



## **EVALUACIÓN DE OBRAS DE PROTECCIÓN EN SAN JOSÉ DEL GUAVIARE, COLOMBIA**

**Danny O. Naranjo L.**

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia  
donaranjol@udistrital.edu.co

### **RESUMEN**

La fuerte dinámica que se presenta en la curva externa de uno de los meandros de río Guaviare donde se localiza el casco urbano del municipio de San José del Guaviare por procesos de erosión y sedimentación ha generado variaciones morfológicas importantes en todo su entorno que han amenazado la estabilidad de las orillas de la población y el estrangulamiento del mismo.

En la evaluación de alternativas de obras de protección para esta población, se presenta una tipología de obras de estabilización de orilla conformadas por un enrocado de protección y una cortina de pilotes, y un campo de tres espolones como obra de encauzamiento para lo cual en su diseño se consideraron caudales característicos, fluctuación de niveles, magnitud de velocidades, esfuerzos cortantes, procesos geomorfológicos y características geotécnicas del material del talud.

Así mismo este trabajo presenta los resultados del monitoreo estructural de su funcionamiento.

### **ABSTRACT**

The strong dynamics that shows up in the external curve of one of the river bends Guaviare where the urban helmet of the municipality of San José del Guaviare is located by erosion processes and sedimentation has generated morphological important variations in all its environment that have threatened the stability of the population's banks and the strangulation of the same one.

In the evaluation of alternative of protection works for this population, shows up a tipology of works of bank stabilization conformed by a castled of protection and a curtain of piles, and a field of three bendway weirs like street channeling work for that which were considered characteristic flows, fluctuation of levels, magnitude of speeds, sharp efforts, geomorphological processes and geotechnical characteristic of the material of the bank in their design.

Likewise this work presents the results of the structural monitoring of their operation.

## INTRODUCCIÓN

El casco urbano del municipio de San José del Guaviare se ubica en la curva externa de uno de los meandros de río Guaviare. La dinámica continua de erosión y sedimentación que presenta el meandro ha generado variaciones morfológicas importantes en los últimos años obligando al estado colombiano a realizar inversiones con el fin de evitar el estrangulamiento del mismo ya que en períodos de crecientes es habitual que el río busque el camino más corto y recto poniendo en evidencia esta problemática.

En el año 2003 se construyó sobre la orilla izquierda al inicio del meandro una batería de espolones algunos de los cuales se localizaron aguas arriba de la bifurcación que presenta el río Guaviare y otros aguas abajo en el brazo izquierdo secundario con el fin de evitar que por este canal en el escenario de niveles de inundación, se presentara conexión de aguas con el canal del tramo final del meandro generando el corte del meandro y por ende el aislamiento de la población de San José del Guaviare.

Aunque las obras construídas han logrado mitigar dicho proceso, en algunos sectores del meandro se observan procesos erosivos fuertes que amenazan algunas orillas afectando su talud y las islas ubicadas en la zona del meandro, lo cual ha venido causando un cambio en la curvatura del río.

Sobre la margen derecha, en el inicio del casco urbano de San José de Guaviare, se observó un proceso intenso de socavación que ha inestabilizado estas orillas, originando erosión diferencial ya que se afecta un estrato de arenisca de color habano rojizo muy friable sobre la que descansa el estrato superior de arcilla limo arenosa color habano que conforma la formación característica de esta población.

En este sector donde se localiza el Barrio Buenavista de San José al inicio de la curva externa cercana a la población, se presentan procesos erosivos como resultado del ataque frontal de las líneas de flujo por aumento de velocidades generado por la contracción del cauce, los cuales han sido un poco atenuados por los enrocados que las márgenes aun presentan en algunos tramos y que fueron colocados por la Gobernación del Guaviare en años anteriores.

Este mismo ataque del río se observó en el sector comprendido entre el final del enrocado en un punto de control geológico y un punto ubicado unos 30 m. antes del muelle de cabotaje, hacia aguas abajo, en donde se presentan taludes con alta inclinación que el río ha desestabilizado con la remoción continua en aguas medias y bajas de los estratos arenosos que conforman las capas de los taludes inferiores. Durante el proceso erosivo, el flujo remueve y arrastra principalmente las partículas del pie y zona baja del talud de la orilla, con lo que éste tiende a hacerse vertical. Como la margen está formada por material cohesivo arcilloso, arenas y gravas, el talud falla al tender a hacerse vertical, se pueden llegar a formar cavidades al pie del talud antes de que se produzca el colapso, dicha falla se produce ya sea por deslizamiento o por fracturamiento, hasta que el bloque cae dentro de la corriente; después de la falla, la pendiente del talud disminuye y se mantiene así mientras la corriente arrastra todo el material fallado y el ciclo erosivo vuelve a repetirse.



**Figura 1.-** Meandro de San José del Guaviare



**Figura 2.-** Población de San José del Guaviare

En este trabajo se presenta la metodología de diseño de obras de protección y encauzamiento, así como también los resultados del monitoreo de las obras construídas.

## **OBJETIVO**

Desarrollar una metodología de diseño de obras de protección como solución a la problemática detectada de procesos erosivos.

## **METODOLOGÍA**

Para la evaluación de Obras de Protección se desarrollaron los siguientes estudios: Geomorfológico, Hidráulico, Erosión y Socavación, Geotecnia y Suelos, Morfología y dinámica Fluvial.

