

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN EL CÁLCULO Y ANÁLISIS DE CAUDALES EN EL CRUCE DEL  
POLIDUCTO ECOPETROL CON EL CAÑO PALENQUE Y CAÑO LA FATIGA PARA  
DETERMINAR LA ZONA DE INUNDACION Y SOCAVACION EN DIFERENTES PERIODOS DE  
RETORNO.**

Por:

**DIEGO ANDRES CHAPARRO CELY**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS



BUCARAMANGA

2013

Informe Final de Trabajo de Grado En Modalidad Práctica

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN EL CÁLCULO Y ANÁLISIS DE CAUDALES EN EL CRUCE DEL  
POLIDUCTO ECOPETROL CON EL CAÑO PALENQUE Y CAÑO LA FATIGA PARA  
DETERMINAR LA ZONA DE INUNDACION Y SOCAVACION EN DIFERENTES PERIODOS DE  
RETORNO.**

**DIEGO ANDRES CHAPARRO CELY**

Trabajo de grado presentado como requisito

Parcial para optar por el título de Ingeniero Civil

Director:

**Ing. LUIS FERNANDO CASTAÑEDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS



BUCARAMANGA

2013

## *Dedicatoria*

*Este trabajo está dedicado a mi  
familia y novia que con su apoyo  
incondicional estuvieron presentes en todo  
momento y a Dios que me dio fortaleza  
para culminar este proceso.*

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico–mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda  
Codirector Carlos Buenahora

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	13
1. METODOLOGIA .....	14
2. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA Y RESULTADOS [1] .....	14
2.1. EVOLUCION DEL CAUCE .....	14
2.1.1. Estudio multitemporal .....	14
2.1.2. Características del cauce .....	14
3.1.4. Clasificación del cauce.....	15
2.1.3. Características de la cuenca.....	16
2.2. ESTUDIO HIDROLOGICO .....	16
2.2.1. Precipitaciones .....	16
2.2.2. Temperatura .....	17
2.2.3. Análisis de frecuencia Caudales Máximos.....	18
2.2.4. Caudales de diseño.....	19
2.3. EVALUACION HIDRAULICA .....	19
2.3.1. Coeficiente de rugosidad de Manning n.....	19
3.3.2. Coeficientes de contracción y expansión .....	20
3.3.3. Idealización del modelo .....	20
3.3.4. Levantamiento del canal .....	20
2.4. ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN.....	21
2.4.1. Socavación General.....	22
3. CONCLUSIONES .....	26
REFERENCIAS .....	27

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico–mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda  
Codirector Carlos Buenahora

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Migración de los meandros hacia aguas abajo.....	14
Figura 2 Esquema general del tipo de cauce.....	15
Figura 3 Esquema general del tipo de cauce.....	15
Figura 4 Coeficiente de escurrimiento según el tipo de área drenada.....	18
Figura 5 Batimetría 3.....	21
Figura 6 Batimetría 5 y batimetría 6 respectivamente.....	21
Figura 7 Resultados extraídos del modelo HEC-RAS.....	23
Figura 8 Resultados extraídos del modelo HEC-RAS.....	23

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico–mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda  
Codirector Carlos Buenahora

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1 Barra lateral en la orilla derecha cerca al cruce.....	15
---	----

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico–mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda  
Codirector Carlos Buenahora

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1 Precipitación máxima en 24 horas valores mensuales multianuales mínimos y medios. Estación Bayunca, PM, 14010030.....	17
Gráfica 2 Precipitación máxima en 24 valores mensuales multianuales máximos. Estación Bayunca, PM, 14010030.....	17
Gráfica 3 Valores máximos anuales de precipitación. Estación Bayunca, PM, 14010030. ....	17
Gráfica 4 Temperatura mínima media mensual. Estación Escuela NAVAL CIOH, CP, 14015030. ....	17
Gráfica 5 Temperatura mínima anual. Estación. Escuela NAVAL CIOH, CP, 14015030. ....	17
Gráfica 6 Temperatura máxima media mensual. Estación Escuela NAVAL CIOH, CP, 14015030. ....	17
Gráfica 7 Temperatura máxima anual. Estación Escuela NAVAL CIOH, CP, 14015030.....	17
Gráfica 8 Curvas de IDF en Lps/ha. Estación Bayunca, PM, 14010030.....	19
Gráfica 9 Esquema de socavación general en el punto de cruce. (Sección 3) .....	26

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico–mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda  
Codirector Carlos Buenahora

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Resumen de tipologías propuestas por Rosgen. ....	15
Tabla 2 Código según la granulometría predominante en el lecho del cauce.....	16
Tabla 3 Características de las cuencas .....	16
Tabla 4 Clasificación de cuencas hidrográficas por su tamaño. ....	16
Tabla 5 Valores de precipitación extremos entre 1974 y 2012. Estación Bayunca, PM, 14010030. ....	17
Tabla 6 Valores de temperatura extremos y medios entre 1983 y 2011. Estación Escuela NAVAL CIOH, CP, 14015030.....	18
Tabla 7 Parámetros y tiempos de concentración. ....	18
Tabla 8 Intensidad en Los/ha. Estación Bayunca, PM, 14010030. ....	19
Tabla 9 Caudal de diseño para diferentes periodos de retorno .....	19
Tabla 10 Coeficientes de rugosidad de manning. ....	19
Tabla 11 Coeficientes de contracción y expansión. ....	20
Tabla 12 Resultados Modelo Hidráulico de Caño Fatiga 100 años a la altura del cruce.....	21
Tabla 13 Calculo del diámetro medio .....	22
Tabla 14 Valores de variables y constantes de socavación. ....	24
Tabla 15 Valores de coeficiente de concentración del cauce $\mu$ (Maza, 1967).....	24
Tabla 16 Valores de coeficientes x y z (Maza, 1967) .....	24
Tabla 17 Valores de $\beta$ (Maza, 1967) .....	24
Tabla 18 Valores de $\psi$ (Maza, 1967).....	25
Tabla 19 Análisis de socavación general, caño fatiga. ....	25
Tabla 20 Socavación general en la sección del sitio de estudio. ....	25

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico–mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda  
Codirector Carlos Buenahora

## RESUMEN TRABAJO DE GRADO PRÁCTICA EMPRESARIAL

**TITULO** PRÁCTICA EMPRESARIAL EN EL CÁLCULO Y ANÁLISIS DE CAUDALES EN EL CRUCE DEL POLIDUCTO ECOPETROL CON EL CAÑO PALENQUE Y CAÑO LA FATIGA PARA DETERMINAR LA ZONA DE INUNDACION Y SOCAVACION EN DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO.

**AUTOR** Diego Andrés Chaparro Cely, diegochaparro2013@gmail.com

**PALABRAS CLAVES** Inundación, Socavación, HEC-RAS, Batimetrías, Periodo de retorno, Caudal, Método racional, Curvas IDF, método Lischtan – Levediev.

Este artículo tiene como finalidad presentar una metodología para determinar la zona de inundación y socavación en un punto del cauce de un río. Además realizar el cálculo y análisis de caudales, plantear la zona de amenaza de inundación y ubicar el poliducto subfluvial respecto a los resultados obtenidos. Para conseguir este objetivo se consultó la bibliografía existente en el tema, además de algunas entidades competentes que suministraron información básica y expertos en la materia que aportaron con su experiencia y conocimiento.

Para estimar el caudal se usó el método racional y la socavación se obtuvo con ayuda del modelo simulado en HEC-RAS y el método Lischtan – Levediev.

El poliducto Cartagena - Baranoa orientado de sur a norte del país, es un ducto que sirve para transportar diferentes fluidos derivados del petróleo. En el sector de estudio, el poliducto cruza caño palenque en cuatro sitios, donde el cauce del río ha dejado expuestos los tubos, debido a la divagación y erosión presente.

Por tal razón se decide como solución la construcción de una variante, que garantice el paso de la tubería por un sector aldeaño, lo suficientemente alejado del anterior, de tal forma que no se vea afectado por las condiciones que presenta dicho caño. La variante propuesta, cruza un afluente del caño palenque, de nombre caño La Fatiga en un solo sitio y sigue su rumbo más adelante, donde se empalma con la ruta normal del poliducto en mención.

