

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA.  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.**

**TEMA:**

**“ENCAUZAMIENTOS DE RÍOS. PROCEDIMIENTOS DE  
CÁLCULO Y SU ANÁLISIS”.**

**AUTOR:**

**Estupiñán Mendoza, Jean Carlo.**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO CIVIL.**

**Tutor:**

**Ing. Castro Beltrán, Andrés. MSc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**11 de septiembre del 2020**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA.  
CARRERA DE INGENÍA CIVIL.**

## **CERTIFICACIÓN.**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Estupiñán Mendoza, Jean Carlo**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

### **TUTOR.**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. MSc. Castro Beltrán, Andrés Fernando.**

### **DIRECTOR DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. MSc. Alcívar Bastidas, Stefany Esther**

**Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2020**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE INGENIERÍA.**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Estupiñán Mendoza, Jean Carlo.**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Encauzamientos de ríos. Procedimientos de cálculo y su análisis.** Previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2020.**

### **EL AUTOR.**

f. \_\_\_\_\_  
**Estupiñán Mendoza, Jean Carlo**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Estupiñán Mendoza, Jean Carlo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Encauzamientos de ríos. Procedimientos de cálculo y su análisis**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 11 días del mes de septiembre del año 2020**

**EL AUTOR:**

f. \_\_\_\_\_  
**Estupiñán Mendoza, Jean Carlo**

## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** Tesis Estupiñan final.docx (D78676677)  
**Submitted:** 9/6/2020 8:20:00 PM  
**Submitted By:** claglas@hotmail.com  
**Significance:** 3 %

### Sources included in the report:

337-cajahuarina vidalon, jorge vedmar\_.pdf (D36488794)  
1A\_COELLO\_AJNOTA\_JORGE\_TITULO\_PROFESIONAL\_2019.docx (D60376577)  
18044--Semino Valle, Alberto Ivan.pdf (D59945578)  
MEZA-VERASTEGUI-yahaira DHEDR-PALCA-16 oct.docx (D57604760)  
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/7876/9.80.001293.pdf?sequence=4&isAllowed=yCap.7c-9.pdf>  
<https://core.ac.uk/download/pdf/71900247.pdf>  
<https://core.ac.uk/download/pdf/71902021.pdf>  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2264/ICI\\_217.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2264/ICI_217.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

### Instances where selected sources appear:

15

## **AGRADECIMIENTO.**

A Dios y a la Virgen María sobre todas las cosas, porque han obrado, en mi vida, en mi familia y en cada persona que me ha apoyado a lo largo de mi carrera.

A mi mamita, la Dra. Eneyda Azucena Ávila Falcones, quien siempre ha tenido fe en mí y por ello me dedicaba cada uno de esfuerzo.

A mi tío, José Ávila Falcones, por su apoyo incondicional en cada ámbito de mi etapa estudiantil, ayudándome de forma íntegra.

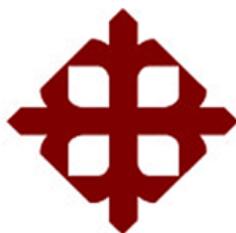
A mi hermano Jean Pierre Estupiñán, por su compañía durante toda mi vida.

A la Lcda. Jacinta Rivera, por su valiosa ayuda moral que me ha permitido forjar carácter y superar adversidades.

A mis padres, familiares, amigos y compañeros que en este caminar universitario han alentado y patrocinado para llegar a esta meta.

## **DEDICATORIA.**

A mi mamita Eneyda Ávila y a mi hermano Jean Pierre Estupiñán, por ser los pilares fundamentales en mi vida quienes han sabido guiarme y apoyarme en los momentos más difíciles de mi carrera estudiantil.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA.  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**ING. MSc. STEFANY ESTHER ALCIVAR BASTIDAS.**  
DIRECTORA DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**ING. MSc. CLARA GLAS CEVALLOS.**  
DOCENTE DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**ING. MSc. XAVIER PLAZA.**  
OPONENTE

FACULTAD FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA INGENIERIA CIVIL  
PERIODO UTE A-2020

**ACTA DE TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN  
TRABAJO DE TITULACIÓN**

En sesión del día 11 de Septiembre de 2020, el Tribunal de Sustentación ha escuchado y evaluado el Trabajo de Titulación denominado "ENCAUZAMIENTO DE RIOS: PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO Y ANÁLISIS", elaborado por el/la estudiante JEAN CARLO ESTUPIÑAN MENDOZA, obteniendo el siguiente resultado:

Nombre del Docente-tutor	Nombres de los miembros del Tribunal de sustentación		
ANDRES FERNANDO CASTRO BELTRAN	STEFANY ESTHER ALCIVAR BASTIDAS	CLARA CATALINA GLAS CEVALLOS	FERNANDO JAVIER PLAZA VERA
Etapas de ejecución del proceso e Informe final			
10 / 10	9.00 / 10	9.00 / 10	9.00 / 10
	Total: 20 %	Total: 50 %	Total: 30 %
Parcial: 50 %	Parcial: 50 %		
Nota final ponderada del trabajo de título: 9.50 / 10			

Para constancia de lo cual los abajo firmantes certificamos.

**Miembro 1 del Tribunal**

**Miembro 2 del Tribunal**

**Oponente**

**Docente Tutor**

## INDICE

<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>V</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>VI</b>
<b>INDICE.....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XIV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XV</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>2</b>
<b>1. GENERALIDADES Y OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 ALCANCE.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 METODOLOGÍA.....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>4</b>
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>5</b>
<b>2. ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. IMPORTANCIA HISTORICA DE LOS RÍOS.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. FUNDAMENTOS DE HIDRÁULICA FLUVIAL.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1. TRANSPORTE Y CLASIFICACIÓN DE SEDIMENTOS.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.1.1. MÉTODO DE MEYER – PETER Y MULLER.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.1.2. PARÁMETRO DE SHIELDS.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1.3. MÉTODO DE ENGELUND.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.2. GRANULOMETRÍA DEL CAUCE.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.2.1. SUELOS COHESIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.2.2. SUELOS NO COHESIVOS Y GRANULARES.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3. MORFOLOGÍA FLUVIAL.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>30</b>
<b>3. ESTUDIOS HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE ENCAUZAMIENTO.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1. HIDROLOGÍA.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2. CONSIDERACIONES PARA OBRAS DE ENCAUZAMIENTOS.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3. OBTENCIÓN Y REGISTRO DE CAUDALES DE DISEÑO.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.1. ANÁLISIS ECONÓMICO.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.2. PERÍODO DE RETORNO.....</b>	<b>33</b>

<b>3.4.</b>	<b>ASPECTOS LEGALES Y TÉCNICOS.....</b>	<b>36</b>
3.4.1.	NORMATIVAS EXISTENTES APLICABLES A ENCAUZAMIENTOS.....	37
3.4.1.1.	NORMATIVA HEC11. ....	37
3.4.1.2.	NORMATIVA DEL MTOP.....	37
3.4.1.3.	NORMATIVA DEL IHE Delft.....	38
3.4.1.4.	NORMATIVAS COLOMBIANAS Y EXTRANJERAS.....	38
<b>3.5.</b>	<b>ELEMENTOS PRODUCTO DE LOS CAUCES Y RÍOS.....</b>	<b>39</b>
3.5.1.	ESCOLLERAS.....	39
3.5.1.1.	MURO DE ESCOLLERAS.....	41
3.5.2.	GAVIONES.....	41
3.5.3.	VEGETACIÓN.....	43
<b>CAPITULO IV.....</b>		<b>45</b>
<b>4.</b>	<b>PROCESOS DE ENCAUZAMIENTOS.....</b>	<b>45</b>
4.1.	ASPECTOS GENERALES.....	45
4.2.	FACTORES A CONSIDERAR.....	47
<b>CAPITULO V.....</b>		<b>49</b>
<b>5.</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO DE LOS CAUCES.....</b>	<b>49</b>
5.1.	TRAZADO DEL CAUCE PRINCIPAL.....	49
5.1.1.	CAUCE POR CARGA DE FONDO.....	49
5.1.2.	CAUCE POR CARGA MIXTA.....	49
5.1.3.	CAUCE POR CARGA EN SUSPENSIÓN.....	49
5.2.	TRAZADO DEL CAUCE POR AVENIDAS.....	50
<b>CAPITULO VI.....</b>		<b>53</b>
<b>6.</b>	<b>TIPOS DE OBRAS DE ENCAUZAMIENTOS.....</b>	<b>53</b>
6.1.	ENCAUZAMIENTO DE RAMBLAS.....	53
6.1.1.	REVISIÓN GENERAL DEL PROCESO.....	53
6.1.2.	MÉTODOS DE CÁLCULO.....	54
6.2.	ENCAUZAMIENTOS CON DIVERSOS AMBIENTES.....	56
6.2.1.	RESTAURACIÓN ECÓLOGICA Y AMBIENTAL.....	57
6.3.	RECOMENDACIONES PARA ENCAUZAMIENTOS URBANOS.....	59
<b>CAPITULO VII.....</b>		<b>60</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>60</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Uppsala de México 1579. ....	6
Figura 2. Recursos económicos dedicados a infraestructura hidráulica, alterando profundamente el régimen de caudales y el funcionamiento ecológico de los ríos, a escala mundial. ....	7
Figura 3. Procesos geológicos externos. ....	9
Figura 4. Transporte de sedimentos. ....	10
Figura 5. Curva granulométrica Finer – Size. ....	13
Figura 6. Diagrama $\tau^*$ vs $D^*$ ....	14
Figura 7. Suelos cohesivos. ....	15
Figura 8. Vista esquemática del intercambio catiónico. ....	16
Figura 9. Proceso de Fuerzas de Van der Waals. ....	17
Figura 10. Enlaces de hidrógenos en suelos cohesivos. ....	17
Figura 11. Suelos friccionantes o no cohesivos. ....	18
Figura 12. Vistas longitudinales, de sección y superior de las diferentes sinuosidades de los ríos. ....	20
Figura 13. Tramo del río Amazonas. ....	20
Figura 14. Tramo del río sinuoso que atraviesa el barranco en la luz del sol ubicado en Dnister de Ucrania. ....	21
Figura 15. Geometría de un meandro. ....	21
Figura 16. Río trenzado de Kennicott. ....	22
Figura 17. Río de meandros activos Yamal – Rusia. ....	23
Figura 18. Cauce seco del río Dílar en Granada. ....	23
Figura 19. Estuario del Mar de la Paja, ubicado en Lisboa (Portugal). ....	24
Figura 20. Pantanos de la Reserva Protegida Narew, Polonia. ....	25
Figura 21. Delta Ganges-Brahmaputra ubicado en la región de Bengala del subcontinente indio en Bangladesh. ....	25
Figura 22. Evolución de meandros. ....	28
Figura 23. Río Amazonas. ....	29
Figura 24. Análisis Costo-Beneficio de proyectos de protección-control de inundaciones. ...	32
Figura 25. Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil. ....	34

Figura 26. Dimensiones de un cauce bajo normativas.....	37
Figura 27. Calidad de piedras de escollera. ....	40
Figura 28. Construcción geométrica de un muro de escolleras. ....	41
Figura 29. Gaviones como muro de contención. ....	42
Figura 30. Gaviones como elementos decorativos. ....	43
Figura 31. Protección de taludes con capa vegetal. ....	44
Figura 32. Partes principales de un cauce. ....	46
Figura 33. Tipos de cauces móviles.....	47
Figura 34. Características geométricas del cauce principal. ....	50
Figura 35. Planta y secciones de un encauzamiento compuesto por tres cauces (aguas bajas, aguas altas y avenidas) trazado con la misma longitud de onda.....	51
Figura 36. Acortamiento de un meandro como cauce de avenida. ....	57
Figura 37. Restauración ecológica por medio de la reforestación. ....	57
Figura 38. Corte y relleno de materiales naturales del sector. ....	58
Figura 39. Área de recuperación ecológica con materiales endémicos. ....	58

## INDICE DE TABLA

Tabla 1. Valores de período de retorno en T (Años) .....	34
Tabla 2. Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje .....	35
Tabla 3. Ejemplo del proceso iterativo para el cálculo D30 de la escollera. ....	56

## **RESUMEN.**

### **ENCAUZAMIENTOS DE RÍOS. PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO Y SU ANÁLISIS.**

Los ríos son fuentes hídricas importantes que permiten el desarrollo vital de las poblaciones aledañas, ayudan en la navegación y transporte, en especial en zonas de difícil acceso, sin embargo, con el cambio climático, el ciclo hidrológico es alterado por lo que las grandes precipitaciones, avenidas, estiajes modifican los lechos de las corrientes fluviales, por este motivo el hombre busca alternativas de desviar estos cauces para beneficio propio.

El objetivo del presente estudio es caracterizar las teorías, metodologías y procesos evolutivos involucrados con las técnicas de construcción de cauces de ríos, de la misma forma analizar los parámetros morfológicos, tipos de lechos, granulometría, hidrología, meteorización e intemperismo que ayudan a la correcta ejecución, ya sea en ambientes de montañas, valles, ambientes urbanos, donde posteriormente serán diseñados e implementados.

La investigación tuvo como resultado que los cauces aguas arriba y crecidas, provocan que los ríos no respeten la sinuosidad y la pendiente causada por el valle aluvial, mientras que los cauces aguas abajo son persistentes y van produciendo la incisión en el cauce, aumentando la sinuosidad y disminuyendo la pendiente correspondiente. Una obra de encauzamiento parcial puede generar mayor estabilidad que la protección que se pretende construir.

**Palabras claves: Intemperismo, capa limite, dipolo, demasías, flóculos, aluvial.**

## **ABSTRACT**

### **RIVER ROUTING. CALCULATION PROCEDURES AND THEIR ANALYSIS.**

Rivers are important water sources that allow the vital development of surrounding populations to assist in navigation and transport especially in hard-to reach areas, however, with climate change, the hydrological cycle is altered so that large rainfall avenues, stretches modify the beds of river currents, for this reason man seeks alternatives to divert these channels for his own benefit.

The objective of this study is to characterize the theories, methodologies and evolutionary processes involved with riverbed construction techniques, similarly analyze morphological parameters, bed types, granulometry, hydrology, weathering and weathering that help the correct execution, whether in mountain environments valleys, urban environments, where they will later be designed and implemented.

The research resulted in upstream and flooded waterways cause the rivers to not respect the sinuosity and slope caused by the alluvial valley, while downstream channels are persistent and produce the incision in the channel, increasing the sinuousness and decreasing the corresponding slope. A partial routing work can create greater stability than the protection intended to be built.