### **Estudio geomorfológico**

La zona de estudio se encuentra localizada en una planicie con una altura aproximada de 185 m sobre el nivel del mar en la que el amplio valle del río Guaviare está limitado por colinas bajas al norte y al sur, en donde el río ha conformado un curso intensamente meandrificado, con una amplia zona de divagación. En el valle del río se identifica una llanura aluvial donde se han ocurrido innumerables eventos de cambio de cauce, dejando como testigos de su actividad meandros abandonados, lechos de inundación, albardones semilunares cortados y albardones naturales, pantanos y múltiples pequeños cauces o drenajes intermitentes que evacúan las aguas de inundación.

En la zona predomina la erosión lateral sobre la erosión de fondo, especialmente en aguas altas. Los procesos erosivos se reflejan especialmente en las partes exteriores de las curvas de los meandros, generando desprendimientos o deslizamientos traslacionales por pérdidas de apoyo en la base al erodarse los materiales granulares. Los resultados del estudio de fotointerpretación con fotografías de diferentes épocas y con referencia en la localización de las secciones topobatimétricas instrumentadas, identificaron los cambios morfodinámicos de las orillas y sectorizaron los márgenes de acuerdo con los niveles de estabilidad frente a la socavación lateral.

### **Estudio Hidráulico**

Con base en proyecciones hidrológicas realizadas por el Consorcio Caribe<sup>1</sup>, se realizaron los análisis de niveles y caudales máximos para diferentes períodos de retorno.

## Hidrología

Se utilizó la información de dos estaciones en el río Guaviare: San José del Guaviare LM (1988-2004) y Puerto Arturo LG (1978-2011).

Considerando los caudales máximos para diversos períodos de retorno de la cuenca hidrográfica del río Guaviare en la estación limnigráfica Puerto Arturo con área de 36,018 Km<sup>2</sup>, se generaron igualmente los caudales máximos para los mismos períodos de retorno en el mismo río Guaviare en la estación limnimétrica San José del Guaviare con área hidrográfica de 36,283 Km<sup>2</sup>, utilizando el Método de Myer<sup>2</sup> adecuado para cuencas hidrológicamente afines, obteniendo los siguientes caudales máximos:

**Tabla 1.-** Caudales Máximos Instantáneos generados en la estación limnimétrica San José del Guaviare sobre el río Guaviare (m<sup>3</sup>/s)

ÁREA (Km <sup>2</sup> )	PERÍODO DE RETORNO (años)					
	2.33	5	10	20	50	100
36,283	4,885	5,448	5,798	6,105	6,468	6,722

Los niveles máximos esperados en función del período de retorno para la distribución Log Normal 2 son los siguientes:

**Tabla 2.-** Cota Niveles Máximos Instantáneos generados en la estación limnimétrica San José del Guaviare sobre el río Guaviare (m)

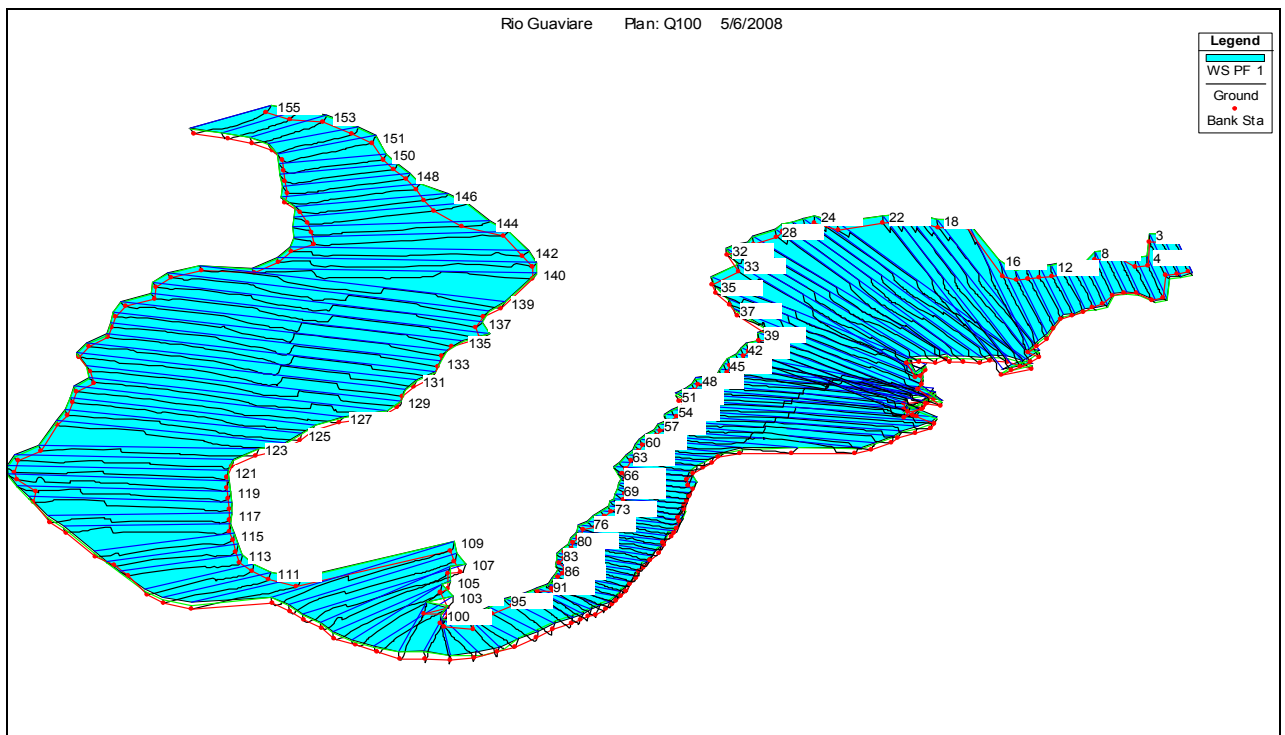
ÁREA (Km <sup>2</sup> )	PERÍODO DE RETORNO (años)					
	2.33	5	10	20	50	100
36,283	183.82	184.21	184.42	184.61	184.82	184.96