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico–mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda  
Codirector Carlos Buenahora

## ABSTRACT

**Title** ACADEMY PRACTICE IN THE CALCULATION AND ANALYSIS OF FLOW AT THE JUNCTION OF THE ECOPETROL WITH THE PALENQUE AND SPOUT OIL PIPELINE FATIGUE TO DETERMINE THE AREA OF FLOODING AND SCOUR AT DIFFERENT RETURN PERIODS.

**Author** Diego Andrés Chaparro Cely, DiegoChaparro2013@gmail.com

**Keywords** Flood, scour, HEC-RAS, bathymetry, period return, flow, rational method, IDF curves, method Lischtan - Levediev.

### Project Brief:

This article aims to present a methodology for determining the area of flooding and scour at a point in a river. In addition perform the calculation and analysis of flow, pose the threat of flood area and locate the subfluvial pipeline regarding the results. To achieve this objective, the existing literature on the subject, as well as some relevant entities that provided background information and experts in the field who contributed with their experience and knowledge was consulted.

To estimate the flow rate the rational method was used and the undermining was obtained with the help of the model simulated in HEC-RAS and the Lischtan - Levediev method.

The pipeline Cartagena - Baranoa oriented from South to North of the country, is a duct which serves to transport different fluids from petroleum. In the field of study, the pipeline crosses cano palenque in four sites, where the river has left exposed pipes, due to the digression, and this erosion.

For this reason decides as a solution the construction of a Variant, which ensure pipe to pass through an area nearby, far enough away from the previous one, in such a way that is not affected by the conditions presenting the spout. Proposed variant, crosses a tributary of Caño, palenque's name Caño La fatigue in one place and continues its course later, where it joins the normal route of the oil pipeline in mention.

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico-mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda  
Codirector Carlos Buenahora

## PRÁCTICA EMPRESARIAL EN EL CÁLCULO Y ANÁLISIS DE CAUDALES EN EL CRUCE DEL POLIDUCTO ECOPEPETROL CON EL CAÑO LA FATIGA PARA DETERMINAR LA ZONA DE INUNDACION Y SOCAVACION EN DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO.

DIEGO ANDRÉS CHAPARRO CELY

### RESUMEN

Este artículo tiene como finalidad presentar una metodología para determinar la zona de inundación y socavación en un punto del cauce de un río. Además realizar el cálculo y análisis de caudales, plantear la zona de amenaza de inundación y ubicar el poliducto subfluvial respecto a los resultados obtenidos. Para conseguir este objetivo se consultó la bibliografía existente en el tema, además de algunas entidades competentes que suministraron información básica y expertos en la materia que aportaron con su experiencia y conocimiento.

Para estimar el caudal se usó el método racional y la socavación se obtuvo con ayuda del modelo simulado en HEC-RAS y el método Lischtan – Levediev.

### PALABRAS CLAVES

Inundación, Socavación, HEC-RAS, Batimetrías, Periodo de retorno, Caudal, Método racional, Curvas IDF, método Lischtan – Levediev.

### NOMENCLATURA

<i>HEC-RAS</i>	Hydrologic Engineering Centers River Analysis System
<i>IDF</i>	Curvas intensidad, duración y frecuencia.
<i>CIOH</i>	Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas
<i>LANDSAT</i>	LAND tierra y SAT satélite

### INTRODUCCIÓN

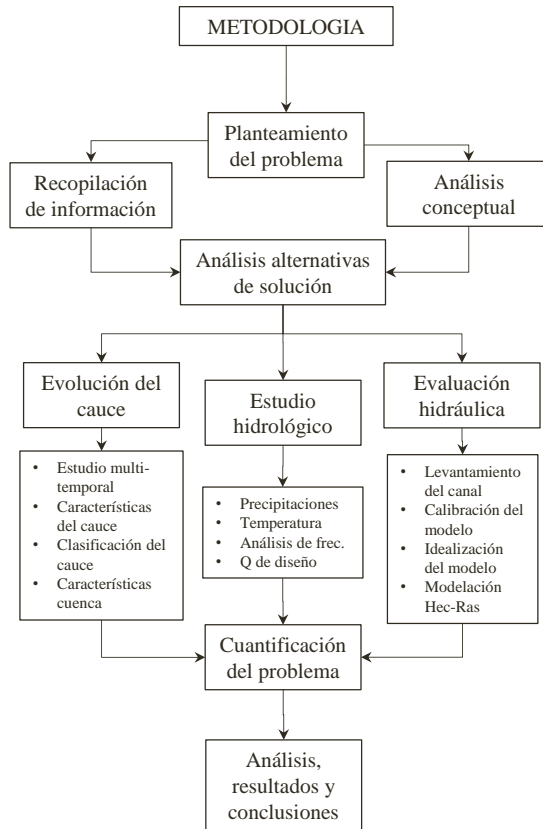
El poliducto Cartagena - Baranoa orientado de sur a norte del país, es un ducto que sirve para transportar diferentes fluidos derivados del petróleo. En el sector de estudio, el poliducto cruza caño palenque en cuatro sitios, donde el cauce del río ha dejado expuestos los tubos, debido a la divagación y erosión presente. Por tal razón se decide como solución la construcción de una variante, que garantice el paso de la tubería por un sector aledaño, lo suficientemente alejado del anterior, de tal forma que no se vea afectado por las condiciones que presenta dicho caño. La variante propuesta, cruza un afluente del caño palenque, de nombre caño La Fatiga en un solo sitio y sigue su rumbo más adelante, donde se empalma con la ruta normal del poliducto en mención. Estos dos caños, presentan condiciones similares y para efectos de su evolución y características se analizan los dos cauces, en cuanto al estudio hidrológico, hidráulico y de socavación, se establecerá únicamente para caño fatiga, pues es el directamente implicado en el cruce para la construcción de la variante.

Se cuenta con muy poca información cartográfica de la zona en estudio como para detallar la evolución en cuanto a la divagación del caño la fatiga, debido a que la zona cuenta con la presencia de grupos al margen de la ley, es necesario llegar por aire, para lo cual se presentan restricciones de vuelos por índoles militares, por este motivo, se utilizó al máximo la información encontrada a través de otros medios como fotos satelitales históricas e información proveniente del IGAC.

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico–mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda  
Codirector Carlos Buenahora

## 1. METODOLOGIA



## 2. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA Y RESULTADOS [1]

### 2.1. EVOLUCION DEL CAUCE

#### 2.1.1. Estudio multitemporal

Las evidencias de campo muestran la presencia de canales anteriores semiparalelos al cauce actual. La movilidad local del cauce es importante, sin embargo, generalmente se mantiene un solo cauce en ambos casos.

Controles geológicos. Se revisaron posibles afloramientos de roca que pudieran impedir el movimiento del canal, en una determinada dirección o que lo pudieran desviar.

Geometría del canal. Se observó la geometría del canal especialmente ancho y profundidad.

Vegetación. Se obtuvo una distribución espacial, tamaño y tipo de vegetación existente a lo largo de la corriente y en los planos de inundación.

Sedimentos. Se determinaron las fuentes de los sedimentos y las propiedades de los materiales que se obtuvieron en los ensayos de laboratorio.

Factores hidrológicos. Durante el reconocimiento del campo se obtuvo un estimativo del valor de la rugosidad  $n$  de Manning y se revisaron las evidencias de las zonas de inundaciones.

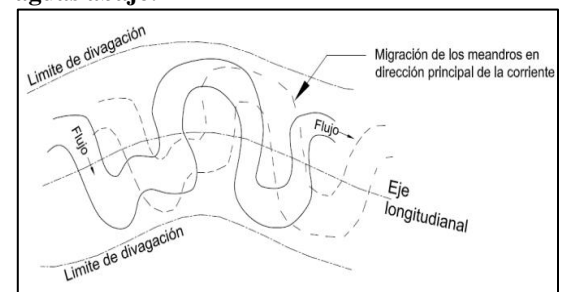
Estructuras existentes. Se analizó la información de dimensiones y características de puentes y estructuras que atraviesan el canal y todas las estructuras que se encuentran en el plano de inundación.