**Keywords: Weathering, boundary layer, dipole, excess, flocs, alluvial.**

# **CAPITULO I**

## **1. GENERALIDADES Y OBJETIVOS.**

### **1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.**

En la actualidad los cambios climáticos son constante y acelerados, por motivos de contaminación ambiental u otros factores aledaños a este, razón por la cual es inevitable confrontar los problemas causado por las lluvias, y el escurrimiento el cual es producido después que la tierra queda empapada. Los ríos son fuentes hídricas importantes que permiten el desarrollo vital de las poblaciones aledañas, ayudan en la navegación y transporte en especial en zonas de difícil acceso, también son participes de obras como generadores de energía eléctrica, reservas para riego de cultivos, etc., es decir que estos cuerpos de aguas están constantemente involucrados en diferentes proyectos de ingeniería, por lo que en ocasiones es necesario que sean desviados de su cauce natural de tal manera que genere el menor impacto negativo ambiental, social, económico, político.

Los ríos, como corrientes de agua dulce, nacen comúnmente a partir de fuentes montañosas, deshielos y acumulación de aguas subterráneas (producidos previamente por las precipitaciones que se depositan en el interior de la tierra) hasta desembocar en lagos, mares o ríos más grandes. En el momento que se comienza a formar los ríos, el cauce de aguas abajo va produciendo los fenómenos naturales como la erosión y depresión del terreno lo que genera los cauces naturales por donde circulan los caudales de agua hasta su desembocadura final.

## **1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL.**

Evaluar las relaciones existentes, entre los diferentes criterios, procedimientos y análisis, de encauzamientos de ríos.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Caracterizar las teorías de encauzamientos de ríos.
- Caracterizar los métodos de encauzamientos de ríos.
- Caracterizar la evolución técnica de encauzamientos de ríos.
- Analizar las correlaciones existentes entre teorías, métodos, evolución técnica de encauzamientos de ríos.

## **1.3 ALCANCE.**

El alcance que tiene el proyecto es correlacional porque se trata de conocer la relación o grado de asociación entre los diferentes métodos, teorías, procedimientos y fórmulas que intervienen en el análisis para el encauzamiento de ríos.

## **1.4 METODOLOGÍA.**

La presente tesis tiene un enfoque cuantitativo debido a que se basa en la medición de las características, la búsqueda de relaciones entre componentes o variables de forma deductiva generalizada de los métodos de encauzamientos de ríos, consultando textos de diferentes autores que abarquen los análisis sobre este tema, y las diferentes problemáticas que con lleva realizar encauzamientos de ríos, así como fórmulas y procedimientos que nos ofrece posibles soluciones, adjuntando los criterios y procedimientos más relevantes y correlacionadas que dan soluciones eficientes para encauzamientos de ríos.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

Un encauzamiento produce efectos que son necesarios mitigar, para lo cual se debe conocer el sistema dinámico de los ríos, lo que involucra estar al tanto de los cambios o modificaciones geométricas, morfológicas, que se dan a mediano y a largo plazo como consecuencias de las acciones exteriores ambientales. Los ríos son corrientes de aguas dulce que lleva consigo materiales sólidos en suspensión (partículas areniscas) que se van depositando en el fondo de acuerdo a la variación de velocidad de arrastre por lo que se produce la sedimentación de forma natural, aunque hay algunas acciones influyentes hechas por la mano del hombre como son la deforestación y la construcción de presas, diques u obras hidráulicas.

La importancia del presente proyecto radica en conocer las consecuencias de los encauzamientos sobre todo cuando son negativas y de esa manera tratar de mitigarlos, por ejemplo:

- Disminución de la pendiente por lo que aumenta más la sedimentación y este incremento del cauce provoca el desbordamiento y asentamiento de materiales en suspensión en toda la llanura de inundación. Un correcto encauzamiento de los ríos ayuda a prevenir y mitigar las inundaciones de las áreas aledañas de manera que se reduce la superficie para la sedimentación.
- El aumento del caudal unitario en el brazo principal provocando la erosión del cauce de fondo que a su vez produce efectos secundarios tales como:
  - Pérdida de la inundación de las llanuras.
  - Fragilización de las orillas de cauces.

## **CAPITULO II**

### **2. ASPECTOS GENERALES.**

#### **2.1. IMPORTANCIA HISTORICA DE LOS RÍOS.**

Desde el comienzo de la existencia de la humanidad, ha sido de gran importancia asentarse en las cercanías de fuentes hídricas, principalmente de ríos, ya que permiten el abastecimiento de agua, irrigación de cultivos, navegación, pesca y otras demandas que permiten el desarrollo del hombre en el entorno. Sin embargo, a medida que las poblaciones fueron creciendo empezaba la necesidad de buscar métodos de distribución de agua..(Gribbin, 2017). La civilización romana empezó a desarrollar construcciones hidráulicas a partir del año 200 a.C., con la finalidad de riego de cultivos y de llevar agua a sus habitantes mediante tres tipos de obras: trasvases, conducciones y embalses por lo que se comenzó a ampliar los conceptos básicos de la hidráulica como, principios de Arquímedes, ecuación de Bernoulli, principio de la turbulencia, la Ley de Continuidad, desarrollo de la capa límite, que han permitido conocer, de manera aproximada el comportamiento de los recursos hídricos, como ríos, lagos, lagunas, esteros, que son aprovechados por los habitantes.(Castro & Arce, 2006).

En los siglos XVII y XIX, los principales ríos de Europa, fueron canalizados y regulados para permitir la navegación, control navegación, control de inundaciones y riego, así mismo se drenaron los humedales. La ocupación de las planas trae a su vez el riesgo de crecientes y las alteraciones en las corrientes de aguas y tienden a agravar esas inundaciones (Leopold, 1994: 118-119). En América, la cuenca de México, ha sido muy estudiada porque es el escenario de la aparición del sedentarismo del hombre que enfrentaba la desecación – exceso

de agua, vinculada con la estacionalidad climática por lo que construyeron un conjunto de obras hidráulicas intrincados e interconectados en la sección del lago de México.



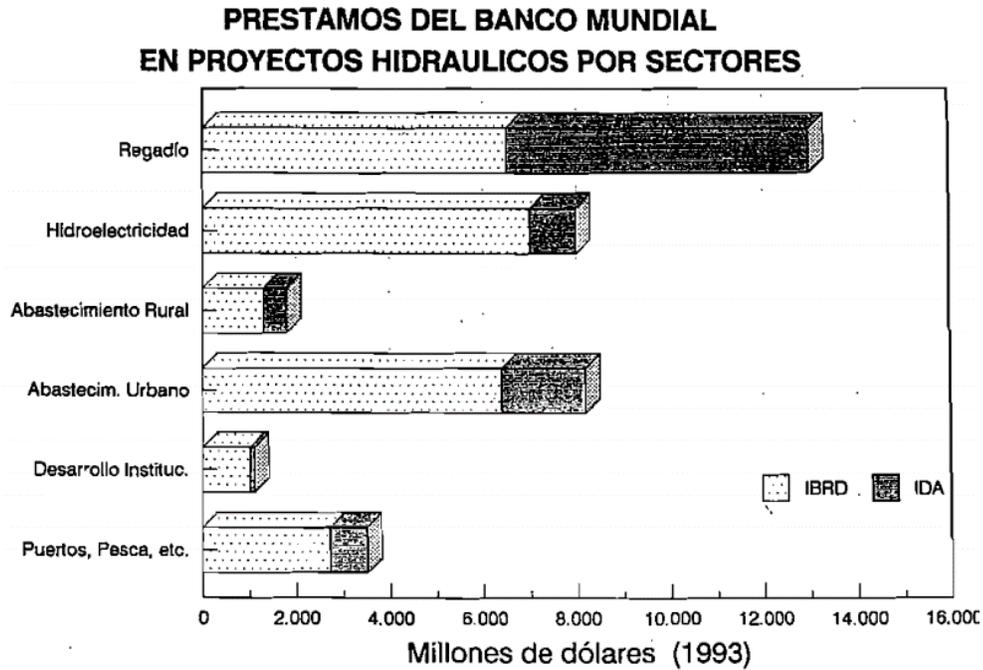
**Figura 1. Mapa de Uppsala de México 1579.**

*Fuente:* Comisión Nacional del Agua, 2009.

Lo podemos apreciar mejor en el Mapa de Uppsala elaborados por Palerm (1973, adicionado por Doolittle 1990) y González Aparicio (1973), compuesto por diversos diques (albarradaso albarradones); calzadas-dique (con esa doble función);canales de navegación, riego y drenaje de distintas dimensiones - formas y diversos materiales; presas almacenadoras; cajas de agua; puentes de entarimado; compuertas y embarcaderos.(Comisión Nacional del Agua, 2009).

En la actualidad se priorizan las obras hidráulicas como sistema de control de inundaciones, riegos de cultivos, abastecimientos, generadores de energía, prevención de contaminación y depuración, mediante las construcciones de presas, diques, hidroeléctricas, canales, acueductos, entre otros y donde se hace necesario restaurar la morfología y procesos fluviales mediante la

recuperación de los bosques, de esta manera se resuelve el problema de desagüe de avenidas y el de inestabilidad de los cauces por problemas de erosión y sedimentación.



**Figura 2. Recursos económicos dedicados a infraestructura hidráulica, alterando profundamente el régimen de caudales y el funcionamiento ecológico de los ríos, a escala mundial.**

*Fuente:* IBRD: International Bank for Reconstruction and Development. IDA: International Development Association, 1993.

## 2.2. FUNDAMENTOS DE HIDRÁULICA FLUVIAL.

En todo estudio que abarque la hidráulica fluvial conlleva a conocer y comprender el ciclo hidrológico, que se lo define como la transformación de las aguas sin modificar su estructura molecular, donde los procesos físicos de evaporación, precipitación, infiltración y escurrimiento, se desarrollan en los suelos ayudado con varios componentes químicos, se comienza a depositar en las oquedades dejadas por el vulcanismo y escurriendo por los cauces, creados por las lavas, fallas y fracturas produciendo las vertientes de agua,

comenzando por las partes altas hasta llegar al mar; y también en la atmosfera, donde las moléculas de agua se evaporan y se condensan mediante las precipitaciones.,(Gurrola, 2016).

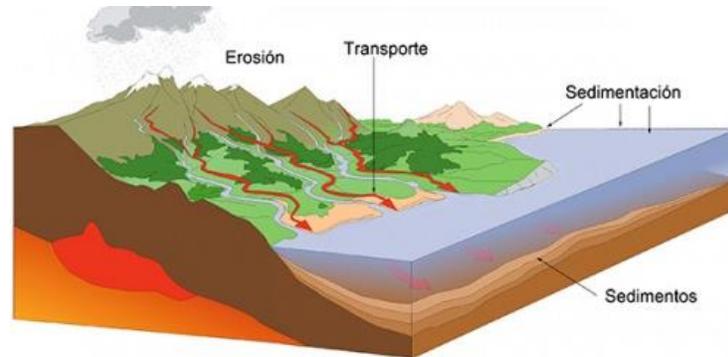
Se estima que la precipitación sobre los continentes es promediadamente de 100.000 Km<sup>3</sup> por año equivalente a 685 mm anuales de esta cantidad el 65% del agua se evapora a la atmosfera y el restante circula en tierra con una escorrentía en la distribución continental de 46768 Km<sup>3</sup> en una superficie total mundial de 149022000 Km<sup>2</sup> que excluye la Antártida y regiones polares según la investigación de Shiklomanov. (Rocha, 1998).

Los ríos son corrientes de masas de aguas, provienen de las precipitaciones, escurrimiento superficial de la corteza terrestre, drenajes subterráneos, unión de riachuelos y arroyos, vertientes como quebradas, manantiales, deshielos y del ciclo hidrológico, que fluye permanentemente por un cauce de tierra y desemboca principalmente en los océanos.(Varela, 2017). Se destaca que a medida que los ríos, van creciendo de tamaño y de caudal, va arrastrando mayores partículas sedimentables, desechos sólidos y orgánicos, por lo que aumenta la necesidad de entrar en un tratamiento previo para el uso y consumo humano. La movilidad fluvial es determinada por las irregularidades de descargas, que, por estaciones climáticas, es dada por la alternancia de avenidas y sequías extremas.(Rocha, 1998).

### **2.2.1. TRANSPORTE Y CLASIFICACIÓN DE SEDIMENTOS.**

La sedimentación consiste cuando las partículas de tierra o suelo que se encuentran en reposo, puede ser transportada a saltos al fondo de los cuerpos de aguas y cuando se separa del umbral de movimiento se va depositando haciendo que disminuya el tirante disponible para el almacenaje del agua en ríos, lagos y quebradas. La sedimentación pasa por tres etapas

geológicas principales: erosión o desprendimiento, transportación y deposición (Castro & Arce, 2006; *Capitulo5-sedimentacion.pdf*, s. f. )



**Figura 3. Procesos geológicos externos.**

***Fuente:***Eduardo, 2019.

El transporte de sedimentos es un proceso constante y permanente de la naturaleza, donde se origina con el movimiento de partículas en suspensión que proviene de la erosión de condiciones geológicas como montañas, cordilleras, suelos, fondos acuáticos, donde se depositan las partículas, se compactan y consolidan por lo que con lleva a la migración de los ríos, la formación y destrucción de los bordos e islas, así como también los cambios de contorno de playas y costas. Los estudios del acarreo de solidos permiten prever problemas como: La determinación de la cantidad de sedimentos que entran al vaso de una presa, determina la frecuencia de dragado en los ríos con el fin de mantener el calado suficiente para la navegación de embarcaciones. Cuando se construye una presa, aguas abajo suelen producirse erosiones considerables durante un cierto tiempo.(iAgua, 2014).

El modo de transporte de sedimentos varía según el comportamiento y estado del material:

a. *En suspensión.*

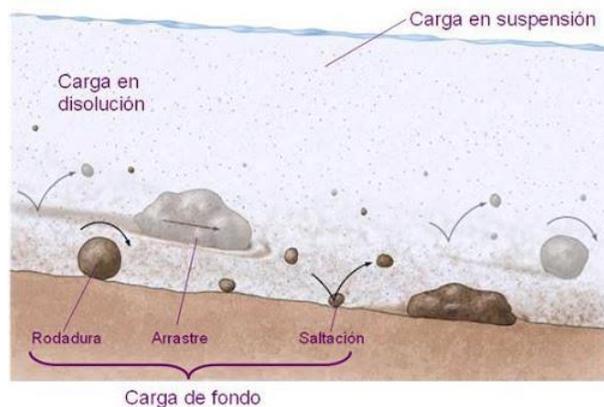
Es cuando los sedimentos disueltos en las masas de aguas no alcanzan a tener la densidad suficiente para llegar al fondo, pero con la fuerza suficiente de permanecer apenas por debajo de las capas superficiales con una velocidad constante. (Cap.7c-9.pdf, s. f.).

b. *En turbulencia.*

Las masas de aguas de características fluctuantes y aleatorias pierden estabilidad en su flujo de tal manera que lleva a las partículas en movimiento tridimensional y agitado. (Palma, 2007)

c. *En el fondo: rodando, deslizando y saltando.*

Es aquel material sedimentable que tiene su origen en el fondo y los taludes del cauce y que se transporta arriba de la capa de fondo. (FACULTAD DE INGENIERÍA Dr. Humberto Salinas Tapia—Ppt, s. f.)