## Caracterización Hidráulica

Para hallar los parámetros de dinámica fluvial en el tramo del meandro del río Guaviare en San José del Guaviare, se evaluaron los estudios realizados y especialmente los resultados de la modelación realizada por el Consorcio Caribe en el estudio ya mencionado donde se utilizó el Modelo Matemático Hec-Ras Versión 3.1.3 utilizando las secciones transversales del cauce y el caudal máximo considerado de 100 años de retorno.

<sup>1</sup> “Consultoría para Ajuste y/o Elaboración de Diseños para la Construcción de Obras de Protección. Municipio de San José del Guaviare”.

<sup>2</sup> Apuntes del Proyecto de Construcción de Presas Tomo 1, por Alfonso Alvarez Martínez. E.T.S. Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Madrid, 1.978. pág. 2.25.



**Figura 3.-Modelación con HEC-RAS**

### **Estudio de Erosión y Socavación**

Para hallar la magnitud y características de las protecciones y su evaluación a partir del comportamiento de la dinámica del flujo durante la ocurrencia de crecientes máximas en el río Guaviare, se evaluaron por el método de la fuerza tractiva permisible con base en los resultados de la caracterización hidráulica del Modelo Hec-Ras, en las secciones transversales donde están previstas las obras de protección, principalmente los parámetros dinámicos y los esfuerzos actuantes del flujo tanto en el lecho como en las márgenes.

Se calculó la condición crítica de socavación en curvas con la fórmula de Ripley<sup>3</sup> y la Fórmula de la fórmula de Pacheco-Ceballos<sup>4</sup>

Considerando el diseño de espolones, así mismo se hizo el cálculo de la socavación al pie del extremo de estas estructuras por la ecuación de Maza quien utilizó los datos y criterio inicial de Latuischenkov.

Los esfuerzos del flujo en el lecho del cauce para la creciente máxima de 100 años de retorno, se presentan en la siguiente figura.

<sup>3</sup> Ven Te Chow Open Channel Hydraulic

<sup>4</sup> Pacheco- Ceballos Raúl, "Energy losscs and shcar stresscs in channcls bcndls", ASCE volJ 09. No. 6jun/83

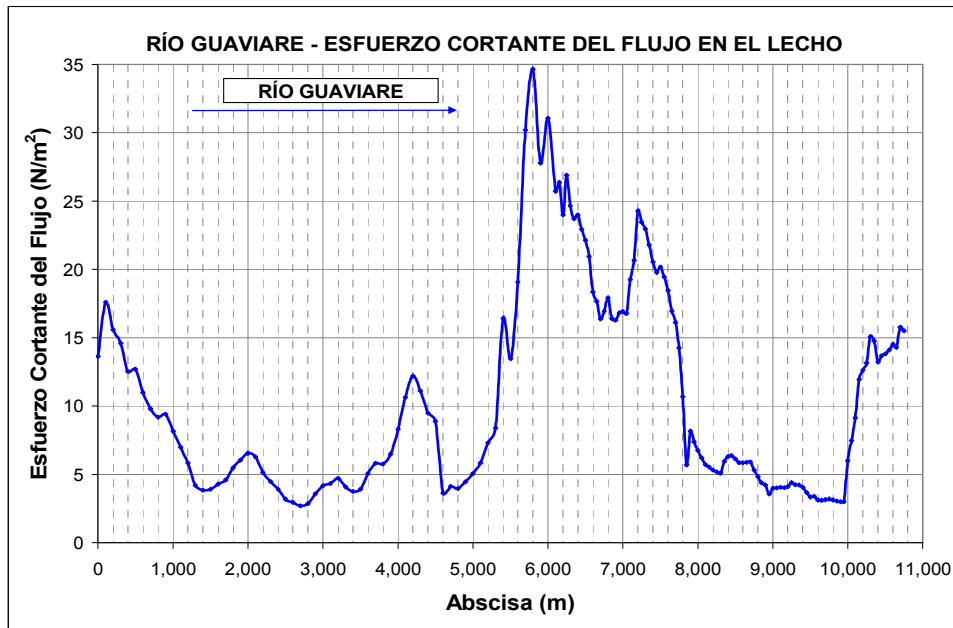


Figura 4.- Esfuerzos Cortantes del Flujo en el Lecho para el Caudal Máximo de 100 años, a lo largo del meandro del río Guaviare según el Modelo Hec Ras.

### *Socavación General en Curvas*

De acuerdo con la batimetría del estudio, la curva presenta un radio general externo de  $r_0 = 1350$  m. un radio al talweg de  $r_c = 1220$  m. y un radio interior  $r_i = 1115$  m.