[1] Jaime Suarez, Control de Erosión – Zonas tropicales, Edición Nov. de 2001, Capítulo 3. Erosión en ríos y corrientes de agua, p. 131.

#### 2.1.2. Características del cauce

Al analizar los parámetros, se observa que en Caño Fatiga se ha presentado inestabilidad, especialmente por la migración de las curvas o meandros hacia aguas abajo ver Figura 1, generando problemas de erosión lateral en ambas orillas y cárcavas en la orilla izquierda.

**Figura 1 Migración de los meandros hacia aguas abajo.**



Fuente: Control de erosión en zonas tropicales, Jaime Suarez (2001).

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico-mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda Codirector Carlos Buenahora

El direccionamiento de la corriente siguiendo la pendiente hacia aguas abajo, ayuda a la concentración de velocidades cerca de la orilla después del punto de mayor curvatura, generándose erosión localizada junto a la orilla, la cual equivale a un movimiento general principal de la corriente.

No es posible determinar con la información existente, áreas de divagación; sin embargo, teniendo en cuenta la localización de cauces antiguos, observados a través de imágenes satelitales se estima una divagación de aproximadamente 18 metros para caño fatiga.

Uno de los factores más importantes en el proceso de divagación, es que los materiales del fondo y de las planicies aluviales están constituidos por arenas y gravas muy erosionables.

**Foto 1 Barra lateral en la orilla derecha cerca al cruce.**



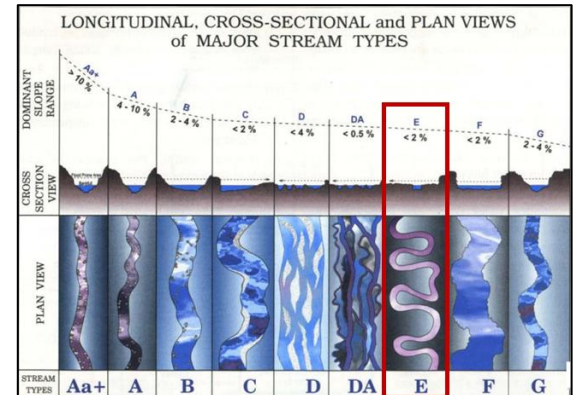
La configuración de la barra es la de un depósito reciente típico de cauces muy inestables.

### 3.1.4. Clasificación del cauce

El cauce de Caño Fatiga es sinuoso según la clasificación de Rosgen (ver Figura 2). Teniendo en cuenta que el rango de pendiente dominante es menor al 2% y que el material de lecho dominante presenta arenas limosas de diámetro de hasta 2mm, las irregularidades del fondo del cauce varían de leves a moderadas (ver Figura 3 Esquema general del tipo de cauce.).

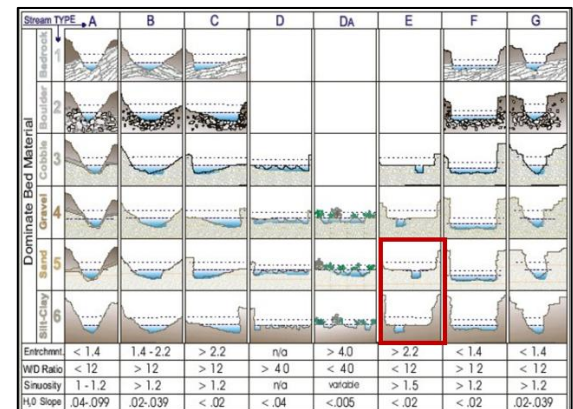
Generalmente hay un solo cauce; sin embargo, este se mueve localmente a través del tiempo, manteniendo siempre una localización general similar con cambios locales.

**Figura 2 Esquema general del tipo de cauce.**



Fuente: Tipología fluvial según Rosgen 1996.

**Figura 3 Esquema general del tipo de cauce.**



Fuente: Tipología fluvial según Rosgen 1996.

**Tabla 1 Resumen de tipologías propuestas por Rosgen.**

Tipología	Características morfológica
A	Salto-resalto (Step-pool) o rápidas. Saltos y cuencos de erosión. Alta energía, baja capacidad de almacenamiento de sedimentos, curso estable.
B	Rápidos (Riffles), rápidas. Algunos pozos de erosión y raramente con barras. Curso estable.
C	Secuencia de rápidos-remansos (Riffle-pool). Meandros, pointbars, planicies de inundación bien desarrolladas, márgenes estables e inestables.
D	Entrelazado (Braided). Múltiples canales, barras alternadas y en evolución, actividad de erosión y sedimentación, alto aporte de sedimentos, alta erosión de márgenes.
DA	Anastomizado. Múltiples canales, secuencia de rápidos-remansos (riffle-pool), planicie de inundación vegetada, tierras pantanosas, márgenes estables.
E	Meandros en praderas. Planicie de inundación bien desarrollada. Secuencia de rápidos-remansos (riffle-pool). Relativa alta capacidad de transporte de sedimentos. Cursos estables.
F	Valle menadriforme. Curso incidido, pobre planicie de inundación. Secuencias de rápidos-remansos (riffle-pool), márgenes estables o inestables.
G	Cárcavas. Incisiones de laderas o praderas, alto aporte de sedimentos márgenes inestables. Secuencia de saltos-resaltos (step-pool).

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico-mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda Codirector Carlos Buenahora

Ampliación resultado de la tipología.

Tipo- logía	Características morfológica
E	Meandros en praderas. Planicie de inundación bien desarrollada. Secuencia de rápidos-remansos (riffle-pool). Relativa alta capacidad de transporte de sedimentos. Cursos estables.

Fuente: A stream classification system ROSGEN, D.L. (1985).

**Tabla 2 Código según la granulometría predominante en el lecho del cauce.**

Código	Descripción	Diámetro (mm)
1	Lecho de roca	---
2	Bloques	> 256
3	Cantos rodados	64 - 256
4	Grava	2 - 64
5	Arena <sub>1</sub>	0.064 – 2
6	Limos/Arcilla	< 0.064

Fuente: A stream classification system ROSGEN, D.L. (1985).

Otras características del cauce

Cauce: Sinuoso con cambios locales a través del tiempo.

Ancho de barras: Variable 1 a 3 metros (barras espirales).

Material del fondo del caño: Limos arcillosos y arenas finas.

Irregularidades del fondo del cauce: moderadas.

Sinuosidad: mayor a 2.0.

### 2.1.3. Características de la cuenca

La cuenca del arroyo Caño Fatiga es un afluente de Caño Palenque y se encuentra ubicada en el departamento de Bolívar, en el Municipio de Santa Rosa de Lima en la vereda de Arenas.

**Tabla 3 Características de las cuencas**

Cuenca	Área [km <sup>2</sup> ]	Perímetro [km]	Longitud [km]	Pendiente [%]
Caño Palenque	5.373	10.954	4.207	2
Caño La fatiga	0.381	2.889	0.975	2

**Tabla 4 Clasificación de cuencas hidrográficas por su tamaño.**

Clasificación	Área [km <sup>2</sup> ]
Grande	>50000
Mediana	1000 - 50000
Pequeña	10 - 1000
Micro cuenca	<10

Fuente: IDEAM

Según la Tabla 4 Clasificación de cuencas hidrográficas por su tamaño. los cauces de caño Palenque y caño La Fatiga clasifican como micro cuencas.

## 2.2. ESTUDIO HIDROLOGICO

Para la realización de este estudio fue necesario comprar información de precipitación y temperatura a las estaciones de Bayunca y la Escuela Naval CIOH ubicada en el municipio de Cartagena.