**Figura 4. Transporte de sedimentos.**

**Fuente:** Oscar Yopez, 2016.

Para cuantificar la cantidad de partículas que pasan por una sección de suspensión o la que procede de la capa de fondo o del lavado de la cuenca, se puede calcular a través del método de Meyer – Peter y Müller y del método de Engelund.

### 2.2.1.1. MÉTODO DE MEYER – PETER Y MULLER.

Esta ecuación evalúa el transporte de la capa de fondo; se utiliza cuando el material es granular ya sean gravas o arenas. (Escuela Colombiana de Ingeniería & Centro de Estudios Hidráulicos y Ambientales, s. f.). Meyer – Peter y Müller experimentaron con materiales con pesos específicos comprendidos entre 1250 y 4200 kgf/m<sup>3</sup> y de diámetros de muestras de 0.4mm a 30 mm. (Bravo & León, 2011)

$$g_{BT} = 8\gamma_s g^{1/2} \Delta^{1/2} Dm^{3/2} \left[ \left( \frac{n'}{n} \right)^2 \tau * -0,0047 \right]^{3/2} \quad Ec 1.$$

Donde:

$g_{BT}$ : Transporte total de fondo, en kgf/s/m.

$Dm$  : Diámetro medio de las partículas, en m.

$n$ : Rugosidad total del cauce, se la obtiene por ecuación de Mannig.

$n'$ : Rugosidad debida a las partículas.

*Rugosidad debida a las partículas.*

$$n' = \frac{(D_{90})^{1/6}}{21} = \frac{(D_{50})^{1/6}}{26} \quad Ec 2.$$

Donde:

$D_n$ : Diámetro de la partícula, donde el subíndice n indica el porcentaje en peso de la muestra

*Parámetro adicional de Shields.*

$$\tau^* = \frac{RHS}{\Delta D_{50}} \quad Ec 3.$$

$\tau^*$  : Parámetro adicional de Shields.

### **2.2.1.2. PARÁMETRO DE SHIELDS.**

El método de Shields trata de saber si dentro del agua existe la energía suficiente para el transporte de partículas de sedimentos que se encuentran en el fondo de río por eso se cuenta con parámetros como tensión de corte adimensional ( $\tau^*$ ) y el diámetro de la partícula ( $D^*$ ) pese a que Shields trabajó en sus comienzos con el número de Reynolds (Re).(Mabldo, 2014).

$$\tau_b^* = \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho) D_{50}} \quad Ec 4.$$

$$\tau_b = \rho * g * h * i \quad Ec 5.$$

Donde:

$\tau_b$ : Tensión de corte adimensional antes de iterar.

$\rho$ : Densidad del agua.

$\rho_s$ : Densidad de la roca.

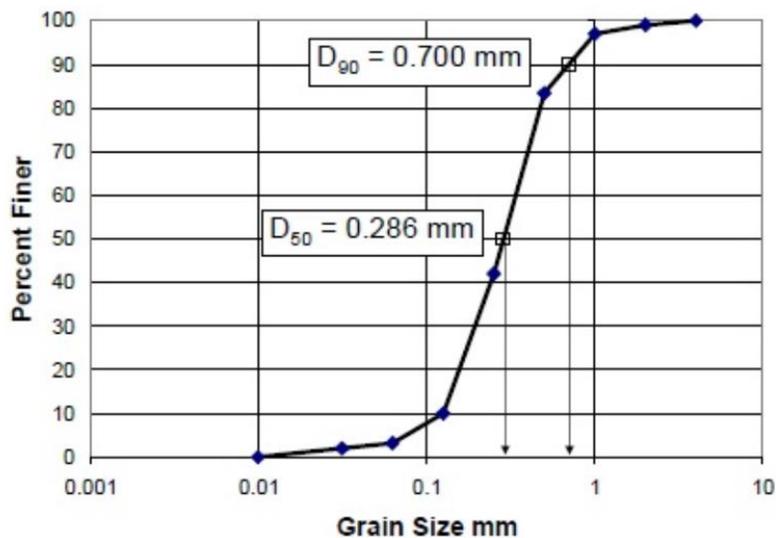
$h$ : Profundidad del flujo.

$$D_* = \frac{D_{50}u^*}{V} \quad \text{Ec 6.}$$

$u^*$ : Velocidad de fricción en el fondo.

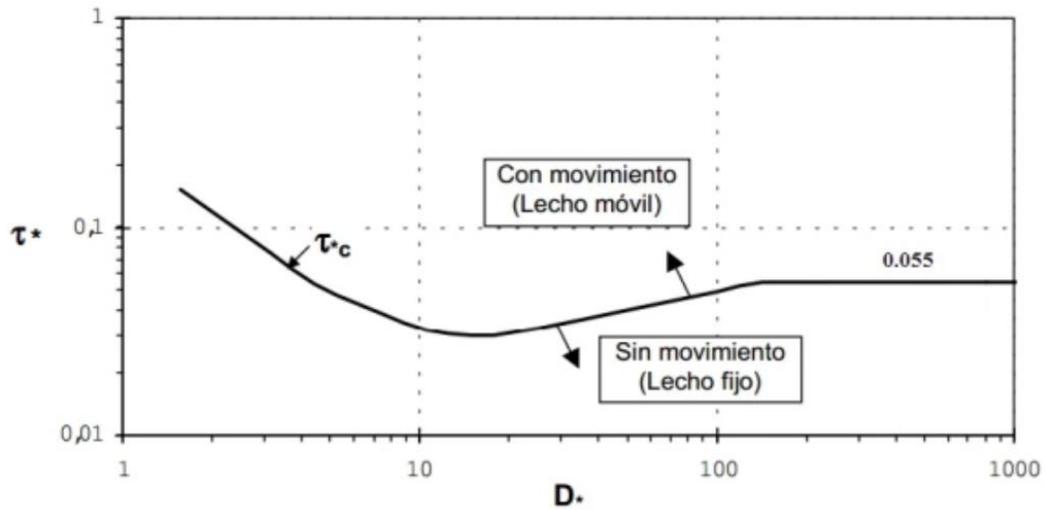
$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}}. \quad \text{Ec 7.}$$

Donde  $u^*$  es la velocidad de fricción de fondo y  $D_{50}$  consiste en el tamaño de la partícula según al 50% que corresponde a las ordenadas de la curva granulométrica Finer – Size (Fig. 2.4). Obteniendo estos datos comprobamos si el punto nos indica si hay o no movimiento de partículas con el diagrama  $\tau^*$  vs  $D^*$  (Fig. 2.5)



**Figura 5. Curva granulométrica Finer – Size.**

*Fuente:* Mabldo, 2014.



**Figura 6. Diagrama  $\tau^*$  vs  $D^*$**

*Fuente:* Mabldo, 2014.

### 2.2.1.3. MÉTODO DE ENGELUND.

Esta ecuación evalúa el transporte total de la capa de fondo con parámetros del material arenoso de  $0.15\text{mm} < D_{50} < 2\text{mm}$ . (Escuela Colombiana de Ingeniería & Centro de Estudios Hidráulicos y Ambientales, s. f.)

$$gBT = \frac{0.004 \gamma_s (R_H S)^{\frac{3}{2}} V^2}{g^{\frac{1}{2}} \Delta^2 D_{35}} \quad \text{Ec 8.}$$

Número de Reynolds.

$$R_e = \frac{V^* D_{50}}{\nu} \geq 12 \quad \text{Ec 9.}$$

Velocidad al cortante.

$$V^* = (g R_H S)^{1/2} \quad \text{Ec 10.}$$

## **2.2.2. GRANULOMETRÍA DEL CAUCE.**

En los ríos de montaña y en algunos ríos aluviales predominan los sedimentos gruesos por lo que se debe analizar la capacidad de acarreo de sedimentos de río mediante el estudio granulométrico del fondo de cauce en una profundidad mínima de 1 metro, lo que implica el estudio de las condiciones de calidad y cantidad de la sedimentación.(Bravo & León, 2011)..Los conceptos de la física moderna caracterizan, describen y clasifican cualquier tipo de material partiendo desde su forma más elemental o básica así como descriptiva.(Castro & Arce, 2006).

### **2.2.2.1. SUELOS COHESIVOS.**

Las partículas muy pequeñas que predominan en estos suelos tienen efectos electroquímicos superficiales, es debido a las fuerzas iónicas interparticulares que superan a las fuerzas gravitatorias actuantes sobre cada partícula denominada como coloidales(Cruz, 2009). Estos suelos son de partículas aplanadas de poco espesor de gran adherencia, pegajosos, difíciles de compactar relativamente débiles. por estas características estos suelos son llamados plásticos o arcillosos(Alfonso, 2012).



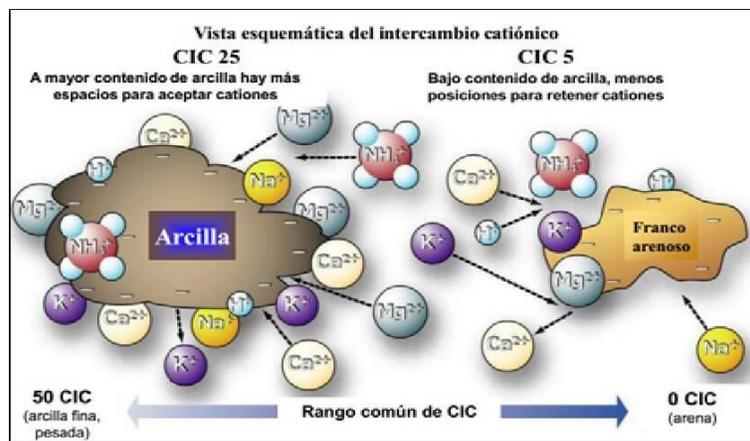
**Figura 7. Suelos cohesivos.**

*Fuente:* IngeCivil, 2018

Las fuerzas entre partículas son debidas a:

a. *Enlaces iónicos.*

Es aquella fuerza de atracción entre átomos, en donde uno o más electrones de un átomo se intercala con otro dando los iones positivos y negativos. Esta transferencia de electrones es permanente por la carga magnética en su entorno. (R. Nave, 2009).

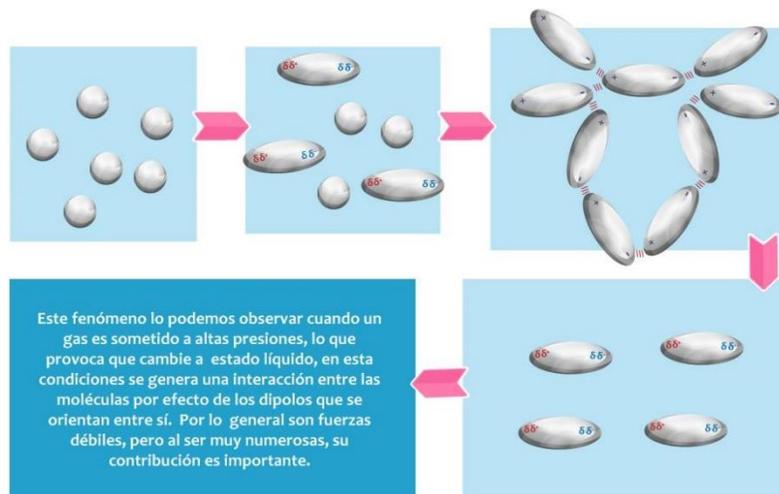


**Figura 8. Vista esquemática del intercambio catiónico.**

*Fuente:* Intagri, 2015.

b. Fuerzas de Vander Waals.

Son las fuerzas propias de cada molécula, diferentes a la unión electrostática y magnética porque son dependientes del volumen de las partículas de tal manera que guarda relación entre presión volumen y temperatura (Royuela, 2019).

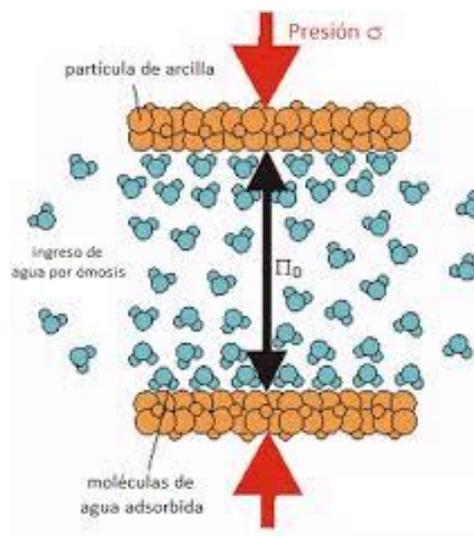


**Figura 9. Proceso de Fuerzas de Van der Waals.**

*Fuente:* David Santiago, 2019.

c. Enlaces de hidrógeno.

Son fuerzas de atracción de enlaces covalentes, siendo las moléculas de hidrogeno responsables de la interacción electrostática dipolo – dipolo dando a este enlace una característica altamente polarizada.(Mendez, 2010).



**Figura 10. Enlaces de hidrógenos en suelos cohesivos.**

*Fuente:* TIPOS DE SUELO.pdf, s. f.

d. Atracción gravitacional.

Se refiere a la aceleración que ejerce la gravedad sobre cada partícula de masa propia, esta atracción de moléculas puede llegar a ser menor que otras fuerzas como la magnética.

e. Agentes cementantes.

Son aquellos que permiten la unión de flóculos de arcilla y otros tipos de partículas. Ejemplos de agentes son: materia orgánica, carbonato de calcio, óxido de hierro, óxido de aluminio.(SSSA, 2019)

#### **2.2.2.2. SUELOS NO COHESIVOS Y GRANULARES.**

Las partículas de estos suelos se caracterizan por la poca superficie de contacto o adherencia entre granos, su compactación es por vibración y porque predomina el peso de cada partícula, por eso son considerados como suelos friccionantes como lo son las gravas, arenas, limos.(Cruz, 2009). Las estructuras de las partículas no cohesivas forman un esqueleto granular estable donde solo predomina la fuerza gravitacional, dejando atrás las fuerzas iónicas entre partículas.



**Figura 11. Suelos friccionantes o no cohesivos.**

*Fuente:* Celso López, 2017.