Considerando que en el sector de estudio, por encima de la cota 185.00 se presentan condiciones de desborde del río, se establece esta cota como el nivel máximo y la curva correspondiente se considera como el límite del área perfectamente encauzada, es decir el caudal por debajo de la cota mencionada, constituye la condición crítica de socavación, la cual se puede calcular utilizando la fórmula de socavación en curvas de Ripley

$$y = 6.35 D \left( \sqrt{0.437 - x^2/T^2} - 0.433 \right) (1 + xK / r_0) \quad (1)$$

$$D = A/B \quad (2)$$

Donde:

- y : profundidad en el punto en m.
- D: profundidad hidráulica o profundidad media en m.
- x : distancia al centro de la sección en m.
- T: ancho de la corriente en m.
- K: constante para ríos aluviales =17.65
- $r_0$ : radio de curvatura externa en m.
- A: área hidráulica
- B: ancho superior

Datos:

$$D = 8.41 \text{ m.}$$

$$x = 188.4 \text{ m.}$$

T = ancho de la corriente en m.

$$K = 17.65$$

$r_0 = 1350 \text{ m.}$

$A = 3221 \text{ m.}$

$B = 382.8 \text{ m.}$

En el centro de la sección la profundidad  $y = 1.445 D$  o sea  $Y = 12.15 \text{ m.}$

Se obtuvo el valor de  $y = 1.51 \text{ m.}$ , en el borde del talud en el sector donde se localiza la cortina de pilotes.

Para el cálculo de la máxima socavación en la sección se consideró  $x = 90$  y obtuvo  $y = 19.69 \text{ m}$  que corresponde a la cota de  $165.31 \text{ msnm.}$ , con una profundidad que se presenta a  $90 \text{ m.}$  de la orilla protegida, por lo cual no amenaza la estabilidad de la cortina de pilotes.

Por la fórmula de Pacheco-Ceballos

$$h_{max} = 1.06(r_0 r_c / r_i^2) D \quad (3)$$

Para la condición calculada se obtuvo un  $h_{max} = 11.80 \text{ m.}$  que corresponde a la cota  $173.2 \text{ msnm.}$ , similar al calculado con la fórmula de Ripley para el valor de socavación en el centro del cauce.

### **Obras de Protección**

De acuerdo con los análisis morfológicos y de dinámica fluvial en el área del casco urbano municipal, se establecieron dos sectores donde se deben realizar obras de estabilización de orillas ante los fuertes procesos erosivos detectados (sector del barrio Buenavista y sector comprendido entre el Barrio Buenavista y el Muelle de Cabotaje). Un enrocado de protección en el primer tramo y una estructura de estabilización marginal en el segundo tramo, conformada por una cortina de pilotes con diámetro de 7 pulgadas arriostrados entre sí en tramos con tuberías de 7 pulgadas de  $12 \text{ m.}$  de longitud, con un relleno en bolsacretos, colocados en hileras en su cara de contacto con el río sobre una malla galvanizada de triple torsión para evitar la socavación local que pueda presentarse durante la etapa constructiva y material común o enrocado en su espaldar con el talud sobre una tela geotextil.

Así mismo se consideró indispensable la construcción de obras de encauzamiento en un sector aguas arriba de los anteriores con el fin de direccionar las líneas de flujo hacia el centro del cauce y por ende disminuir las velocidades y esfuerzos tractivos sobre los márgenes con el consiguiente atenuamiento de los procesos erosivos que se presentan inexorablemente sobre las orillas protegidas de la curva externa cercana a San José del Guaviare