### 2.2.1. Precipitaciones

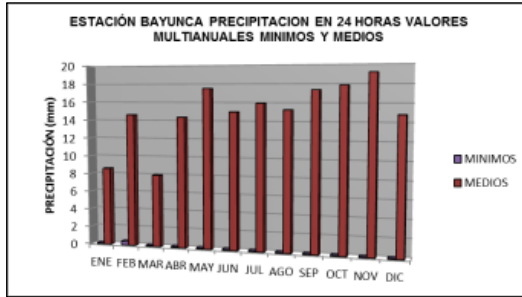
El sitio del presente estudio se encuentra dentro de la cuenca del Arroyo Tabacal, y a la vez en la micro cuenca del Caño Fatiga, afluente del Caño Palenque y se extiende hacia nororiente del municipio de San Rosa de Lima, en el departamento de Bolívar. Esta micro cuenca recoge las aguas de escorrentía de la vereda Franco en el Municipio de Clemencia y de la vereda de Arenas en el Municipio de San Rosa de Lima.

Con los datos suministrados por las estaciones de Cartagena se realizaron las gráficas de:

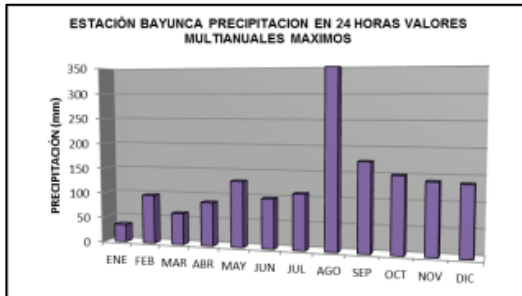
\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico-mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda Codirector Carlos Buenahora

Gráfica 1 Precipitación máxima en 24 horas valores mensuales multianuales mínimos y medios. Estación Bayunca, PM, 14010030.



Gráfica 2 Precipitación máxima en 24 valores mensuales multianuales máximos. Estación Bayunca, PM, 14010030.



Gráfica 3 Valores máximos anuales de precipitación. Estación Bayunca, PM, 14010030.



El análisis de la información hidrológica recolectada muestra los siguientes datos extremos.

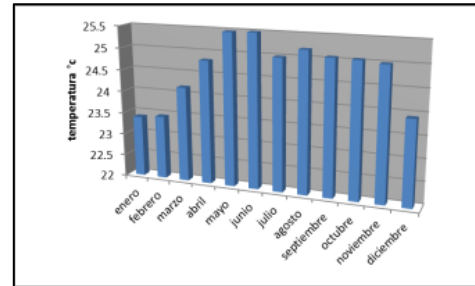
Tabla 5 Valores de precipitación extremos entre 1974 y 2012. Estación Bayunca, PM, 14010030.

Precipitación	[mm]	Fecha
P máxima en 24 hrs	350.0	Agos. 1988
P mínima en 24 hrs	0.1	Oct. 1980
P máxima total	700.6	Oct. 2007
P máxima total anual	2286.3	2010

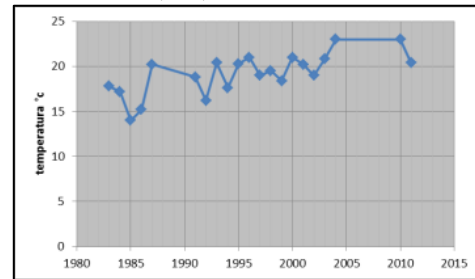
Fuente: IDEAM

## 2.2.2. Temperatura

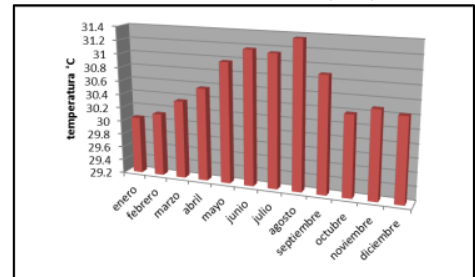
Gráfica 4 Temperatura mínima media mensual. Estación Escuela NAVAL CIOH, CP, 14015030.



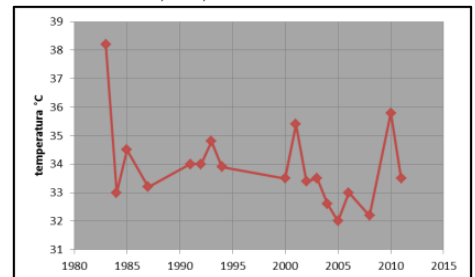
Gráfica 5 Temperatura mínima anual. Estación. Escuela NAVAL CIOH, CP, 14015030.



Gráfica 6 Temperatura máxima media mensual. Estación Escuela NAVAL CIOH, CP, 14015030.



Gráfica 7 Temperatura máxima anual. Estación Escuela NAVAL CIOH, CP, 14015030.



El análisis de la información meteorológica recolectada muestra los siguientes datos:

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico-mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda Codirector Carlos Buenahora

**Tabla 6 Valores de temperatura extremos y medios entre 1983 y 2011. Estación Escuela NAVAL CIOH, CP, 14015030.**

Evento	Valor	Fecha
Temp. máximo	38,2°C	Junio 1983
Temp. media anual	27,67°C	
Temp. mínima	14°C	Abril 1985

Fuente: IDEAM

### 2.2.3. Análisis de frecuencia Caudales Máximos

Uno de los métodos de mayor aplicación para el cálculo de caudales extremos en cuencas pequeñas o medianas es el método racional, que se basa en el concepto de que si una lluvia de intensidad I comienza instantáneamente y continúa indefinidamente, la tasa de escorrentía aumentará hasta que se alcance el tiempo de concentración Tc, tiempo en el cual toda la cuenca está contribuyendo al flujo a la salida de la cuenca. Así, el caudal se expresa como:

$$Q = C * I * A$$

Donde Q es el caudal en m<sup>3</sup>/s, I es la intensidad de la lluvia en Lps/Ha, A es el área que drena en Ha y C es el coeficiente de escorrentía o de impermeabilidad de la cuenca.

El área de las cuencas objeto de nuestro estudio son:

Caño Palenque 537.28 Ha.

Caño Fatiga 38.073 Ha.

**Figura 4 Coeficiente de escurrimiento según el tipo de área drenada.**

TIPO DEL ÁREA DRENADA	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	
	MÍNIMO	MÁXIMO
<b>PRADERAS:</b>		
Suelos arenosos planos (pendientes 0.02 o menos)	0.05	0.10
Suelos arenosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.10	0.15
Suelos arenosos escarpados (0.07 o más)	0.15	0.20
Suelos arcillosos planos (0.02 o menos)	0.13	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.18	0.22
Suelos arcillosos escarpados (0.07 o más)	0.25	0.35

Fuente: Hidráulica de Ven Te Chow

El valor de C (coeficiente de escurrimiento) para períodos de retorno de 100 años utilizado en nuestro estudio es de 0.3 que es el estimado con base en las condiciones de cobertura vegetal y usos de suelo de la cuenca Caño La Fatiga la cual se asocia a praderas (ver Figura 4) además los suelos presentes en la cuenca están conformados por arenas medias y finos (ver Tabla 2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tiempo de concentración Cuenca Caño La Fatiga

**Tabla 7 Parámetros y tiempos de concentración.**

Área aferente	A [Ha]	38.073
Coef. escorrentía		0.3
Longitud cauce	L [m]	975.317
Pendiente cauce	J [%]	0.02

	Tiempo de concentración	Horas
Kirpich	$T_c = 0.000325 * L^{0.77} / J^{0.385}$	0.294
Ven T. Chow	$T_c = 0.274 * (L^{0.64}) / J^{0.32}$	0.943
Giandotti	$T_c = [4 * A^{0.5} + 1.5 * L] / [25.3 * (J * L)^{0.5}]$	1.113
Temez	$T_c = 0.3 * L^{0.76} / J^{0.19}$	0.619

El tiempo de concentración de la cuenca se calculó en base al promedio de los 4 métodos anteriores obteniendo un valor de 44.52 minutos.

La forma general de las ecuaciones para calcular la intensidad media I en mm/hr por el método racional es la siguiente:

$$I = a \frac{T^b}{t^c}$$

Dónde:

I = Intensidad (mm/hr)

t = Duración de la lluvia (min)

T = Período de retorno (años)

a,b,c = Parámetros de ajuste

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico-mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda Codirector Carlos Buenahora

Las curvas de IDF para la Estación Bayunca se presentan a continuación.