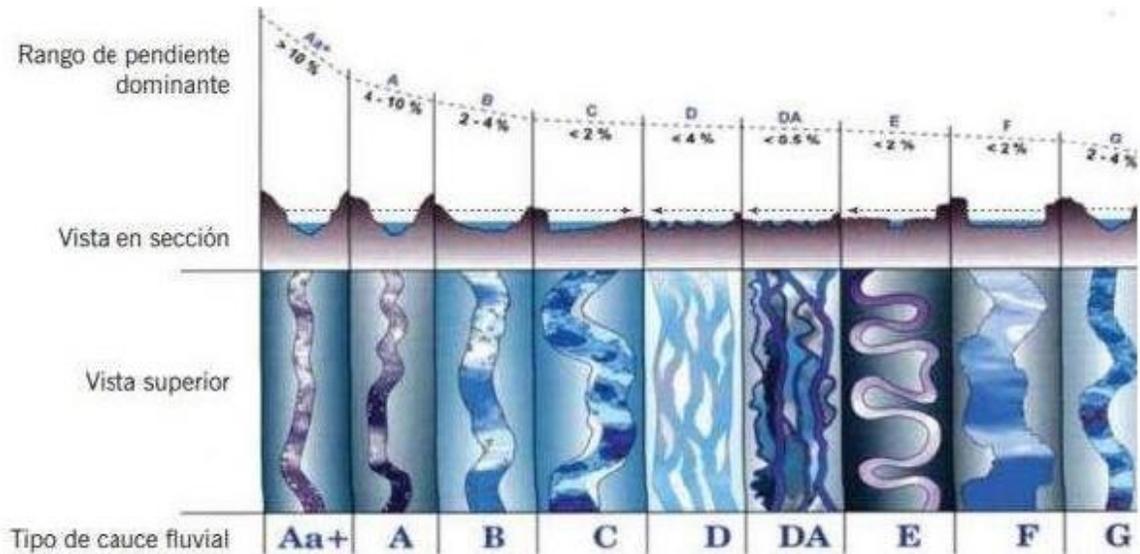
### **2.3. MORFOLOGÍA FLUVIAL.**

La Fluviomorfología, es el estudio de los cambios físicos, como perfiles longitudinales – transversales, relieves submarinos, y estructurales (lechos, composición y márgenes), que experimenta un río durante su recorrido, así como la explicación y manera de cómo estas aguas llegaron a tener su forma presente.(Rocha, 1998). El agua existente de una cuenca se une con las precipitaciones, afloramientos de aguas subterráneas o al deshielo de las montañas que al llegar aguas abajo forman un flujo de características erosivas a través de un cauce, formando así la morfología del mismo(Rojas, 2014). Esta técnica se utiliza para caracterizar el cauce de un río en momento determinado.

#### *a. Por sus características de cauces.*

La morfología de los ríos presenta diferentes características sedimentables y sinuosidades clasificando sus cauces de la siguiente manera:

1. Ríos rectos.
2. Ríos sinuosos.
3. Ríos meandriformes.
4. Ríos trenzados.
5. Ríos con meandros.
6. Rambla.



**Figura 12.** Vistas longitudinales, de sección y superior de las diferentes sinuosidades de los ríos.

*Fuente:* Adaptado de Rosgen ,1996.

### 1. Cauces de ríos rectos.

Se debe tener en cuenta que los ríos no siguen una ruta indefinidamente recta, pero su comportamiento lo clasifica de tal manera, porque utiliza el criterio de sinuosidad, que es la relación de la longitud entre el talweg y el valle que no debe ser un valor mayor a 1.1 para considerar a un río como recto. (Castro & Arce, 2006).



**Figura 13.** Tramo del río Amazonas.

*Fuente:* G. D. S. García, 2011.

### 2. Cauces de ríos sinuosos.

Son ríos que tienen un valor comprendido entre 1.1.-1.3 de la relación talweg y el valle y es apenas notorio la curvatura. A partir de este punto el flujo se comporta como ríos rectos de forma no constante.(M. Martín, 2017).

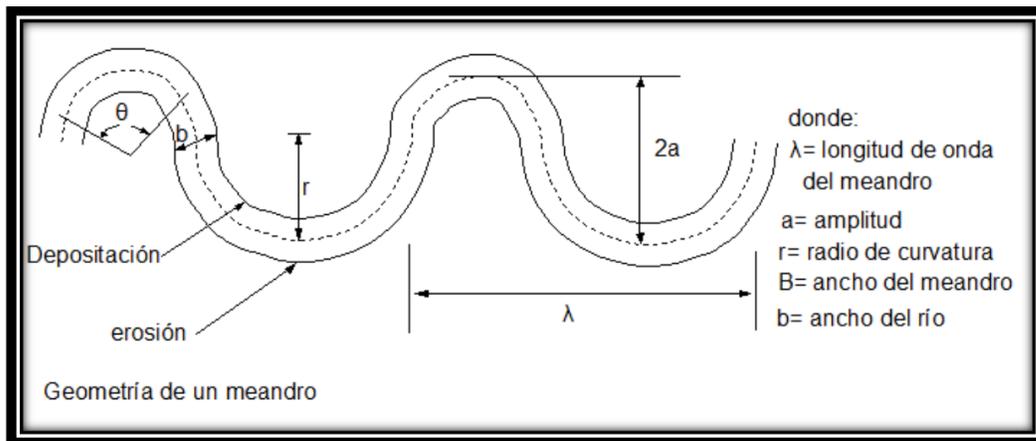


**Figura 14.** Tramo del río sinuoso que atraviesa el barranco en la luz del sol ubicado en Dnister de Ucrania.

*Fuente:* Dreamstime, 2007.

### 3. Cauces de ríos meandriiformes.

El flujo del cauce deja de comportarse en su totalidad como un río recto, pues su valor de factor de sinuosidad (relación de la longitud entre el talweg y el valle) es mayor a 1.3 y su radio de curvatura empieza a ser menor.(M. Martín, 2017).



**Figura 15.**

**Geometría de un meandro.**

*Fuente:* Rojas, 2014.

#### 4. *Cauces de ríos entrelazados o trenzados*

Está formado por múltiples cauces menores interconectados que dejan isla islas entres si, tiene mayor ancho que su profundidad, además presenta elevada carga de sedimentos de gravas o arena porque son ríos de mayor arrastre por su pronunciada pendiente y sus barras son inundadas durante las avenidas.(Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, 2016).Existen dos causas que explican la formación de los ríos entrelazados.

- i) Exceso de sedimentos que el río no puede transportar en su totalidad, una parte de los cuales deposita y da lugar a la formación de islas.
- ii) Pendiente fuerte, lo que origina pequeños tirantes.(Rocha, 1998).



**Figura 16. Río trenzado de Kennicott.**

*Fuente:* Dreamstime, 2007b.

#### 5. *Cauces de ríos con meandros.*

Son ríos con concavidades pronunciadas que son muy dinámicas, y no se deben esencialmente a las propiedades del terreno, sino a la naturaleza del comportamiento fluvial. La geometría de un meandro se mide por la relación entre la distancia que separa dos puntos a lo largo de la parte más profunda del cauce o, thalweg y la distancia entre línea recta entre

ellos y su valor de sinuosidad debe ser mayor a 1.2 tal como se ve en la Fig. 2.15. (Rojas, 2014).



**Figura 17. Río de meandros activos Yamal – Rusia.**

*Fuente:* Wiki, 2020.

#### *6. Cauces rambla.*

Son aquellos cauces abiertos, de características similares a los trenzados, producidos por el flujo de agua que provienen de la intensidad de lluvias capaces de excavar el suelo y erosionar los sedimentos previamente depositados, sin embargo esto ocurre muy poco frecuente ya que en los sitios donde se desarrollan las ramblas son vacíos y desérticos.(boletinagrario.com, 2020).



**Figura 18. Cauce seco del río Dílar en Granada.**

*Fuente:* J. E. Gómez, 2018.

*b. Por su sitio.*

Los ríos en diferentes condiciones climáticas y lugares se clasifican de la siguiente manera:

*1. En estuario.*

Es donde desemboca simultáneamente los ríos con las corrientes marinas de los océanos y que presentan alteraciones por causa de la actividad humana.(Ecu-Red, 2010).



**Figura 19. Estuario del Mar de la Paja, ubicado en Lisboa (Portugal).**

*Fuente:* Curbelo, 2012.

*2. En pantano.*

Las características de estos ríos son dependientes pequeñas con altos niveles freáticos con tirantes reducidos que crean un ambiente óptimo para el crecimiento de vegetación.(Castro & Arce, 2006).



**Figura 20.** Pantanos de la Reserva Protegida Narew, Polonia.

*Fuente:* Cárdenas, 2014.

### *3. Deltas y conos aluviales.*

Se desarrollan por la pérdida escabrosa de competencia de la corriente fluvial con la diferencia que los conos aluviales se depositan en tierra y tienen pendientes abruptos mientras que los deltas son relativamente planos y se alojan en un cuerpo de agua, es decir apenas sobresaliendo del nivel de la superficie del océano, ríos o lagos. (Tarbuck & Lutgens, 2016).



**Figura 21.** Delta Ganges-Brahmaputra ubicado en la región de Bengala del subcontinente indio en Bangladesh.

*Fuente:* Sunderbans National Park, 2011.

*c. Por sus grados de libertad.*

En la morfología de los ríos se considera los grados de libertad a la relación del comportamiento de los ríos (variación de velocidades, caudales) con las características físicas.

*1. Con 1 grado de libertad.*

Cuando el cauce se caracteriza al variar solo el tirante permaneciendo constante el fondo y la pendiente, por tanto, esta variable se la puede obtener utilizando ecuaciones como Manning, Chezy, Darcy o Keulegan, siendo Manning la fórmula más utilizada.(Jimenez, 2016).

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ec. 11.}$$

*2. Con 2 grados de libertad.*

Esto sucede cuando el cauce presenta paredes rígidas y en el fondo se encuentra materia que puede ser arrastrado por el flujo de tal forma que varía el tirante y la pendiente. Los ríos con grandes cantidades material rocoso o con gran contenido de arcilla de alta cohesión también se caracteriza como cauces de 2 grados de libertad.(Jimenez, 2016).

*3. Con 3 grados de libertad.*

Aquí el flujo presenta las variables como tirante, pendiente y márgenes que se pueden ajustar al ancho del cauce. Los ríos que generan material aluvial son considerados con 3 grados de libertad.(Jimenez, 2016).

#### *4. Con 4 grados de libertad.*

Son aquellos cauces que el tirante, la pendiente y el ancho varia a lo largo del canal pero que también desarrollan meandros y esto se origina cuando la pendiente de la planicie es mayor a la pendiente hidráulica del escurrimiento.(Jimenez, 2016).

#### *d. Por su movilidad.*

Esta característica describe las corrientes y variación de caudales de los ríos con respecto a los sólidos suspendidos y partículas sedimentables, por ello se lo puede clasificar así:

##### *1. Estático.*

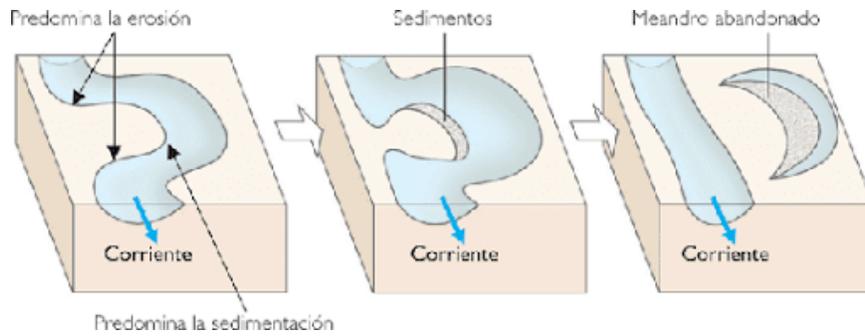
La corriente del cauce transporta las partículas sedimentables sin ocasionar desgaste en los bordes. Los tramos de ríos con márgenes rocosos son ejemplo de este tipo de movilidad.(J. A. Maza, 2005)

##### *2. Estabilidad dinámica.*

El cauce de río genera erosión en los bordes y se sedimentan en el fondo de tal manera que sufre arqueado en los laterales continuos en las curvas.(J. A. Maza, 2005).

##### *3. Inestabilidad dinámica.*

En este caso los ríos desarrollan meandros para alcanzar una pendiente de equilibrio que por consiguiente se estrangulan rápidamente las sinuosidades y el cauce no logra estabilizar su pendiente.



**Figura 22. Evolución de meandros.**

**Fuente:** Ruta06Vega-MeandroAbandonadoSanMartn.pdf, s. f.

*e. Por tiempo.*

Se clasifican de acuerdo a las pendientes en concordancia a las dimensiones físicas de los ríos:

*1. Jóvenes.*

Son ríos con características de pendientes altas ya que se origina en los cauces de las montañas son de formas irregulares y en proceso de degradación con sección transversal tipo V.(J. A. Maza, 2005)

*2. Maduros.*

Son ríos con características de pendientes algo pronunciadas que se origina en los cauces de grandes valles donde termina en la erosión de las márgenes.(J. A. Maza, 2005)

*3. Viejos.*

Son ríos con características de pendientes muy bajas ya que se origina en los cauces de amplios valles y de planicie de que oscila entre 15 a 20 veces mayor que el ancho de los meandros y terminan en depósito naturales de sedimentos.(J. A. Maza, 2005).



**Figura 23. Río Amazonas.**

*Fuente:* Ambientum.com.

## **CAPITULO III**

### **3. ESTUDIOS HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE ENCAUZAMIENTO.**

#### **3.1. HIDROLOGÍA.**

Es la ciencia que estudia el comportamiento del agua a través de fenómenos naturales, meteorológicos, ambientales que se desarrollan en condiciones atmosféricas y terrestre (superficiales y subterráneas), por lo que es un importante recurso que nos ayuda a determinar caudales, drenajes, y cambios climáticos que permite de cierto modo brindar protecciones en obras de civiles, y a su vez en la distribución del líquido vital (agua) para el aprovechamiento humano, agrícola, vegetal e industrial. Sin embargo, esta ciencia utiliza métodos probabilísticos por lo que sus resultados no son exactos sino apenas son valores con un grado de incertidumbre.(K. García & Quisbeth, 2016).

#### **3.2. CONSIDERACIONES PARA OBRAS DE ENCAUZAMIENTOS.**

- a. Construcción de obras de defensas para mitigar inundaciones y desbordamientos de las orillas de los cauces y territorios aledaños.
- b. Estabilización y estudio de la corriente local de cauce para controlar y evaluar los cambios de flujos por efectos hidrológicos o de obras civiles que pueden afectar en el comportamiento de los cauces ejemplo de ello son los puentes.
- c. Modelar la incidencia del flujo en los bordes y estructuras de obras civiles, el avance de arrastres de solidos mediante softwares para obtener resultados y amenizar impactos negativos en la interacción cauce – borde, cauce - estructura (Montenegro, 2012).

