto (regueras y colectores) se cumplen los criterios de buen funcionamiento hidráulico.

p. CDS Ingenieros



**Andrea Pintos Traversa**  
Ingeniera Civil H&A