**Tabla 8 Intensidad en Los/ha. Estación Bayunca, PM, 14010030.**

Intensidad en lps/ha								
Frecuencia	Duración en minutos							
Años	5	10	20	30	40	44.52	50	60
2	319.25	208.25	135.84	105.80	88.61	82.95	77.22	69.01
5	388.14	253.19	165.15	128.63	107.73	100.85	93.89	83.91
10	449.97	293.51	191.46	149.12	124.89	116.92	108.84	97.27
25	547.06	356.85	232.77	181.30	151.84	142.14	132.33	118.26
50	634.20	413.69	269.85	210.18	176.02	164.79	153.40	137.10
75	691.47	451.05	294.22	229.16	191.92	179.67	167.26	149.48
100	735.22	479.58	312.83	243.65	204.06	191.03	177.84	158.94
500	1036.24	675.94	440.92	343.42	287.61	269.25	250.65	224.01

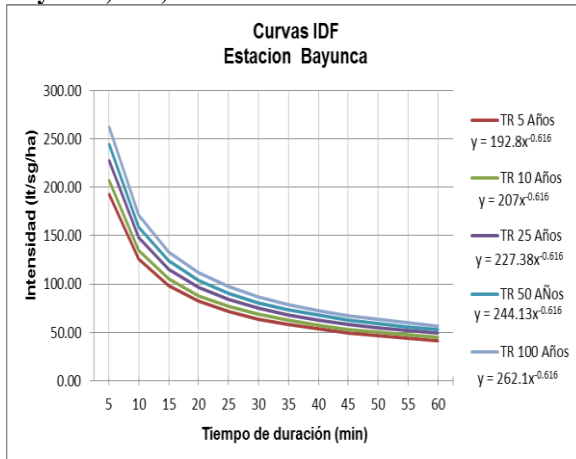
La intensidad calculada para una duración de 44,52 minutos con una frecuencia de 100 años es de 191,03 [Lps/Ha] (ver Tabla 8 Intensidad en Los/ha. Estación Bayunca, PM, 14010030.).

Con los datos de coeficiente de escorrentía y área de la cuenca y para cada periodo de retorno calculamos el caudal:

**Tabla 9 Caudal de diseño para diferentes periodos de retorno**

T [años]	2	5	10	20
I [Lps/ha]	82,95	100,85	116,92	142,1
Q [m3/s]	0,95	1,15	1,34	1,62
T [años]	50	75	100	500
I [Lps/ha]	164,8	179,67	191,03	269,25
Q [m3/s]	1,88	2,05	2,18	3,08

**Gráfica 8 Curvas de IDF en Lps/ha. Estación Bayunca, PM, 14010030.**



#### 2.2.4. Caudales de diseño

Con base en la intensidad, el coeficiente de escorrentía y el área total de la cuenca se determina el caudal de diseño para el sector de estudio.  $Q = C * I * A$

$$C = 0.30$$

$$A = 38.07 \text{ Ha}$$

$$I = 191.034 \text{ Lps/Ha}$$

### 2.3. EVALUACION HIDRAULICA

Teniendo en cuenta su versatilidad, su amplia utilización a nivel mundial, y las facilidades computacionales y de manejo del programa, se seleccionó el modelo HEC-RAS para realizar el análisis de las condiciones de flujo en Caño La Fatiga.

#### 2.3.1. Coeficiente de rugosidad de Manning n

El valor del coeficiente de rugosidad de Caño La Fatiga en el tramo en estudio, será estimado con base en el reconocimiento visual de campo y la utilización de tablas del coeficiente de manning con base en la fórmula presentada por Ven Te Chow en Open Channel Hydraulic, la cual se muestra a continuación:

$$n = (nm + ni + nv + no + nve) * mm$$

**Tabla 10 Coeficientes de rugosidad de manning.**

nm1	Para canales en tierra	0.02
nm2	Para canales en roca cortada	0.025
nm3	Para canales en grava fina	0.024
nm4	Para canales con grava gruesa	0.028
nm5	Para canales en tierra arenosa	0.023

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico-mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda Codirector Carlos Buenahora

ni1	Irregularidad de sección: liso	0
ni2	Irregularidad de sección: menor	0.005
ni3	Irregularidad de sección: moderada	0.01
ni4	Irregularidad de sección: severa	0.02
nv1	Variación entre secciones: gradual	0
nv2	Variación entre secciones: alternante ocasional	0.005
nv3	Variación entre secciones: frecuentemente alterna	0.01
nv4	Variación entre secciones: muy frecuente alterna	0.015
no1	Obstrucciones: despreciable	0.001
no2	Obstrucciones: menor	0.012
no3	Obstrucciones: apreciable	0.025
no4	Obstrucciones: severa	0.055
nve1	Vegetación: Nula	0
nve2	Vegetación: Baja	0.007
nve3	Vegetación: Media	0.017
nve4	Vegetación: Alta	0.037
nve5	Vegetación: Muy Alta	0.075
mm1	Cantidad de meandros: Menor	1
mm2	Cantidad de meandros: Apreciable	1.15
mm3	Cantidad de meandros: Severa	1.3

Fuente: Hidráulica de Ven Te Chow

Para el Caño se tiene:

$$n=(0.024+0.005+0.005+0.01+0.007)*1.00 = 0.051$$

Para las áreas inundables:

$$n=(0.024+0.005+0.005+0.01+0.017)*1.00 = 0.061$$

Se trabaja todo el modelo hidráulico con una rugosidad de 0.051 en canal y 0.061 para áreas inundables.

### 3.3.2. Coeficientes de contracción y expansión

La expansión o contracción de la corriente debido a cambios en la sección transversal produce una pérdida de energía que se evalúa mediante la aplicación de coeficientes.

Los coeficientes se multiplican por el valor absoluto de la diferencia de velocidades entre dos secciones transversales, la cual da la pérdida de energía debido a la transición.

Los valores de estos coeficientes de pérdidas localizadas recomendados en los manuales de usuario de HEC-RAS son los siguientes:

**Tabla 11 Coeficientes de contracción y expansión.**

	contracción	expansión
Transiciones graduales	0.1	0.3
Secciones de puentes	0.3	0.5
Transiciones abruptas	0.6	0.8

Fuente: Hidráulica de Ven Te Chow

Para el estudio actual tomamos los coeficientes correspondientes a transiciones graduales con valores de 0.1 y 0.3 respectivamente (ver Tabla 11), debido a que las secciones analizadas no sufren cambios abruptos según topografía del sector.

### 3.3.3. Idealización del modelo

Las condiciones de flujo estimadas para la modelación de la cuenca de Caño Palenque y Caño La Fatiga son un coeficiente de expansión de 0.3, un coeficiente de contracción de 0.1, un coeficiente de manning para el canal de 0.051 y para las áreas inundables de 0.061, además se calculó una condición de flujo sub-crítica.

Lo siguientes principios de hidráulica se tomarán en cuenta para la idealización teórica del modelo y la simulación del mismo con los caudales estimados en el estudio hidrológico:

### 3.3.4. Levantamiento del canal

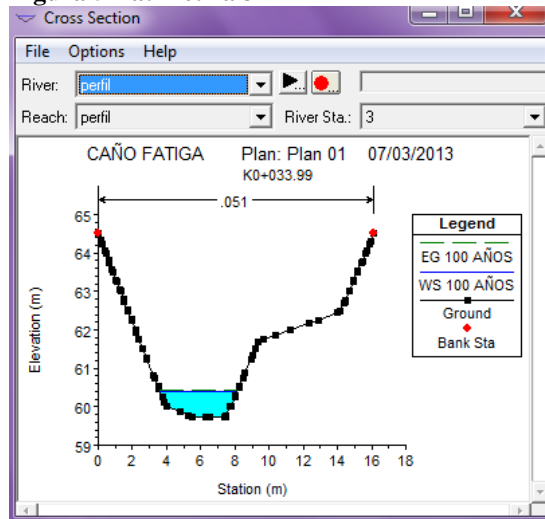
Se llevó a cabo el levantamiento del canal de Caño Fatiga, utilizando elementos topográficos necesarios para la toma de medidas en el sector específico de influencia, con lo que se determinaron 13 secciones del caño.