### 3.3. OBTENCIÓN Y REGISTRO DE CAUDALES DE DISEÑO.

#### 3.3.1. ANÁLISIS ECONÓMICO

Se dice que una construcción bien realizada tiene un gran costo de inversión, pero la ingeniería civil enseña los parámetros y factores que se pueda obtener una obra con economía accesible y de seguridad factible, para lograr esto se analiza las funciones optimas, máximas y mínimas.

En toda obra civil en proyecto y en plan de ejecución se toma en cuenta la diferencia entre inversión y costo beneficio del proyecto de manera que estos beneficios se prolongue para obtener un costo de mantenimiento durante la vida útil de la obra, por ende, es importante conocer los posibles daños o riesgos que se pueden durante la ejecución de cualquier construcción de ingeniería. Es difícil determinar y evaluar la restauración de los ríos porque son inciertos, imprevisibles e inestables, pero por estudios y determinación probabilística podemos evitar infortunios en un futuro y el costo de los mismos.(Rojas, 2014)

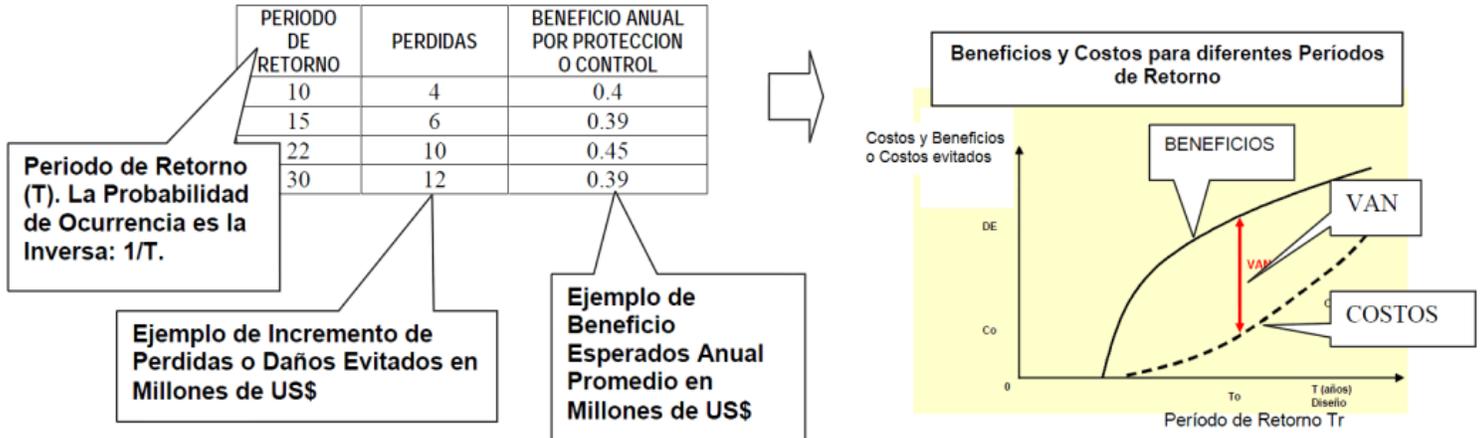
Para una mejor Figura se hace el dimensionamiento económico de unos diques de inundación.

1. *Altura optima de los diques (H)*: es la diferencia máxima de daños de inundación evitados (D) y el coste (C). El coste del dique no crece linealmente con la altura y la probabilidad de H sea superado en un año por daño de inundación es relativamente mínima pues con un buen estudio se puede prever y mitigar esta acción.
2. *Altura máxima (Hmax)*: La altura de diseño después de un año tiene la probabilidad de ser rebasada es de:

$$P = \frac{1}{T} \quad \text{Ec. 12.}$$

3. *Período de retorno* (T): Pertenciente al caudal transportado con el nivel H.

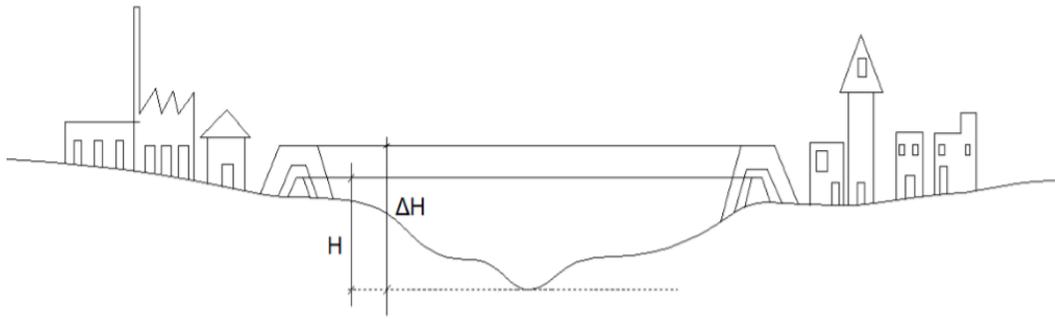
En cualquiera de estos campos el Ingeniero tiene la responsabilidad social de presentar diversas propuestas, aunque la decisión final sea tomada por los gobiernos, ya que en grandes obras de construcción y uso hidráulico son financiados por entidades públicas.



**Figura 24. Análisis Costo-Beneficio de proyectos de protección-control de inundaciones.**

*Fuente:* Julio Montenegro, 2017.

Para proyectos de encauzamientos de ríos se eligen comúnmente un parámetro de periodo de retorno entre 50 y 100 años sin embargo en las zonas de gran densidad poblacional, como ciudades principales, se toma un valor mayor como 200 – 250, estas limitaciones ayudan a comprender de mejor manera el enfoque económico porque da importancia al valor de las tierras agrícolas que se pueden perder al desbordarse en los márgenes de los ríos por esta razón es importante la construcción de obras de contención.(Rojas, 2014).



**Figura 25. Razonamiento del dimensionamiento económico de la altura H.**

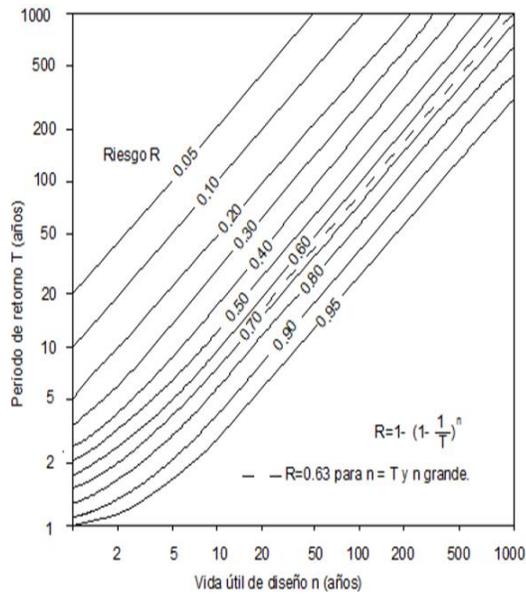
*Fuente:* Rojas, 2014.

### 3.3.2. PERÍODO DE RETORNO.

Las obras de contención garantizan el flujo de ingreso de manera suave de tal manera que no permite la socavación por las velocidades de la corriente y las condiciones geológicas y geotécnicas. La circunstancia más crítica es el momento que se pone a prueba la resistencia y la estabilidad contra la acción del flujo al paso de crecientes con periodos de retornos altos. El riesgo de falla admisible en función del periodo de retorno y vida útil de la obra está dado por la siguiente ecuación.(Bateman, 2007)

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad \text{Ec. 13.}$$

Dónde: (R)es el riesgo de falla admisible, (T) es el periodo de retorno y (n) es el número de años de vida útil.



**Figura 25. Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil.**

*Fuente:* Rojas, 2014.

En la siguiente tabla se muestran los valores del periodo de retorno para cada uno de los riesgos permisibles R y para la vida útil n de la obra.

*Tabla 1. Valores de período de retorno en T (Años)*

RIESGO ADMISIBLE	VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS (n años)									
	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
0.01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0.02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
0.05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0.10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0.20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
0.25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695
0.50	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
0.75	1.3	2	2.7	4.1	7.7	15	18	37	73	144
0.9	1	1.11	1.27	1.66	2.7	5	5.9	11	22	44

*Fuente:* Rojas, 2014.

A partir de estos valores de la tabla anterior, se utiliza como máximo, los siguientes valores de riesgo admisible de obras de drenaje.

**Tabla 2. Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje**

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) (%)
Puente (*)	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso de quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

*Fuente:* Rojas, 2014.

(\*) Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.6

- Se recomienda un período de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.

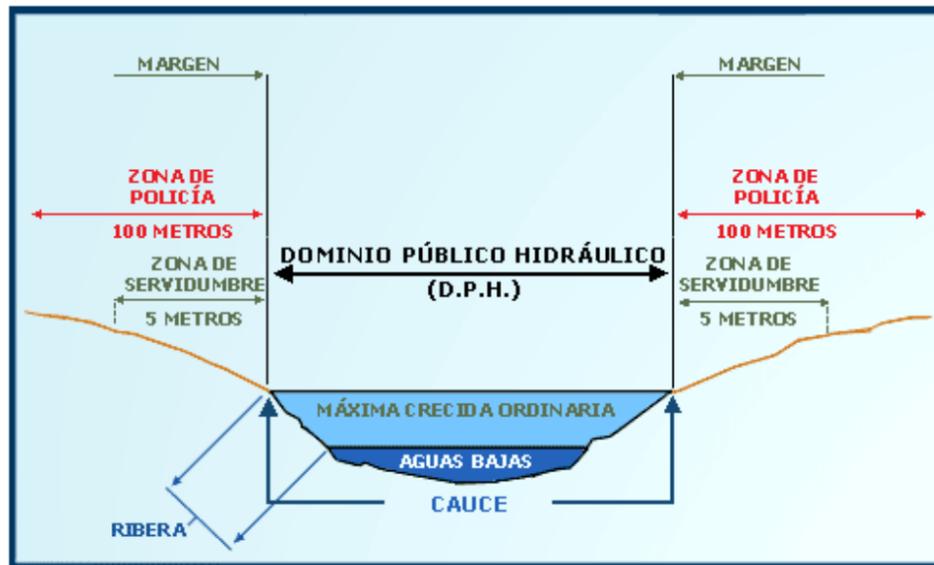
(\*\*) - Vida Útil considerado (n)

- Puentes y Defensas Ribereñas n= 40 años.
- Alcantarillas de quebradas importantes n= 25 años.
- Alcantarillas de quebradas menores n= 15 años.
- Drenaje de plataforma y Sub-drenes n= 15 años.
- Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse.
- El Propietario de una Obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras. (MONSALVE,1999).

### 3.4. ASPECTOS LEGALES Y TÉCNICOS.

En cada ciudad o estado se manejan normas que regulan ciertos parámetros fundamentales para la construcción de obras civiles, pues se ajustan a los ejes de seguridad, socioeconómico y político de cada región. Un ejemplo de ello tenemos la “Ley de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua” (Delgado, 2015) donde definen algunas variables como:

- a. *Máxima crecida*: media de los máximos caudales anuales durante diez años consecutivos representativos.
- b. *Cauce*: es la definición técnica de caudal dominante o formativo del caudal de desbordamiento, es decir con un periodo de retorno entre 1.5 y 7 años.(Delgado, 2015)
- c. *Zona de policía*: Es una franja lateral de ancho de cien metros medidos desde la línea de cauce que se desarrolla con el uso de suelo.
- d. *Zona de servidumbre*: Se encuentra dentro de la zona de policía que se desarrolla para uso de vigilancia, pesca y salvamento.
- e. *Margen*: es el terreno delimita el cauce y situado más alto por arriba del mismo.
- f. *Lecho*: Es el terreno de fondo de los lagos y lagunas que se almacenan cuando alcanza el mayor nivel ordinario.
- g. *Ribera*: Es la franja lateral dentro del cauce natural.
- h. *Zona inundable*: Es la demarcación por los niveles máximos que alcanzara el flujo en las avenidas.



**Figura 26. Dimensiones de un cauce bajo normativas.**

*Fuente:* Gobierno de España, 2008.

### **3.4.1. NORMATIVAS EXISTENTES APLICABLES A ENCAUZAMIENTOS.**

#### **3.4.1.1. NORMATIVA HEC11.**

Esta normativa estandariza y regula los diseños de protección y revestimiento de escolleras en cauces, canales, también sirve para el diseño de protección de gaviones, bloques de hormigón prefabricados, revestimiento de hormigón, escolleras cementadas y salidas de obras de drenaje como parte fundamental en los cauces de ríos garantizando un margen de seguridad. La norma puede ser revisada y descargada utilizando la siguiente dirección web:

<https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/hec/hec11sI.pdf>

#### **3.4.1.2. NORMATIVA DEL MTOP.**

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP) no cuenta actualmente con una norma referida a la protección de cauces de ríos, pero se encuentra en proceso de aprobación.

#### **3.4.1.3.    NORMATIVA DEL IHE Delft.**

Es una normativa holandesa que utiliza ecuaciones propuestas por diferentes autores para realizar análisis de procesos y diseños de escolleras consiguiendo de esta forma un factor de fiabilidad en el producto. Este informe detalla la reunión internacional de expertos donde se abarca los temas tales como: “Interacciones del agua: sistema en riesgo y desafíos sociales”; “Metodologías para gestión integrada de cuencas fluviales”; “Valor del agua” y más contenido. La norma puede ser descargada utilizando la siguiente dirección web:

<http://www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf>

#### **3.4.1.4.    NORMATIVAS COLOMBIANAS Y EXTRANJERAS.**

En Colombia se encuentra un conjunto de normas y códigos que ayudan a dirigir los procesos de protección, diseño y dirección de cauces y el estado ayuda a garantizar el cumplimiento de estas reglas. Estas entidades son:

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (ICONTEC)
- Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes. (CCCSR)
- Normas AIS 100 – 97.
- Especificaciones para Construcción de Carreteras INVIAS 1996 (INV)
- American Concrete Institute. (ACI)
- American National Standards Institute. (ANSI)
- American Society for Testing and Materials. (ASTM)
- Engineer Manual U.S. Army Corps of Engineers. (EM0)
- Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Navegación. (PIANC)

### **3.5. ELEMENTOS PRODUCTO DE LOS CAUCES Y RÍOS.**

#### **3.5.1. ESCOLLERAS.**

Son grandes bloques de piedras que provienen de la explotación de canteras, degradación de materiales pétreos y también fabricados por hormigón, y generalmente son utilizados para construcción de obras de protección, como muros, diques longitudinales, presas, rompeolas, banquetas de cimentación. La escollera tiene como principal característica ser un elemento macizo de gran volumen y peso de tal forma que su estabilidad se debe por fuerza gravitatoria sin embargo son estructuras permeables. Los bloques de escolleras se caracterizan por tener varias formas geométricas de acuerdo para cada tipo de obra civil en donde van a ser empleadas.(Fundación Laboral de la Construcción, 2006). Se clasifican por:

##### *a. Por su tamaño*

3.3.1. *Gruesas.* Se les denomina a los bloques de ancho 1 metro y que se usan en la cimentación del muro.