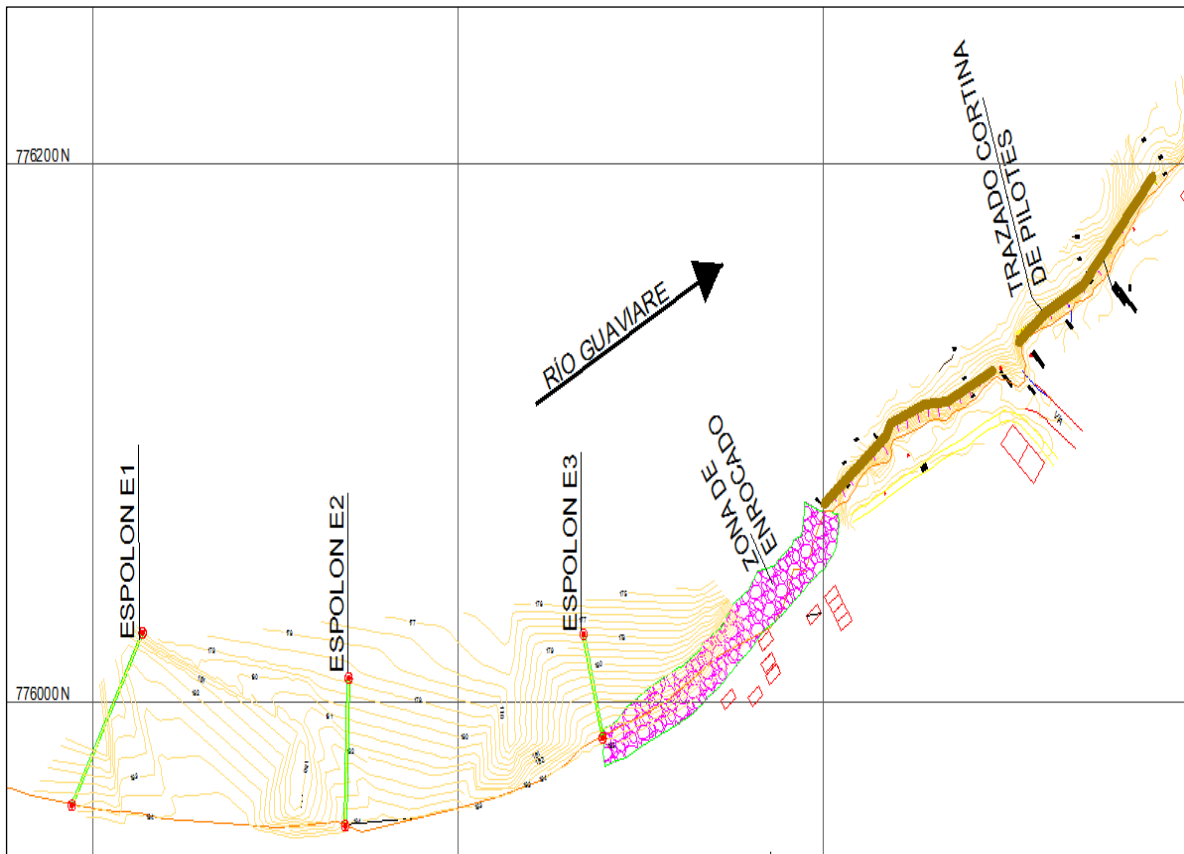


Figura 5.- Obras de Estabilización y Encauzamiento

### Recubrimientos o Muros Marginales

El propósito principal de las obras de estabilización marginal consiste en evitar el contacto directo entre el flujo con alta velocidad y el material que forma la orilla, asumiendo los efectos que puedan causar las altas velocidades y los esfuerzos tractivos críticos, además permiten guiar o conducir el flujo en una dirección deseada y conveniente.

En este proyecto con el fin de evitar los procesos erosivos en la curva exterior del meandro en cercanías de San José se utilizaron dos soluciones: enrocados en el sector del barrio Buenavista y cortina de pilotes con bolsacretos confinados en el sector comprendido entre el barrio Buenavista y el muelle de cabotaje.

#### 1.-Diseño de Enrocados

##### Procedimiento de Cálculo de Lopardo

Con base en la experiencia de Ramette y partiendo del número de movilidad (tensión de corte) de Shields, obtuvo una expresión de cálculo del diámetro estable de un enrocado:

$$D = 0.44 * 1 / (g (\gamma_p - \gamma) / \gamma)^{1.5} * V^3 / \sqrt{H} \quad (4)$$

- D: diámetro de enrocado
- $V_{0.8}$ : velocidad en  $Y=0.8H$
- G: aceleración de la gravedad
- $\gamma_p$ : peso específico de la partícula



$\gamma$ : peso específico del agua  
 $K$ : factor de estabilidad entre el talud y el fondo plano  
 $H$ : profundidad de flujo

$$k = \sqrt{1 - \frac{\sin 2\alpha}{\sin 2\phi}} \quad (5)$$

$V_{0.8} = 1.8$  m/s (medido en campo)

$H = 2$  m.

$\gamma_p = 2.8$  Ton/m<sup>3</sup>

$\gamma = 1$  Ton/m<sup>3</sup>

$\alpha = 27^\circ$

$\phi = 45^\circ$

$g = 9.8$  m/s<sup>2</sup>

Se obtiene:

$D = 0.37$  m

### Procedimiento de Cálculo de Maynard

$$D/h = C Fr^3 \quad (6)$$

$$Fr = V / \sqrt{gh} \quad (7)$$

$D$ : diámetro de enrocado

$C$ : Coeficiente que depende de la inclinación de los taludes de enrocado

$Fr$ : Número de Froude

$H$ : profundidad de flujo

$G$ : aceleración de la gravedad

$V$ : velocidad media de flujo

De acuerdo con los datos:

$Fr = 2.98$

$C = 0.3$

$V = 1.8$  m/s

Se obtiene:

$D = 0.3969$  m

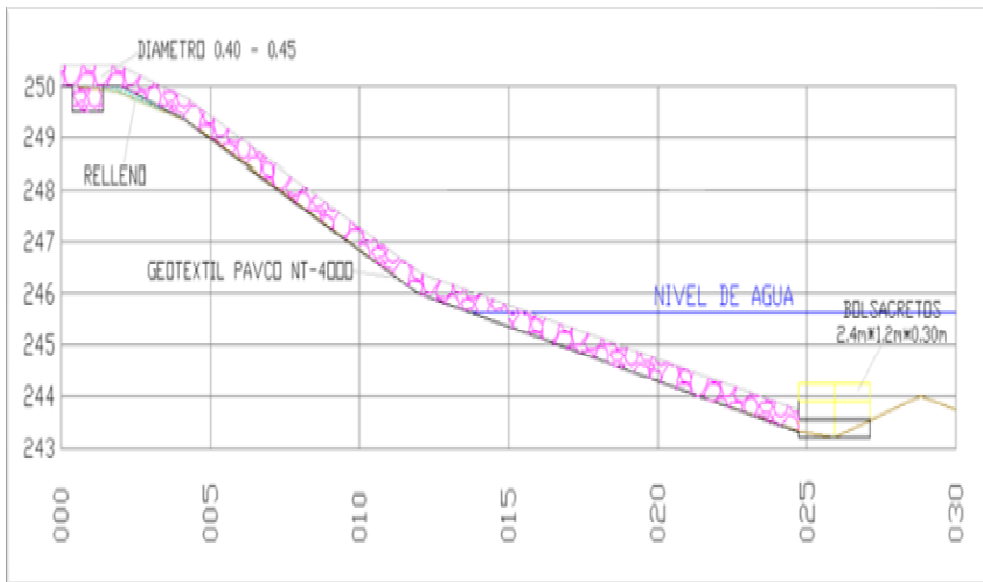


Figura 6.- Enrocado de Protección

### Velocidad de Inicio de Movimiento

Según el ing. O. Diaz-Onofre de la Univ. Braunschweig. Alemania, la velocidad crítica de inicio del movimiento se obtiene por:

$$V = 3 \sqrt{gd \sin(\phi - \alpha) \cos \phi} (\rho h / \rho_s)^{7/40} \quad (8)$$

- V = velocidad media de la corriente
- d = 0.4 m. diámetro de la partícula
- h = 0.1m. tirante del flujo
- $\rho = 1 \text{ t/m}^3$  densidad del flujo
- $\rho_s = 2.8 \text{ t/m}^3$  densidad de la partícula

V = 1.9 m/s –Esta velocidad estimada a 0.10 m del nivel de agua garantiza que el enrocado se mantenga estable ya que solo iniciaría su movimiento cuando se presenten en este nivel velocidades mayores de 1.9 m/s.

V = 3.9 m/s –Esta velocidad estimada a 6.00 m del nivel de agua garantiza que el enrocado se mantenga estable ya que solo iniciaría su movimiento cuando se presenten en este nivel velocidades mayores de 3.9 m/s.

La velocidad de inicio de movimiento de los enrocados solo se presentará en el rango entre estas dos velocidades.

### 2.-Diseño de Cortina de Pilotes

De acuerdo con los análisis realizados se diseñó una obra de estabilización de orilla, conformada por una cortina de pilotes con diámetro de 7 pulgadas arriostrados entre sí en tramos con tuberías de 7 pulgadas de 12 m. de longitud, con un relleno en bolsacretos, los cuales deben ser colocados en hileras para lo cual previamente debe colocarse sobre el talud una tela geotextil y desde la cama del nivel inferior del relleno

se debe tender una malla galvanizada de triple torsión para evitar la socavación local que pueda presentarse durante la etapa constructiva.