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico-mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda Codirector Carlos Buenahora

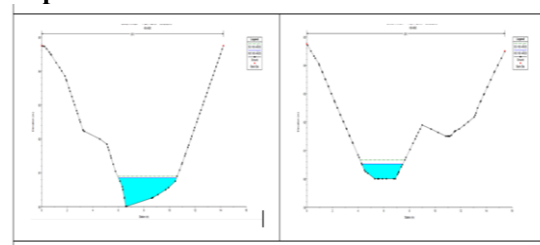
Se simularon dos modelos en HEC-RAS, utilizando valores de caudales para dos periodos de retorno 50 y 100 años y se analizó para el evento más crítico, es decir, para un periodo de retorno de 100 años pues si la sección para este periodo de retorno soportaba este caudal sin que el cauce se desbordara, es obvio que la sección soportaría sin mayor problema para periodos de retorno inferiores.

**Figura 5 Batimetría 3**



Solo se muestra en detalle una de las 13 secciones modeladas en el programa HEC-RAS.

**Figura 6 Batimetría 5 y batimetría 6 respectivamente**



La sección de la batimetría 3, es la más representativa sobre el cauce, es allí, donde el poliducto subfluvial pasará por debajo del nivel del cauce y por debajo del nivel de socavación, garantizando así una profundidad apropiada para no ser expuesto con el transcurrir del tiempo.

**Tabla 12 Resultados Modelo Hidráulico de Caño Fatiga 100 años a la altura del cruce.**

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elv	E.G. Elv	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Ch
	[m <sup>3</sup> /sec]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
13	2.18	61.59	62.47	62.49	0.00199	0.63	3.45	4.91	0.24
12	2.18	61.42	62.1	62.36	0.05016	2.27	0.96	1.86	1.01
11	2.18	61.25	61.79	61.86	0.01129	1.16	1.87	4.08	0.55
10	2.18	61.21	61.6	61.64	0.00974	0.92	2.36	6.92	0.51
9	2.18	60.57	61.21	61.33	0.02581	1.59	1.37	3.48	0.81
8	2.18	60.37	61.09	61.12	0.00468	0.83	2.62	4.93	0.36
7	2.18	60.25	60.97	61.02	0.00591	0.93	2.34	4.24	0.4
6	2.18	60.01	60.85	60.9	0.00616	0.92	2.37	4.55	0.41
5	2.18	60	60.53	60.66	0.02581	1.64	1.33	3.2	0.81
4	2.18	59.74	60.43	60.46	0.00418	0.8	2.73	4.96	0.34
3	2.18	59.72	60.39	60.43	0.00607	0.93	2.35	4.48	0.41
2	2.18	59.5	60.3	60.34	0.00615	0.97	2.26	4	0.41
1	2.18	59.5	60.02	60.13	0.02001	1.49	1.47	3.24	0.71

Fuente: HEC-RAS

Al analizar el modelo hidráulico de Caño Fatiga en el sector de estudio, podemos concluir que para un periodo de retorno de 100 años, no habrá zona potencial de inundación ya que el canal posee secciones transversales que soportan un caudal mayor que el caudal de diseño para 100 años.

#### 2.4. ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN.

El análisis de la socavación tendrá por objeto definir las profundidades máximas ocasionadas por la socavación general producida por el arrastre de las partículas de fondo en el sector de estudio, para realizar el siguiente análisis se toma el caudal para un tiempo de retorno de 100 años; Se analizó la granulometría de las márgenes y el lecho del caño (Estudio Geotécnico) y se decide optar por un diámetro medio de partícula de 0.28mm, ver Tabla 13, dando una clasificación para el cálculo de socavación como suelo de partículas granulares.

El diámetro medio viene dado por

$$D_m = S (D_t * \% \text{ ret en peso})/100$$

Dónde:

D<sub>m</sub>: Diámetro medio en milímetros

D<sub>t</sub>: Diámetro del tamiz en mm de la curva de granulometría

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico-mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda Codirector Carlos Buenahora

% ret en peso: Porcentaje retenido en peso para el diámetro de tamiz

**Tabla 13** Calculo del diámetro medio

Tamiz	Diámetro del tamiz (mm) (1)	Peso retenido (gramos) (2)	% peso retenido (3)	Abertura media (4)	Producto (3) * (4)
3/8"	9.525	0.00	0.00%		
4	4.760	12.10	7.30%	7.14	0.1890
40	0.420	60.90	36.73%	2.59	0.0907
200	0.074	92.80	55.97%	0.25	
	Suma...	165.80	100.00%		0.2797

Muestra: S9 – M4

Luego el diámetro medio = 0,28 [mm]

#### 2.4.1. Socavación General

La evaluación de la socavación general producida por el flujo del agua en el cauce será realizada utilizando la metodología de Lischtan – Levediev.

Según Lischtvan – Levediev (maza, 1967) las expresiones para evaluar la socavación general son las siguientes:

Para suelos granulares:

$$y_s = \left( \frac{\alpha \cdot Y_o^{5/3}}{0.68 D_m^{0.28} \cdot \beta \cdot \psi} \right)^{1/1+Z}$$

Para suelos cohesivos:

$$y_s = \left( \frac{\alpha \cdot Y_o^{5/3}}{0.60 \gamma_s^{1.18} \cdot \beta \cdot \psi} \right)^{1/1+X}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{Q_d}{(H_m)^{5/3} \cdot \beta_e \cdot \mu}$$

$y_s$  = Desnivel entre la superficie del agua, al pasar la avenida y el fondo erosionado.

Se obtiene al aplicar la metodología seleccionada para el análisis de socavación (formulación para suelos granulares).

$y_o$  = Desnivel entre la superficie del agua, al pasar la avenida, y el fondo original (medio antes de la avenida).

Este dato se obtiene de la Tabla 12, que corresponde a los resultados arrojados luego de la simulación del modelo en HEC-RAS y es la diferencia entre el nivel de aguas máximas obtenido con el caudal extremo y el nivel de fondo de la sección tomada del caño.

$y_s, y_o$  = Se miden en cada sección vertical donde se desea hacer el cálculo.

En este caso solo se toman para el punto de menor nivel en la sección 3, que corresponden al punto más crítico en la sección.

$A$  = área hidráulica de la sección. Corresponde al área de la sección 3, ver Figura 8 con el máximo nivel de aguas, resultados del análisis del modelo.

$\beta_e$  = Ancho libre de la superficie al presentarse la avenida.

Este dato corresponde al ancho del flujo en la sección analizada (sección 3), con el máximo nivel de aguas y se toma de la Tabla 12, resultados del análisis del modelo.

$H_m$  = Altura media de la sección.

Este dato se obtiene de dividir el área hidráulica de la sección ( $A$ ) entre el ancho libre de la superficie ( $\beta_e$ ).

$\alpha$  = coeficiente de contracción o distribución de caudal.

Se obtiene de aplicar una de las ecuaciones descritas anteriormente de acuerdo a la metodología para análisis de socavación que se seleccionó en el presente estudio.

$Q_d$  = Caudal del diseño.

Corresponde al caudal obtenido del análisis hidrológico del caño para un periodo de retorno de 100 años.

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico–mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda Codirector Carlos Buenahora

$D_m$  = Diámetro medio; si el material del fondo es friccionante.

Valor asumido del diámetro medio del material de fondo del río de acuerdo a los análisis de granulometría hechos en los estudios en el sector.

$x, z$  = Exponentes en función de  $D_m$  o  $\gamma_s$  según el tipo de material del fondo.

Coefficientes tomados de la Tabla 16, de acuerdo a la metodología seleccionada para el análisis de la socavación en el presente estudio, están en función del diámetro medio de las partículas y del peso volumétrico seco de acuerdo al material del fondo del caño.

$\chi$  = Coeficiente que depende de la concentración del material transportado en suspensión.