3.3.2. *Medias.* Se les denomina a los bloques de ancho de 50 centímetros y que se usan en la estructura del cuerpo del muro.

3.3.3. *Finas.* Se les denomina a las piedras de un ancho menor de 40 centímetros y que se utilizan para ocupar los espacios entre bloques gruesos y medianos.(Chavéz, 2014).

##### *b. Por sus características físicas.*

1. *Densidad.* Como normativa debe tener una densidad seca mayor igual a 2500kg/m<sup>3</sup>.

2. *Resistencia a compresión.* Debe cumplir con un rango mayor a 60 MPa.

3. *Integridad.* Es la resistencia que tiene los bloques a la deformación física y destrucción por causas de la manipulación y transporte, previo a la construcción del muro.

c. *Por calidad de las piedras de escollera.*

GRADO	DENOMINACIÓN	CRITERIO DE RECONOCIMIENTO
I	Roca sana o fresca	La roca no presenta signos visibles de meteorización, pueden existir ligeras pérdidas de color o pequeñas manchas de óxidos en los planos de discontinuidad.
II	Roca ligeramente meteorizada	La roca y los planos de discontinuidad presentan signos de decoloración. Toda la roca ha podido perder su color debido a la meteorización y superficialmente ser más débil que la roca sana.
III	Roca moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del material está descompuesto a suelo. Aparece roca sana o ligeramente meteorizada de forma continua o en zonas aisladas.
IV	Roca meteorizada a muy meteorizada	Más de la mitad del material está descompuesto a suelo. Aparece roca sana o ligeramente meteorizada de forma discontinua.
V	Roca completamente meteorizada	Todo el material está descompuesto a un suelo. La estructura original de la roca se mantiene intacta.
VI	Suelo residual	La roca está totalmente descompuesta en un suelo y no puede reconocerse ni la textura ni la estructura original. El material permanece «in situ» y existe un cambio de volumen importante.]

**Figura 27. Calidad de piedras de escollera.**

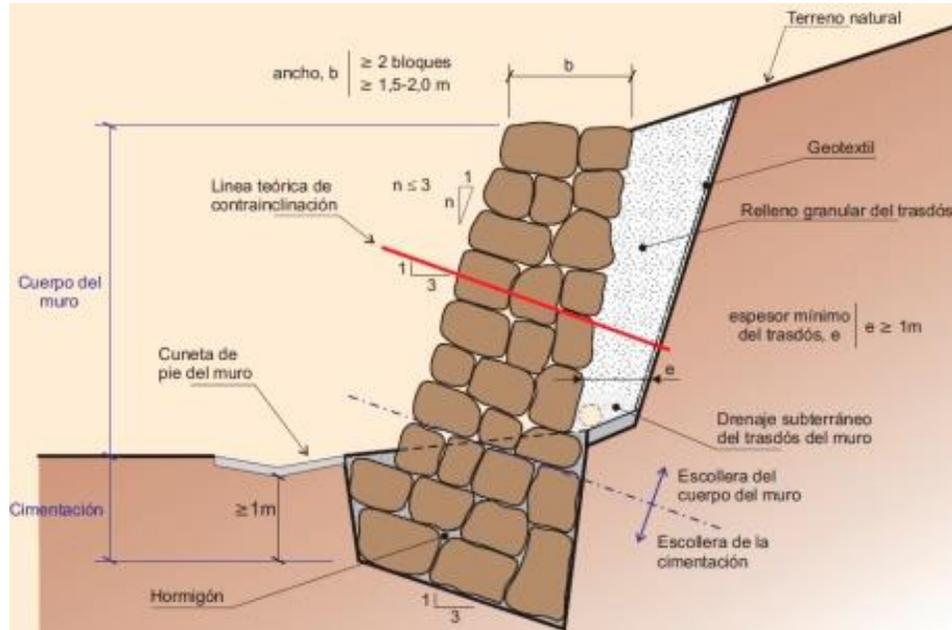
*Fuente:* Chavéz, 2014.

d. *Por su forma según sus propiedades.*

- Dolos.
- Cubos.
- Tetrápodos.
- Cuadripodos.
- Tribar.

### 3.5.1.1. MURO DE ESCOLLERAS.

Es una obra civil que sirve de contención, revestimiento y protección constituido por bloques de escolleras de formas poliédricas y de masas comprendidas entre (300 y 3000kg), siendo los más grandes y macizos parte de la cimentación del muro.(Yepes, 2016).



**Figura 28. Construcción geométrica de un muro de escolleras.**

*Fuente:* CONSTRUBLOG, 2014.

### 3.5.2. GAVIONES.

Es un contenedor de bloques de rocas sanas, de un tamaño promedio de medio metro, retenidos en una malla de acero galvanizado electrosoldado y de forma hexagonal, que ya en sitio es relleno con otras piedras que no sean susceptibles a la disgregación y con una dimensión de hasta dos veces mayor al hexagonal de la malla para evitar pérdida del material y cubrir la mayor cantidad de espacios existentes, de esta manera ganar mayor confinamiento y mejorar la estructura de los gaviones.(Piñar, 2008)

*a. Características.*

- *Flexibles.* Son estructuras deformables, pero no pierden eficiencia en su funcionamiento.
- *Permeables.* No contienen agentes cementantes o sellantes lo que lo deja como una estructura de gran cantidad de vacíos por lo cual permiten la disminución de los empujes hidrostáticos.
- *Resistencia.* A esfuerzos de compresión, tensión y torsión.
- *Durabilidad.* Los gaviones están compuestos por un recubrimiento que resiste a los efectos del intemperismo y en caso de que la estructura presente una falla no se desarma por la resistencia a la torsión.
- *Instalación.* Es fácil y económica ya que no se requiere de mano de obra especializada.

(Mera et al., 2014)



**Figura 29. Gaviones como muro de contención.**

*Fuente:* Victor Yepes, 2015.

*b. Usos.*

- *Muros de contención.* Los gaviones son utilizados para protección y soporte de los márgenes de los cauces de ríos.
- *Conservación de los suelos.* Los gaviones son utilizados para evitar la erosión hídrica y así fortalecer las partes medias y altas de las cuencas.
- *Decorativo.* Aquí los gaviones son más seleccionados y trata que las piedras se encajen entre sí de una manera perfecta y armónica. (Mera et al., 2014).



**Figura 30. Gaviones como elementos decorativos.**

*Fuente: Pinterest, s. f.*

### **3.5.3. VEGETACIÓN.**

Los ríos transportan gran cantidad de sedimentos como consecuencia de la erosión de la superficie terrestre (valles, montañas, etc.) por la deforestación a consecuencia de la mano del hombre. Los sedimentos traen problemas en los flujos porque hacen cambiar de dirección a los cauces, altera la morfología o hasta en ciertos casos extinguir un cuerpo de agua al convertirse en flujos subterráneo.

La cobertura vegetal al implementar en los cauces de ríos debe endémica del sector del cauce o compatible con la flora y fauna del sitio. Al analizar la consecuencia de implementar la capa vegetal, tenemos los siguientes efectos de estabilidad.

- Disminuye la erosión superficial causado por las precipitaciones.
- Incrementa la capacidad de infiltración
- Drena la humedad del subsuelo hacia el exterior.
- Genera fisuras por evaporación.
- Las raíces ayudan a fortalecer el suelo y evita el corte.
- Fija el suelo superficial con estratos más profundos.
- Aumenta el peso sobre talud. (Urbanas, 2016)



**Figura 31. Protección de taludes con capa vegetal.**

*Fuente:* Eloy Perez Valera, 2015.

## CAPITULO IV

### 4. PROCESOS DE ENCAUZAMIENTOS.

#### 4.1. ASPECTOS GENERALES.

Se denomina cauce de un río a la cavidad por donde circula el flujo de agua en un área determinada por los márgenes y cuyo punto más profundo se llama talweg. El cauce nace a partir de la erosión sobre la superficie terrestre del flujo de agua, que se origina por la precipitación, drenajes subterráneos, deshielo de cordilleras, y que a medida que va incrementando la masa hídrica va cambiando la morfología del cauce, incrementando su ancho profundidad y alterando su dirección. En relación con los distintos escenarios de la superficie terrestre que entra en contacto con el cauce se puede originar las siguientes condiciones.

- El cauce profundo y estrecho en una cordillera forma un pongo o cañón fluvial.
- Según los desniveles grandes y bruscos por la morfología del cauce se forman los saltos (caídas pequeñas), cascadas o caídas escalonadas y cataratas. (*Los ríos / Geografía*, s. f.)

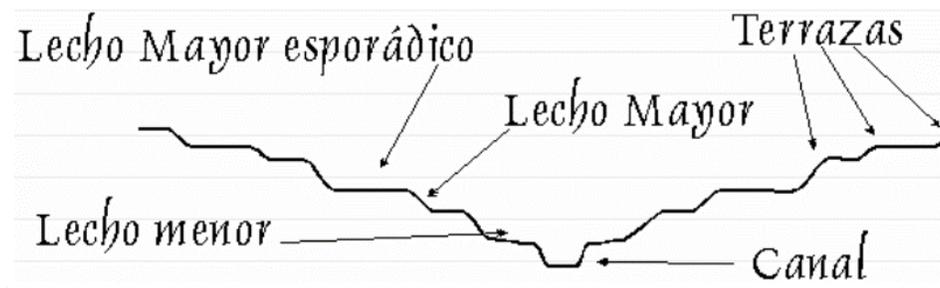


**Figura 33. Cascada Manto de la Novia - Ecuador.**

*Fuente:* losviajeroscom, 2020.

El cauce se refiere a la parte superficial del río, es decir no toma en cuenta las corrientes subterráneas, y que se distingue con cuatro elementos.

- a. *El canal.* Es la zona de forma geométrica arqueta vista en sección transversal, es la cavidad donde fluye el agua.
- b. *El lecho menor.* Es la zona donde el caudal intermedio fluye dejando márgenes definidos.
- c. *El lecho mayor.* Es la zona donde circula el agua al llegar a su caudal máximo, aquí se desarrollan los procesos de acumulación y los de erosión.
- d. *El lecho esporádico.* Es la zona donde fluye grandes avenidas e inunda sectores aledaños. (*El estudio de los ríos: El cauce / La guía de Geografía, 2009*)

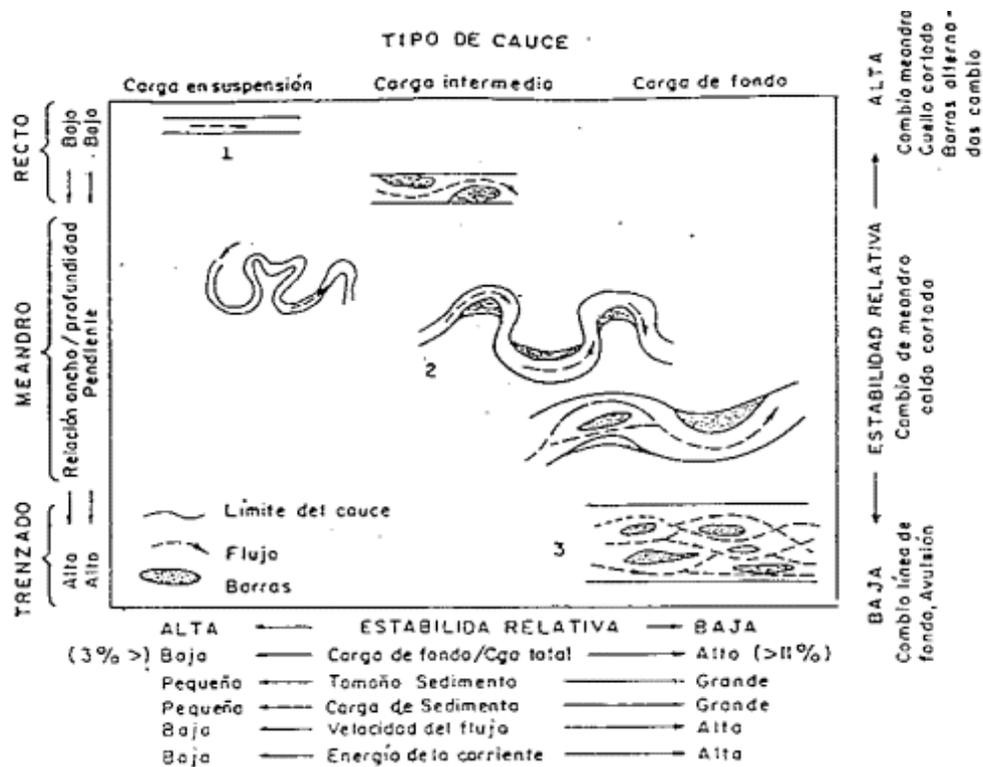


**Figura 32. Partes principales de un cauce.**

*Fuente:* Santiago, 2008.

Los cauces como modo de transporte de sedimentos se clasifican en:

- a. *Cauces de erosión.* Son aquellos lechos que no contienen sedimentos y su flujo no puede ejercer el arrastre de sedimentos independiente de tamaño de las partículas sedimentables.
- b. *Cauces móviles.* Son aquellos lechos dinámicos que transportan materiales arenosos y rocosos que ocurre principalmente en las crecidas mientras que en el tiempo de estiaje predomina los procesos de acumulación. (*Los ríos / Geografía, s. f.*)



**Figura**

**Tipos de cauces móviles.**

*Fuente:* Stanley Alfred Schumm, 1977.

33.

**4.2. FACTORES A CONSIDERAR.**

Cuando se hace un análisis de cauces de ríos es necesario considerar algunas condiciones principales para su diseño:

- ✓ La magnitud del cauce aguas arriba del lugar de diseño y de la avenida del lecho de diseño.
- ✓ Establecer la fluviomorfología del tramo del lecho en donde se dará el encauzamiento de diseño.
- ✓ Realizar un análisis hidráulico y estimar la magnitud y estimar la magnitud relativa de la capacidad erosiva del flujo.
- ✓ Llevar a cabo una caracterización del material de sedimentos de arrastre.

- ✓ Estimar la profundidad del cauce potencial por las posibles avenidas máximas.

La formación de un cauce se caracteriza por los siguientes parámetros (Chanson,2004):

- Pendiente del cauce.
- Profundidad.
- La velocidad del flujo.
- Tamaño de sedimentos.
- Velocidad de asentamiento de la partícula.