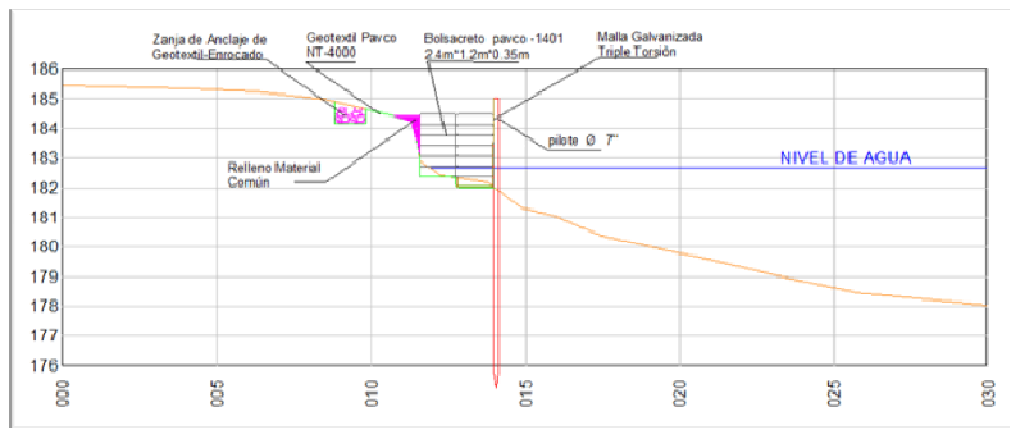


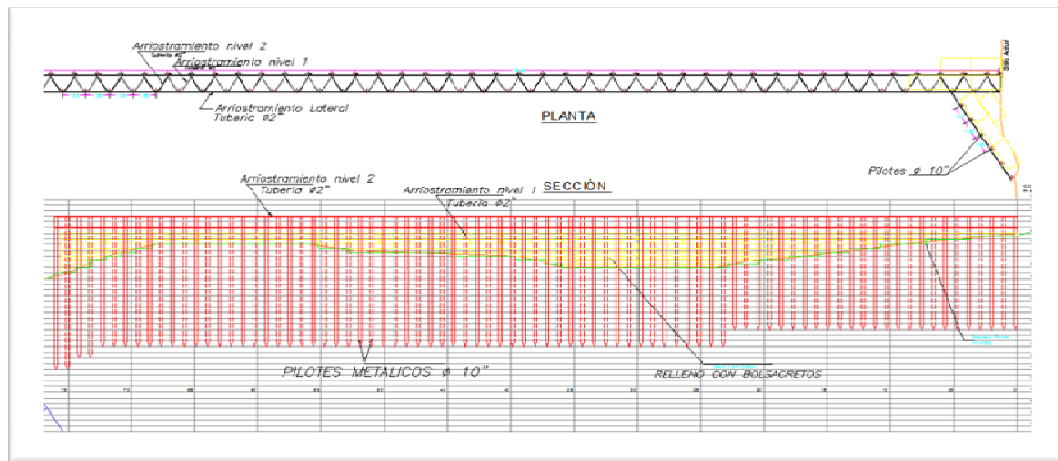
Figura 7.- Cortina de Pilotes Marginal

Para ello, normalmente se perfila la orilla con un talud que permita la colocación fácil y segura del material de protección. Entre este último material y el que forma la margen usualmente se coloca un geotextil. El objeto del filtro es evitar que las partículas finas de la orilla salgan a través de los huecos que puede tener la capa exterior o coraza, que es diseñada para resistir las altas velocidades del flujo. La salida o extracción de las partículas que constituyen la orilla se debe tanto a los vórtices que se generan por la presencia de los elementos de la capa protectora, como al flujo que se produce de tierra hacia el río, por efecto de lluvias intensas sobre la planicie o por descensos frecuentes y considerables del nivel del agua en el río. Los recubrimientos marginales verticales diseñados logran disminuir la intensidad de la corriente y que ésta arrastre las partículas de la orilla. Teniendo en cuenta las evaluaciones del estudio de suelos y las profundidades medidas, se estableció que la longitud de los pilotes debe estar en el orden de los 20 m. con el fin de tener un adecuado empotramiento bajo el nivel posible de socavación calculada.

## Espolones

El propósito de estas estructuras consiste en alejar de la orilla a las líneas de corriente con alta velocidad, y evitar así que el material de la margen pueda ser transportado y ella se erosione. Se diseñó un campo de espolones con el fin de encauzar hacia el centro del cauce las líneas de flujo que se presentan en la curva exterior del meandro en cercanías de San José y atenuar los procesos erosivos que se desarrollan sobre los sectores de protección marginal (enrocado y cortina de pilotes).

Se definió la construcción de tres espolones. Tomando en consideración que no se observan efectos de alta erosión sobre las márgenes, se definió empotrar estas estructuras a la orilla aguas arriba con un elemento conformado por una línea de pilotes en diagonal desde el cuerpo del espolón hacia la margen confinando dentro de ella bolsacretos.



**Figura 8.- Espolón Característico**

## 1.- Localización e Planta

Se trazó el eje del río considerando su rectificación, se establecieron los radios que forman cada curva,  $r = 2.680$  m. (radio principal en zona de espolones).

Restituyendo la curvatura inicial que debió tener esta orilla y considerando una anchura estable con respecto a la orilla izquierda, se trazó la línea extrema de defensa. Todos los espolones se dibujaron a partir de las márgenes y llegando hasta la línea extrema de defensa, obteniendo la longitud final de cada espolón que corresponde a la separación que existe entre esta línea y su margen. La separación entre la nueva línea extrema de defensa y la orilla contraria tiene un ancho del río de 600 m. al inicio del campo y de unos 520 m. al final, esto debido a la contracción del cauce que se presenta en el meandro.

La relación de  $2 B < r < 8 D$  (recomendación del profesor Maza), donde B es el ancho medio de la superficie libre en los tramos rectos, se cumple en el meandro de San José.

## 2.- Longitud de los Espolones

La longitud total ( $L_t$ ) de un espolón queda definida por la longitud de trabajo (LT) que es aquella que está dentro del río y la longitud de empotramiento ( $L_e$ ) que está embebida dentro de la margen.

La longitud de trabajo de los espolones está dada por su distancia entre la margen y la línea extrema de defensa, como ya se mencionó y normalmente debe estar comprendida entre los siguientes límites  $d < L_t < B/4$ , donde d- profundidad del río, asociada al caudal dominante, en el sitio donde se va a construir el espolón.

$d = 5$  m.

$B = 500$  m

$L_t =$  variable entre 40 m. y 75 m (espolones diseñados)

Con el fin de asegurar que no se vaya a presentar erosión sobre la orilla donde se inicie la construcción del espolón se diseñó aguas arriba del mismo una cortina de lateral de

pilotes con bolsacretos confinados a manera de punto de endurecimiento marginal que no permita ningún proceso erosivo.

E1=75 m. E2=60.13 m. E3=39.78 m.

### **3.- Forma de los Espolones en Planta**

Se escogieron espolones rectos.

### **4.- Separación entre Espolones**

Para calcular la separación entre dos espolones se consideró la expansión teórica que sufre la corriente al pasar frente al extremo del espolón Normalmente se considera que el ángulo de expansión ( $\beta$  varía entre 9 y 11°). Dicho ángulo se mide en la punta del espolón, con respecto a la tangente a la línea extrema de defensa. En el diseño del campo de espolones se consideró como límite de separación entre espolones el valor de 2.5 Lt

Entre E1 y E2=150.0m Entre E2 y E3=145 m.

### **5.- Pendiente Longitudinal, Elevación y Ancho de la Cresta de los Espolones**

Los espolones permeables diseñados tienen su corona horizontal longitudinalmente.

### **6.- Orientación de los Espolones**

En este campo de espolones se definió la orientación en el rango  $\alpha = (80^\circ - 90^\circ)$

### **7.- Permeabilidad de los Espolones**

Considerando que el campo de espolones debe atenuar los efectos hidrodinámicos del flujo erosivo sobre la orilla sin generar cambios morfológicos notables aguas abajo, se escogieron los espolones permeables conformados por una línea de pilotes con bolsacretos confinados en un 60%.