Valor tomado de la Tabla 18, que depende de la concentración del material transportado en suspensión (densidad del agua más sedimentos), debido a que no se tienen ensayos de donde tomar el valor se asume el valor más crítico para el análisis de socavación.

$\beta$  = Coeficiente en función de la frecuencia.

Coeficiente tomado de la Tabla 17, depende de la probabilidad en % de que se presente el caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años.

$\mu$  = Coeficiente de contracción.

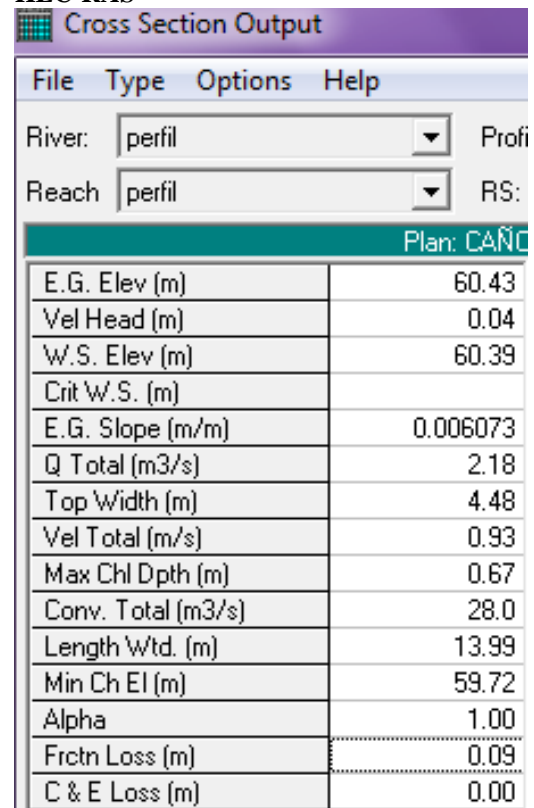
Coeficiente que se toma de la Tabla 15, de acuerdo a la metodología utilizada para el cálculo de la socavación y depende de la velocidad media de la sección para aguas máximas y el ancho libre de la superficie al presentarse la avenida.

$V_m$  = velocidad media del cauce.

Velocidad del cauce para un nivel de aguas máximas, se obtiene de los resultados arrojados en la simulación del modelo Figura 8.

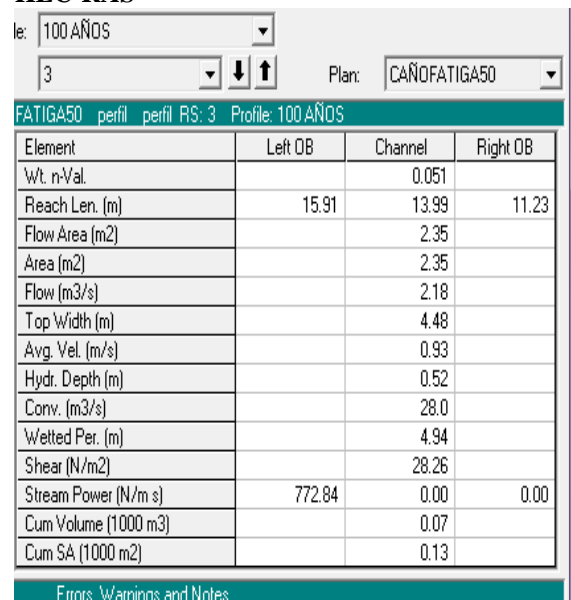
[2] Jaime Suarez, Control de Erosión – Zonas tropicales, Edición Noviembre de 2001 Capítulo 4. Cálculo de la Socavación, p141.

**Figura 7 Resultados extraídos del modelo HEC-RAS**



Cross Section Output	
River:	perfil
Reach:	perfil
Plan: CAÑO	
E.G. Elev (m)	60.43
Vel Head (m)	0.04
W.S. Elev (m)	60.39
Crit W.S. (m)	
E.G. Slope (m/m)	0.006073
Q Total (m3/s)	2.18
Top Width (m)	4.48
Vel Total (m/s)	0.93
Max Chl Dpth (m)	0.67
Conv. Total (m3/s)	28.0
Length Wtd. (m)	13.99
Min Ch El (m)	59.72
Alpha	1.00
Frctn Loss (m)	0.09
C & E Loss (m)	0.00

**Figura 8 Resultados extraídos del modelo HEC-RAS**



Element	Left OB	Channel	Right OB
Wt. n-Val.		0.051	
Reach Len. (m)	15.91	13.99	11.23
Flow Area (m2)		2.35	
Area (m2)		2.35	
Flow (m3/s)		2.18	
Top Width (m)		4.48	
Avg. Vel. (m/s)		0.93	
Hydr. Depth (m)		0.52	
Conv. (m3/s)		28.0	
Wetted Per. (m)		4.94	
Shear (N/m2)		28.26	
Stream Power (N/m s)	772.84	0.00	0.00
Cum Volume (1000 m3)		0.07	
Cum SA (1000 m2)		0.13	

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico-mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda Codirector Carlos Buenahora

**Tabla 14 Valores de variables y constantes de socavación.**

Abscisa	[m]	10.76	10.87	10.98	...
T	Años	100.0	100.0	100.00	...
Q	[m <sup>3</sup> /s	2.18	2.18	2.18	...
A	[m <sup>2</sup> ]	2.35	2.35	2.35	...
Be	[m]	4.48	4.48	4.48	...
Fondo	[m]	60.25	60.13	60.00	...
Elv Max	[m]	60.39	60.39	60.39	...
y	[m]	0.14	0.26	0.39	...
Hm=A/B	[m]	0.53	0.53	0.53	...
Vm	[m/s]	0.93	0.93	0.93	...
Dm	[mm]	0.28	0.28	0.28	...
z		0.41	0.41	0.41	...
m		1.00	1.00	1.00	...
a		1.42	1.42	1.42	...
b		1.00	1.00	1.00	...
G (w+s)		1.05	1.05	1.05	...
y =		1.06	1.06	1.06	...
Ho	[m]	0.14	0.26	0.39	...
Hs	[m]	0.20	0.43	0.69	...
Hs-Ho	[m]	0.06	0.17	0.30	...
Vs	[m/s]	0.25	0.34	0.41	...
Elv	[m]	60.19	59.96	59.70	...

Máximo Altura Socavada	0.63
Nivel de fondo actual del cauce	64.4

**Tabla 15 Valores de coeficiente de concentración del cauce  $\mu$  (Maza, 1967).**

Velocidad	Luz libre en metros					
	10	13	16	18	21	25
Media en	Coeficiente $\mu$					
< 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99
1.50	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98
2.00	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97
2.50	0.9	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96
3.00	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96
3.50	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95
>4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94

Fuente: Control de erosión, Jaime Suarez (2001)

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico-mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda Codirector Carlos Buenahora

**Tabla 16 Valores de coeficientes x y z (Maza, 1967)**

	Suelos granulares		Suelos cohesivos	
	$\frac{1}{1+z}$	z	$\frac{1}{1+x}$	x
d (mm)				
$\frac{1}{1+z}$	0.70	0.43	0.72	0.39
z	0.70	0.42	0.72	0.38
d (mm)	40.000	60.000	90.000	140.000
$\frac{1}{1+z}$	0.71	0.41	0.74	0.36
z	0.71	0.40	0.74	0.35
d (mm)	140.000	190.000	250.000	310.000
$\frac{1}{1+z}$	0.72	0.39	0.75	0.34
z	0.72	0.38	0.75	0.33
d (mm)	190.000	250.000	310.000	370.000
$\frac{1}{1+x}$	0.73	0.37	0.76	0.31
x	0.73	0.35	0.76	0.31
$\gamma_d$	310.000	370.000	450.000	570.000
$\frac{1}{1+x}$	0.74	0.35	0.77	0.30
x	0.74	0.34	0.77	0.29
$\gamma_d$	370.000	450.000	570.000	750.000
$\frac{1}{1+x}$	0.75	0.34	0.78	0.28
x	0.75	0.33	0.78	0.28
$\gamma_d$	450.000	570.000	750.000	1.000.000
$\frac{1}{1+x}$	0.76	0.32	0.79	0.27
x	0.76	0.31	0.79	0.27
$\gamma_d$	570.000	750.000	1.000.000	25.00
$\frac{1}{1+x}$	0.77	0.31	0.79	0.27
x	0.77	0.31	0.79	0.27
$\gamma_d$	750.000	1.000.000	25.00	0.31
$\frac{1}{1+x}$	0.78	0.31	0.79	0.27
x	0.78	0.31	0.79	0.27
$\gamma_d$	1.000.000	25.00	0.31	0.27

Fuente: Control de erosión, Jaime Suarez (2001).