## **CAPITULO V**

### **5. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CAUCES.**

#### **5.1.TRAZADO DEL CAUCE PRINCIPAL.**

##### **5.1.1. CAUCE POR CARGA DE FONDO.**

La carga de fondo caracteriza a la forma de transportarse los sedimentos en el lecho de un río, de manera que el movimiento se da por fuerza de arrastre en las partículas de mayor tamaño y entra en contacto con el fondo del cauce. Este contacto se da de diferentes formas:

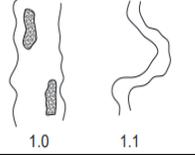
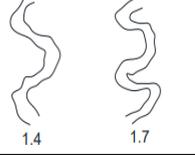
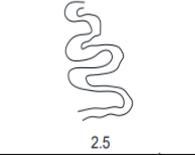
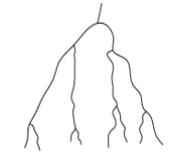
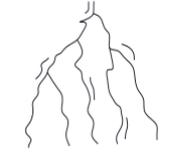
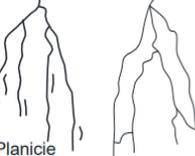
- Deslizante.
- Rodante.
- Saltante.(F. García, 2009)

##### **5.1.2. CAUCE POR CARGA MIXTA.**

El transporte de carga mixta en el lecho de un río sucede cuando las partículas sedimentables tienen un movimiento intermitente, es decir que viajan por el cauce y se detienen continuamente. Por lo general el periodo de reposo es mayor al periodo de traslado, sin embargo, en avenidas, la fuerza de arrastre es mayor.(F. García, 2009)

##### **5.1.3. CAUCE POR CARGA EN SUSPENSIÓN.**

Las partículas de sedimentos de este tipo cauce se traslada de manera continúa viajando a nivel medio del flujo hasta llegar a la superficie sin tocar el fondo. En este lecho hay 2 características fundamentales: partículas finas y de intercambio de masa turbulento.(Garcia, 2009)

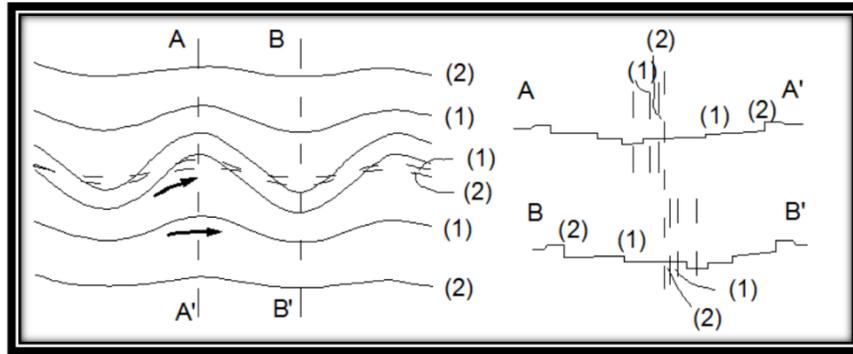
MORFOLOGÍA	TIPO DE CAUCE		CARGA DE FONDO	CAGA MIXTA	CARGA EN SUSPENSIÓN
	CANAL SIMPLE	Forma del cauce		Trenzado 60	Meándrico 25
Relación ancho/profundidad					
CANAL SIMPLE	PATRÓN DEL CANAL				
	Sinuosidad		1.0 1.1	1.4 1.7	2.5
CANAL MÚLTIPLE	PATRONES				
	Asociaciones		Abanico aluvial	Llanura de inundación	Planicie aluvial Delta

**Figura 34. Características geométricas del cauce principal.**

*Fuente:* Stanley Alfred Schumm, 1977.

## 5.2.TRAZADO DEL CAUCE POR AVENIDAS.

Los cauces de aguas arriba conducen caudales de frecuencias bajas en el año y esto sucede en el tiempo de las avenidas tomando en cuenta que estos lechos son sinuosos y de características morfológicas resumidas en las leyes de Fargue que describen la acción erosiva constante de la corriente. El trazado del cauce aguas abajo es más sinuoso, pero con la misma amplitud onda que su contraparte el lecho de aguas altas. Sin embargo, en el diseño de un encauzamiento compuesto estas curvaturas pueden ser similares dejando una desventaja en el cauce más grande al perder longitud o por no cumplir con el ángulo mínimo de 50 grados, criterio establecido por las leyes de Fargue. (Rocha, 1998)



**Figura 35. Planta y secciones de un encauzamiento compuesto por tres cauces (aguas bajas, aguas altas y avenidas) trazado con la misma longitud de onda.**

*Fuente:* Rojas, 2014.

Consideraciones con el trazado y diseño de cauces de avenidas:

- ✓ El trazado geométrico del cauce debe tener mayor área porque con lleva a que, en las avenidas, ocupe la zona. de inundación.
- ✓ El trazado de diques debe ser estratégicamente diseñado ante una posible profundización de los meandros en el cauce principal.
- ✓ En las avenidas, el área de inundación funciona como parte de la cavidad del cauce principal.(Rojas, 2014)

### **5.3. PROCEDIMIENTOS Y ECUACIONES PARA OBTENER EL EJE HIDRÁULICO DEL CAUCE.**

Estos pasos guían los cálculos para hallar la cota de la superficie del agua iterando entre dos ecuaciones.:

1. Se registra un valor inicial arbitrario de la cota de la superficie del agua en la sección transversal aguas arriba si el flujo es supercrítico se registra el valor aguas abajo.

2. A partir del dato anterior se calcula el transporte total y la altura de la velocidad correspondiente.
3. Mediante la ecuación de la conservación de energía. (Ecu 14.) se reemplaza los valores hallados en el paso anterior, calculando la pérdida de energía en el tramo.

$$he = L * Sf + C \left| \frac{a_2 * v_2^2}{2g} - \frac{a_1 * v_1^2}{2g} \right| \quad Ec 14.$$

Donde:

Sf = Pendiente de fricción representativa para el tramo en m/m.

C = Coeficiente de pérdida por expansión o contracción.

L = Longitud ponderada del tramo en metros

4. Se halla el valor de la cota de la superficie del agua con los valores del paso 2 y 3.

$$Y_2 + Z_2 + \frac{a_2 * v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{a_1 * v_1^2}{2g} + he \quad Ec 15.$$

Donde:

Y1, Y2 = Altura de agua en la sección transversal en metros.

Z1, Z2 = Cota de fondo (m) de la sección transversal.

a1, a2 = Coeficientes de velocidad (Coeficiente de Coriolis) para cada sección transversal.

g = Aceleración de gravedad en m2 /s

he = Pérdida de energía en el tramo en m.

5. Se compara el valor del paso 1 con el valor del paso 4y se repite cada paso hasta que los valores concuerden (J. Maza & García, 1996)

## **CAPITULO VI**

### **6. TIPOS DE OBRAS DE ENCAUZAMIENTOS.**

#### **6.1.ENCAUZAMIENTO DE RAMBLAS.**

##### **6.1.1. REVISIÓN GENERAL DEL PROCESO.**

Los flujos de los cauces de ramblas y ríos de montaña se consideran de comportamiento esporádico y no constante, por lo que es necesario crear un cauce seguro estabilizando la formación de las orillas, mientras que debería dejarse intacto el fondo, si va de acuerdo con los estudios pertinentes de fenómenos de infiltración y transporte de sólidos. En cuanto al trazado del encauzamiento, la clave es el ancho porque el equilibrio de fondo depende de la relación ancho/ calado de tal manera que, si el cauce creado es estrecho, el aumento del caudal unitario producirá una erosión general del lecho. Por lo general estos cauces de las ramblas denotan, a simple vista, un mayor ancho de lo pensado, pero sucede lo contrario, porque a falta de estudios técnicos en temporadas de avenidas el cauce queda estrecho generando erosión y el lavado de las orillas(J. P. Martín, 2009).

Los ríos de montaña no transportan caudales con elevada cantidad de finos, por lo que un encauzamiento de lecho prismático y de sección transversal constante no es necesario, por el contrario, se recomienda lechos trazados con tramos anchos para el depósito y almacenamiento temporal de sedimentos de tal forma que si llega una avenida fuerte en el torrente y débil en el río aportará muchos sedimentos y estos encontraran un deposito temporal mitigando el peligro de inundación. Una de las alternativas más eficientes con respecto al encauzamiento de ramblas es mantener las grandes áreas de depósito como “reguladores “de transporte de sólidos(J. P. Martín, 2009).

### 6.1.2. MÉTODOS DE CÁLCULO.

Para este tipo de encauzamiento Maynard et al. (1987) propone una formula aplicable para protecciones generales y cauces donde no existen caídas u obstáculos.(Rauhermi, 2017)

$$\frac{D_{30}}{y} = 1,2 \times 0,3 \times \left[ \left( \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \right)^{\frac{1}{2}} \times \frac{v}{\sqrt{gxy}} \right]^{2.5} \quad Ec 16.$$

Donde:

$D_{30}$  = diámetro de la escollera para el que el 30% de la muestra (en peso) es inferior (m)

$y$  = calado medio en la sección sobre la escollera (m)

$\gamma$  = peso específico del agua (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_s$  = peso específico de la escollera (kN/m<sup>3</sup>)

$v$  = velocidad media en la sección sobre la escollera (m/s)

$g$  = aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)

El coeficiente de valor 1,2 se corresponde con el factor de seguridad del diseño y el coeficiente de valor 0,3 se corresponde con la condición de inicio de movimiento de las partículas. En este método trabaja junto con los coeficientes de Mannig de escolleras y granulometría y es aquí donde se empieza los pasos para calcular el diámetro de la escollera 30%

$$D_{90} = 1.45 * D_{30} \quad Ec 17.$$

$$n = 0,0439 * (D_{90})^{\frac{1}{6}} \quad Ec 18.$$

Siendo:

$D_{90}$  = diámetro de la escollera para el que el 90% de la muestra (en peso) es inferior (m)

$n$  = coeficiente de rugosidad de Manning.

El valor del calado ( $y$ ) se lo calcula con la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{A}{n} * (R_h)^{\frac{2}{3}} * (I_0)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec 19.}$$

Siendo:

$Q$  = caudal (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = sección mojada (m<sup>2</sup>) donde  $A=B*y$

$R_h$  = radio hidráulico (m) siendo  $R_h= A/P_m$  y donde  $P_m$  está el factor  $y$

$I_0$  = pendiente longitudinal (m/m)

La velocidad se calcula.

$$Q = \frac{A}{v} \quad \text{Ec 20.}$$

Y el número de Froude.

$$F = \frac{v}{\sqrt{g*y}} \quad \text{Ec 21.}$$

Una vez que hemos obtenido todos estos datos lo reemplazamos en la ecuación Maynord (Ecu. 15) obteniendo un nuevo valor y se ejecuta todo el proceso nuevamente hasta que esta iteración llegue a un valor estable.(Rauhermi, 2017)

**Tabla 3. Ejemplo del proceso iterativo para el cálculo D30 de la escollera.**

D30 (m)	D90 (m)	n	y (m)	Cero obj.	v (m/s)	Froude	D'30 (m)
0,300	0,435	0,038	3,981	-0,00068	6,281	1,005	0,776
0,776	1,125	0,045	4,420	0,0005	5,656	0,859	0,582
0,582	0,844	0,043	4,297	0,000747	5,818	0,896	0,629
0,629	0,912	0,043	4,297	0,000323	5,818	0,896	0,629

*Fuente:*Raul Herrero, 2017.

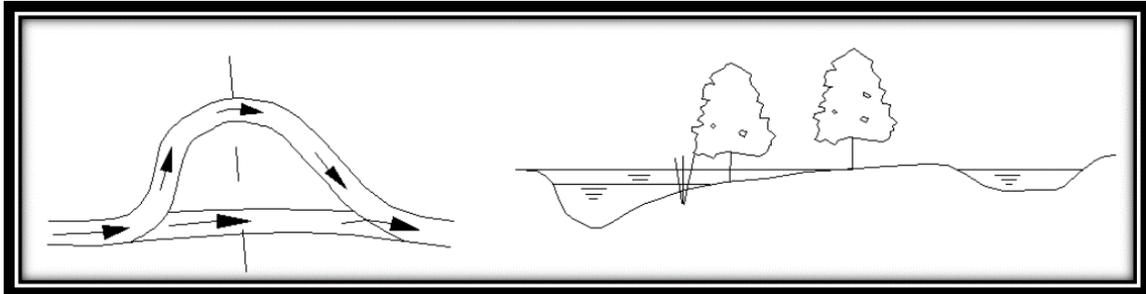
## 6.2.ENCAUZAMIENTOS CON DIVERSOS AMBIENTES.

Al realizar un cauce artificial o un río encauzado es necesario tomar en cuenta aspectos que pueden llegar a traer consecuencias no deseadas, es decir sin una buena definición de los márgenes de cauces o un estudio previo de las demasías y avenidas, con lleva a las desviaciones del flujo a mayor área de inundación dejando afectado zonas del ecosistema llegando a alterar a la flora y fauna.

La idea principal es fomentar la diversidad de hábitats mediante la diversidad física del cauce, cuando el río no está deteriorado. Esto da ideas al ingeniero de tener otra vista sobre el campo que podríamos llamar micro ingeniería fluvial, en dialogo con el biólogo, quien debe establecer las necesidades físicas para la vida (velocidad, profundidad, temperatura, etc).(J. P. Martín, 2009).

Un ejemplo interesante para mostrar la compatibilidad entre un objetivo tradicional, como evitar inundaciones, y respecto a la diversidad, es el de la corta de un meandro. Si esta es la medida apropiada para mejorar la capacidad y reducir la inundación, es más interesante que

el nuevo cauce recto sólo funcione en avenidas (a modo de aliviadero, Fig. 6.24), mientras las aguas bajas y altas sigan por el cauce antiguo.(Rojas, 2014).

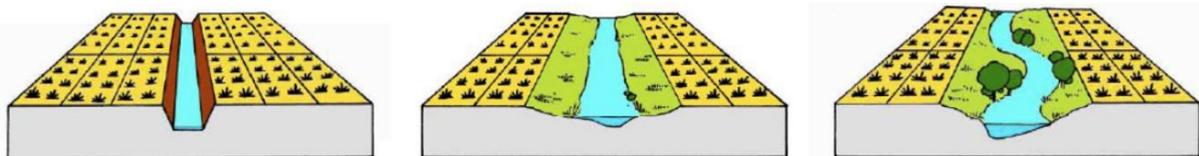


**Figura 36. Acortamiento de un meandro como cauce de avenida.**

*Fuente:*Rojas, 2014.