Estos espolones permeables con el tiempo pueden perder permeabilidad debido a toda la basura, ramas y troncos que llegan a detener. Por ello se diseñaron para resistir el empuje del agua en esas condiciones.

Los espolones permeables diseñados tienen una separación máxima de 150 m.

### **8.- Materiales de Construcción**

Considerando las características de arrastre del río Guaviare durante grandes avenidas se definió la alternativa ya referida de espolones con pilotes metálicos y bolsacretos para soportar la velocidad de la corriente, los esfuerzos tractivos y sobre todo para resistir el impacto directo de troncos o árboles.

## 9.- Socavación Local al Pie de Espolones

Para obtener la socavación al pie de la cabeza de un espolón, se utilizó la ecuación que fue obtenida por Maza quien utilizó los datos y criterio inicial de Latuischenkov. Dicha relación establece

$$d_e = 0.855 d_0 (4.17 + L_n Q_1/Q) e^{(0.0028^a - 0.24k)} \quad (9)$$

Se determinó calcular la socavación en el espolón E1 considerando que presenta la mayor profundidad en su cabeza.

- De: profundidad máxima en la zona erosionada al final del espolón, medida desde la superficie, asociado al gasto Q
- d<sub>0</sub>: profundidad del flujo en una zona cercana al extremo del espolón no afectada por la erosión, asociado al gasto Q (d<sub>0</sub> = 10m.)
- a: ángulo entre el eje longitudinal del espolón y la dirección del flujo, medido hacia aguas abajo (a = 85 °)
- k: talud del extremo del espolón. Es igual a k = cot α, en que α es el ángulo que forma el talud con la horizontal. K = =.36 )
- Q<sub>1</sub>: caudal teórico que podría pasar por la zona ocupada por el espolón. Para obtenerlo, se obtiene el gasto unitario q = Q/b y se multiplica por la longitud del espolón proyectada en un plano perpendicular a la dirección del flujo (Q<sub>1</sub> = 818 m<sup>3</sup>/s)
- Q: caudal total en el río. Para el cálculo de la socavación se utiliza el caudal, asociado a un período de retorno entre 50 años. El gasto así obtenido es mayor que el dominante y aún puede producir desbordamientos. (Q = 6.550 m<sup>3</sup>/s)

Reemplazando los datos obtenemos  $d_e = 13.63$  m.

## MONITOREO

Se realizó una visita de monitoreo en el tramo donde se construyeron las Obras de estabilización y de encauzamiento, se observó la efectividad de la protección longitudinal construida con enrocado y cortina de pilotes donde se encuentra concentrada la gran mayoría de la ciudad. El enrocado se observó aun en buen estado y manteniendo los taludes iniciales como se observa en la Figura 10 la cortina de pilotes con sus bolsacretos presenta la estructura sin alteraciones como se puede observar en la Figura 9.

Se observó así mismo que la batería de los espolones construída ha trabajado adecuadamente frente del barrio Buenavista encauzando el cauce principal hacia el centro del río Guaviare pero se pudo apreciar que el lleno de los núcleos que se había hecho hasta el 60% del volumen total con bolsacretos se ha desocupado y además el Espolón E1 presenta arqueada la cabeza del mismo como se puede observar en la Figura 11, por lo cual se debe recuperar y así mismo adelantar de nuevo el lleno de estas estructuras hasta la cota de diseño.



**Figura 9.-** Cortina de Pilotes



**Figura 10.-** Enrocado



**Figura 11.-** Espolón E1



**Figura 12.-** Espolón E2

## **Conclusiones y Recomendaciones**

- El enrocado y la cortina de pilotes construidos demostraron su eficiencia para contrarrestar los efectos erosivos del río Guaviare frente al casco municipal.
- El campo de espolones cumplieron su función de encauzamiento del río alejando de las orillas de la población el flujo concentrado erosivo y su deterioro corresponde a las cargas de trabajo de estas estructuras especialmente en el tránsito de las crecientes. Se recomienda la restitución del llenado de los núcleos hasta un 60% por ciento y reforzarlos estructuralmente mediante arriostramientos longitudinales y transversales.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**Ieh-Grucon** (2001). Informe Técnico IT - 01, “Estudio y Diseño de Obras de Protección y Mitigación contra la Erosión en el Meandro San José del Guaviare”.

**Ingeproyect Ltda.** (2007). “Estudios y Diseños de Obras de Protección en San José – Guaviare”.

**Consorcio Caribe** (2008). “Consultoría para Ajuste y/o Elaboración de Diseños para la Construcción de Obras de Protección. Municipio de San José del Guaviare”.



Instituto de Recursos Hídricos



Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías



Universidad Nacional de Santiago del Estero



Instituto Nacional del Agua



Subsecretaría de Recursos Hídricos



Agencia Nacional de Promoción Cient. y Tec.



Gobierno Prov. de Santiago del Estero



Ministerio de la Producción



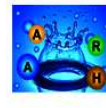
Secretaría del Agua



Secretaría de Desarrollo, Ciencia y Tecnología



Consejo Prof. de la Ingeniería y Arq.



Asociación Argentina de Recursos Hídricos



Asoc. Internacional de Investig. Hidroamb.



Comisión Regional del Río Bermejo



CORPORACION ARGENTINA TECNOLÓGICA s.a. INGENIERIA CIVIL E HIDRAULICA