**Tabla 17 Valores de  $\beta$  (Maza, 1967)**

Probabilidad (en % de que se presente el caudal de diseño)	Coeficiente $\beta$
100	0.77
50	0.82
20	0.86
10	0.90
5	0.94
2	0.97
1	1.00
0.3	1.03
0.2	1.05
0.1	1.07

Fuente: Control de erosión, Jaime Suarez (2001).

**Tabla 18** Valores de  $\psi$  (Maza, 1967).

$\gamma$ mezcla agua - sedimento	Coefficiente $\psi$
1.05	1.06
1.10	1.13
1.15	1.20
1.20	1.27
1.25	1.34
1.30	1.42
1.35	1.50
1.40	1.60

Fuente: Control de erosión, Jaime Suarez (2001).

**Tabla 19** Análisis de socavación general, caño fatiga.

ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN GENERAL			
Corriente:	Caño La Fatiga		
Sección :	Sección 3		
Formula método de Lischtan – Levediev			
$H_s = \left[ \frac{\alpha H_o^{5/3}}{0.68 \beta \mu \psi D m^{0.28}} \right]^{(1/(1+z))}$			
T	100 AÑOS	DM	0.28
Q	2.18 M3/S	Z	0.41
A	2.35 M2	$\mu$	1
BE	4.48 M	A	1.424
ELV MAX	60.39 M	B	1
		G (W+S) =	1.05
HM=A/BE	0.525 M	$\psi$	1.06
VM	0.93 M/S		

El valor máximo de socavación general para las condiciones de flujo esperadas es de 0.629 m para un periodo de retorno de 100 años.

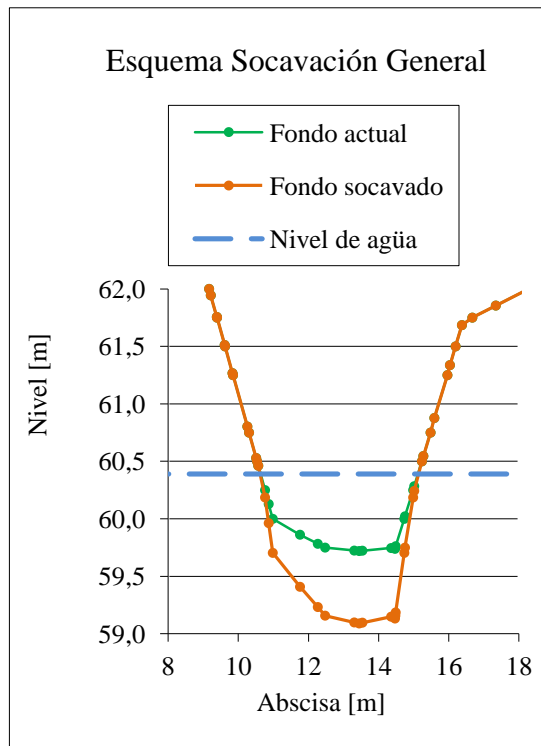
**Tabla 20** Socavación general en la sección del sitio de estudio.

Abcisa	Velocidad de socavación	Profundidad del cauce actual	Profundidad del cauce después de la socavación	Altura socavada [m]
[m]	Vs [m/s]	Ho [m]	Hs [m]	Hs-Ho
10.76	0.247	0.14	0.205	0.065
10.87	0.335	0.261	0.428	0.167
10.98	0.407	0.39	0.687	0.297
11.76	0.472	0.528	0.981	0.453
12.27	0.506	0.607	1.156	0.549
12.48	0.519	0.64	1.23	0.59
13.31	0.529	0.666	1.29	0.624
13.45	0.531	0.67	1.299	0.629
13.54	0.53	0.667	1.292	0.625
14.36	0.521	0.644	1.24	0.596
14.47	0.523	0.651	1.255	0.604
14.48	0.519	0.64	1.23	0.59
14.49	0.514	0.628	1.203	0.575
14.73	0.407	0.39	0.687	0.297
14.75	0.396	0.368	0.641	0.273
14.98	0.247	0.14	0.205	0.065
15.01	0.215	0.106	0.148	0.042

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico-mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda Codirector Carlos Buenahora

**Gráfica 9 Esquema de socavación general en el punto de cruce. (Sección 3)**



### 3. CONCLUSIONES

Se decide la construcción de una variante debido a que el tramo existente cruza en varios tramos el cauce de caño palenque, en un sector donde presenta susceptibilidad alta a la divagación y licuefacción, lo que ocasiona una exposición parcial de los ductos en estos sitios poniendo su integridad en riesgo. Partiendo de esta amenaza, se decide que la mejor forma para solucionar este problema es eludir el tramo con la construcción de una variante en la zona contigua.

El caudal estimado para la simulación hidráulica de caño palenque y caño fatiga es de 17,66 y 2,18 m<sup>3</sup>/s respectivamente, cálculos obtenidos con la información existente de las estaciones

climatológicas y planos de cuencas, cabe aclarar que los resultados en este artículo solo se muestran para el caño la fatiga.

El nivel de aguas máximo esperado en caño La Fatiga es de 62.47 y para Caño Palenque de 50.89 msnm.

El nuevo trazado propuesto para la variante cruza al caño La Fatiga, afluente del Caño Palenque por tal razón se determina la socavación total esperada, ocasionada por la socavación general generada debido al arrastre de las partículas de fondo en la sección de estudio sobre el caño La Fatiga, dando como resultado 0.629 metros, para un periodo de retorno de 100 años, dada las condiciones presentes no se requiere de la construcción de obras de protección.

Como aporte a la empresa se redujo los tiempos de ejecución de actividades y operaciones para el cálculo y análisis de zonas de inundación y análisis de socavación para cruces futuros.

De la práctica empresarial puedo decir que me dejó una visión más amplia de los campos de acción en los que nos podemos desempeñar y las funciones que allí cumplimos.

También amplió mi conocimiento en muchos aspectos sociales, ambientales, teóricos y técnicos, además me brindó la experiencia en salidas de campo, relaciones interpersonales, seguridad dentro y fuera de la empresa, contratación, documentos de administración y de gestión, protocolos de seguridad, etc., etc., que fueron enriquecedores para mi desempeño en la sociedad como en mi vida profesional.

A causa de los convenios que realizamos con la Universidad Industrial de Santander y Geotecnologías y por los beneficios educativos e institucionales que le brinda a la empresa Geotecnologías este convenio se logró afianzar una relación para futuras prácticas empresariales, beneficiando así a ambas partes y a futuros ingenieros civiles.

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico-mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda Codirector Carlos Buenahora

## REFERENCIAS

[1] Jaime Suarez, Control de Erosión – Zonas tropicales, Edición Noviembre de 2001, Capítulo 3. Erosión en ríos y corrientes de agua, p. 131.

[2] Jaime Suarez, Control de Erosión – Zonas tropicales, Edición Noviembre de 2001 Capítulo 4. Cálculo de la Socavación, p141.

[3] Flores I. - Aguirre J. (1978) “Análisis Crítico de los métodos para estimar la socavación en flujo torrencial”. CIDIAT – Universidad de los Andes - Mérida – Venezuela.

[4]Maza J.A. (1967) “Erosión del cauce de un río en el cruce de un puente”. Revista Ingeniería Hidráulica en México. Vol. 21 - No. 1-2.

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad ingenierías físico–mecánicas Escuela ingeniería civil Director Luis F. Castañeda  
Codirector Carlos Buenahora