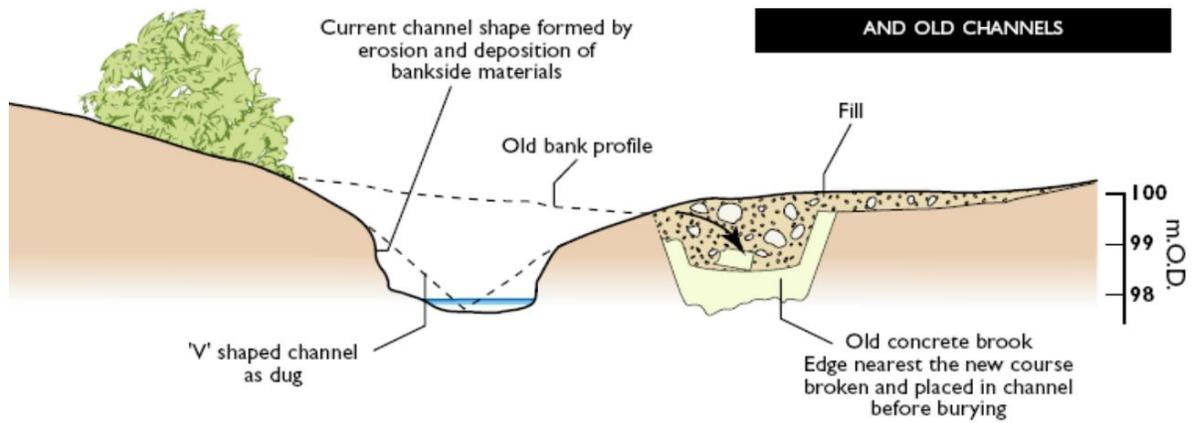
### 6.2.1. RESTAURACIÓN ECOLÓGICA Y AMBIENTAL.

- Dar espacio al río.
- Permitir circular un régimen ecológico de caudales.
- Eliminar las estructuras de rigidez de los cauces.
- Dar tiempo al río para que reconstruya su estructura biológica.(Jimmy contreras, 07:04:20 UTC)



**Figura 37. Restauración ecológica por medio de la reforestación.**

*Fuente:*Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, 2018.



**Figura 38. Corte y relleno de materiales naturales del sector.**

*Fuente:* Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, 2018.



**Figura 39. Área de recuperación ecológica con materiales endémicos.**

*Fuente:* Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, 2018

### **6.3. RECOMENDACIONES PARA ENCAUZAMIENTOS URBANOS.**

Los cauces urbanos están muy inmersos en las ciudades que hoy en día no hay posibilidad de realizar obras de protección frente a posibles avenidas. El aumento de la capacidad de desagüe del encauzamiento urbano va directamente ligado a la limpieza y mantenimiento de los lechos y así no restarle área del río, sin embargo, por manejos políticos estos mantenimientos no se ejecutan y se necesitan hacer obras de intervención.

Estas intervenciones plantean algunas interrogantes.

1. El río deja de ser atendido, de manera que una obstrucción o una pérdida de capacidad serán menos detectables.
2. Pese a la capacidad de la sección de flujo puede hacerse de igual capacidad para el caudal de proyecto con un cauce cerrado y con cauce abierto, no es igual la capacidad si se supera dicho caudal. Con el cauce cerrado y en carga se reduce la capacidad, es decir, el nivel de la inundación será más alto en su cabecera para desaguar el mismo caudal. Con el cauce en la frontera entre lámina libre y carga pueden ocurrir otros efectos hidráulicos no deseables.
3. Cuidarse de no dar oportunidad a los cuerpos flotantes a obstruir la boca del encauzamiento (los troncos de árboles pueden tener 20 m de longitud), pero también hay que evitar la curiosidad infantil.
4. En cuarto lugar, si la cubrición implica también una solera no erosionable, no se da oportunidad al fondo del cauce a descender transitoriamente por erosión general y así se cambian las condiciones de circulación del caudal máximo. Con una solera, además, se interrumpe la comunicación del río con el acuífero aluvial.

## **CAPITULO VII**

### **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

- Los encauzamientos de ríos son procesos constructivos que involucran varias metodologías de cálculos y análisis que con la ayuda de parámetros físicos se tiene resultados eficientes que coinciden con el objetivo del proyecto.
- Una obra de encauzamiento sea parcial o total genera estabilidad, seguridad y reforzamiento en los cauces de ríos, ya que puede servir de aliviaderos en avenidas.
- A pesar de una buena ejecución del proyecto hay que tomar en cuenta que las autoridades gubernamentales y la responsabilidad del Ingeniero constructor no da un seguimiento de mantenimiento de los cauces, razón por lo que queda como obra obsoleta o que a largo plazo no cumple con su función.
- Es necesario realizar estudios hidrológicos y meteorológicos como parámetros determinantes para el encauzamiento de ríos de manera que pueda abarcar las áreas de inundación con sus riberas estables.
- Por sus características morfológicas, los ríos de llanuras son considerados menos estables por la cantidad de sedimentos que arrastran a comparación de los ríos de montaña por ello sus encauzamientos son distintos.
- En la zona de los ríos aguas abajo son de flujo constante que con el tiempo va variando características del cauce, como su geometría, profundidad, y sinuosidad disminuyendo su pendiente.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

- Alfonso, P. (2012, mayo 8). Proceso mecánico por el cual se busca mejorar artificialmente las características de resistencia, compresibilidad y el comportamiento esfuerzo – deformación. <https://slideplayer.es/slide/3601350/>
- Bateman, A. (2007). **HIDROLOGÍA BÁSICA Y APLICADA**. [www.gits.ws](http://www.gits.ws)
- boletinagrario.com. (2020, febrero 18). **RAMBLA - ¿Qué es rambla? - Significado, definición, traducción y sinónimos para rambla**. [boletinagrario.com. ap-6,rambla,690.html](http://boletinagrario.com/ap-6,rambla,690.html)
- Bravo, J., & León, N. (2011). Metodología para la estabilización del cauce de un río de llanura para la protección de puentes [Ponticia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/7876/9.80.001293.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Cap.7c-9.pdf. (s. f.). Recuperado 12 de febrero de 2020, de <http://bdigital.unal.edu.co/5226/6/Cap.7c-9.pdf>
- Capitulo5-sedimentacion.pdf. (s. f.). Recuperado 25 de enero de 2020, de <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-246/capitulo5-sedimentacion.pdf>
- Cárdenas, por M. (2014, abril 10). Pantanos y ríos en el Parque Narew. Ser Turista. <https://serturista.com/polonia/pantanos-y-rios-en-el-parque-narew/>
- Castro, A., & Arce, M. (2006). Socavación en Puentes. Procedimientos de Cálculo y su Análisis.
- Celso López. (2017, mayo 31). Banco de Grava y Arena CELSO LOPEZ, Domicilio conocido, Aserradero (2020). <http://www.findglocal.com/MX/Aserradero/619340848246629/Banco-de-Grava-y-Arena-CELSO-LOPEZ>
- Chavéz, J. (2014). **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MURO DE ESCOLLERA A LOS LADOS DEL MUELLE DEL ÁREA NACIONAL DE RECREACIÓN DE ISLA SANTAY**. Subsecretaría de Gestión Marino Costera.

- <https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/bajarArchivo.cpe?Archivo=Q33IpAX7cF7QnY5He04oDnnhkmwuaYyTvSSkzx88Wxg>,
- Comisión Nacional del Agua. (2009). *Semblanza Histórica del Agua en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- [https://www.academia.edu/10688733/Las\\_obras\\_hidr%C3%A1ulicas\\_en\\_las\\_%C3%A9poca\\_prehispanica\\_y\\_colonial\\_en\\_M%C3%A9xico?auto=download](https://www.academia.edu/10688733/Las_obras_hidr%C3%A1ulicas_en_las_%C3%A9poca_prehispanica_y_colonial_en_M%C3%A9xico?auto=download)
- CONSTRUBLOG. (2014, marzo 6). MUROS DE ESCOLLERA. [Blog]. CONSTRUBLOG.
- <https://construblogspain.wordpress.com/2014/03/06/muros-de-escollera/>
- Cruz, L. (2009). *Mecánica de Suelos 1* (1.ª ed.).
- [https://www.academia.edu/27874732/Mecanica\\_de\\_Suelos\\_I\\_ESLAGE\\_1\\_2\\_3\\_](https://www.academia.edu/27874732/Mecanica_de_Suelos_I_ESLAGE_1_2_3_)
- Curbelo, E. (2012, junio 22). Estuario. Estuario. <https://www.ecologiahoy.com/estuario>
- David Santiago. (2019, junio 17). LA NATURALEZA VITAL IMPORTANCIA: FUERZAS DE VAN DER WAALS. LA NATURALEZA VITAL IMPORTANCIA.
- <http://davidsantiago10.blogspot.com/2019/06/fuerzas-de-van-der-waals.html>
- Delgado, R. C. (2015). REGLAMENTO LEY RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA. 45.
- Dreamstime. (2007a). Río Sinuoso Que Atraviesa El Barranco Lugar Dnister De La Ubicación Imagen de archivo - Imagen de ambiente, holiday: 109473149. Dreamstime. <https://es.dreamstime.com/río-sinuoso-que-atravesia-el-barranco-lugar-dnister-de-la-ubicación-image109473149>
- Dreamstime. (2007b). Vista Aérea Del Río Trenzado De Kennicott Cerca De McCarthy Alaska Foto de archivo - Imagen de bosque, kennecott: 131356288. Dreamstime.
- <https://es.dreamstime.com/vista-aérea-del-río-trenzado-de-kennicott-cerca-mccarthy-alaska-image131356288>
- Ecu-Red. (2010). Estuario. Ecured. <https://www.ecured.cu/Estuario>
- Eduardo. (2019, marzo 2). Procesos Geológicos Externos. GEOBAX. <https://www.geobax.com/procesos-geologicos/externos/>

El estudio de los ríos: El cauce | La guía de Geografía. (2009, febrero 24).

<https://geografia.laguia2000.com/hidrografia/el-estudio-de-los-rios-el-cauce>

Eloy Perez Valera. (2015, marzo 18). Evaluación de impacto ambiental. Medidas correctivas y preventivas. [Meio ambiente]. <https://pt.slideshare.net/EloyPerezValera/evaluacin-de-impacto-ambiental-medidas-correctivas-y-preventivas/27?smtNoRedir=1>

Escuela Colombiana de Ingeniería, & Centro de Estudios Hidráulicos y Ambientales. (s. f.). 2.7.2

Fórmula de Meyer-Peter y Müller. Recuperado 26 de enero de 2020, de

[http://transportesedimentos.tripod.com/esp/2\\_7\\_2\\_\\_.htm](http://transportesedimentos.tripod.com/esp/2_7_2__.htm)

FACULTAD DE INGENIERÍA Dr. Humberto Salinas Tapia—Ppt video online descargar. (s. f.).

Recuperado 12 de febrero de 2020, de <https://slideplayer.es/slide/9392533/>

Fundación Laboral de la Construcción. (2006).  Diccionario de la Construcción.  Diccionario de la Construcción. <http://www.diccionariodelaconstruccion.com>

García, F. (2009). Modelo de transporte de sedimentos de carga de fondo en cauces fluviales.

<http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rbc/v7n7/a03v7n7.pdf>

García, G. D. S. (2011, noviembre 25). TIPISHCA: FORMAS FÍSICAS DEL SUELO AMAZÓNICO (2): LOS ESTIRONES. TIPISHCA. <http://tipishca.blogspot.com/2011/11/los-estirones-o-rectas-2.html>

García, K., & Quisbeth, I. (2016, octubre 4). HIDROLOGÍA EN LA INGENIERIA CIVIL. prezi.com.

<https://prezi.com/oeiw2jckw8lw/hidrologia-en-la-ingenieria-civil/>

Gobierno de España. (2008, mayo 23). Delimitación del Dominio Público Hidráulico: El Proyecto Linde.

<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/delimitacion-dph-proyecto-linde/>

Gribbin, J. E. (2017). Introducción a la Hidraulica E Hidrología con aplicaciones para la administracion del agua pluvial. [https://issuu.com/cengagelatam/docs/gribbin\\_issuu](https://issuu.com/cengagelatam/docs/gribbin_issuu)

- Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente. (2018, octubre 9). OBRAS HIDRÁULICA-  
Hidráulica fluvial-Encauzamientos.  
[http://observatoriaigua.uib.es/repositori/snra\\_encauzamientos.pdf](http://observatoriaigua.uib.es/repositori/snra_encauzamientos.pdf)
- Gurrola, M. (2016). MODIFICACION DE LOS CAUCES DE RIOS POR CAUSAS NATURALES Y  
POR LA INFLUENCIA DEL HOMBRE. [https://issuu.com/auge21/docs/5-a21-  
modificacion\\_de\\_cauces\\_de\\_rio](https://issuu.com/auge21/docs/5-a21-modificacion_de_cauces_de_rio)
- iAgua, redaccion. (2014, diciembre 22). ¿Cómo se produce el proceso de transporte de sedimentos en los  
ríos? [Text]. iAgua. [https://www.iagua.es/noticias/mexico/imta/14/12/22/como-se-produce-  
proceso-transporte-sedimentos-lo-rios](https://www.iagua.es/noticias/mexico/imta/14/12/22/como-se-produce-proceso-transporte-sedimentos-lo-rios)
- IngeCivil. (2018, agosto 9). Información sobre los suelos cohesivos. IngeCivil.  
<https://www.ingecivil.net/2018/08/09/informacion-sobre-los-suelos-cohesivos/>
- Intagri. (2015, octubre 20). La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo | Intagri S.C.  
<https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- J. E. Gómez. (2018, junio 12). Los «ríos intermitentes» y ramblas incrementan las emisiones de CO2 |  
Ideal. IDEAL. [https://www.ideal.es/biodiversidad/medioambiente/rios-intermitentes-ramblas-  
20180612173813-  
nt.html?ref=https:%2F%2Fwww.ideal.es%2Fbiodiversidad%2Fmedioambiente%2Frios-  
intermitentes-ramblas-20180612173813-nt.html](https://www.ideal.es/biodiversidad/medioambiente/rios-intermitentes-ramblas-20180612173813-nt.html?ref=https:%2F%2Fwww.ideal.es%2Fbiodiversidad%2Fmedioambiente%2Frios-intermitentes-ramblas-20180612173813-nt.html)
- Jimenez, S. (2016, junio 20). Grados de libertad en ríos. [https://www.hidraulicafacil.com/2016/06/grados-  
de-libertad-en-rios.html](https://www.hidraulicafacil.com/2016/06/grados-de-libertad-en-rios.html)
- Jimmy contreras. (07:04:20 UTC). Encauzamiento de Rios [Educación].  
<https://es.slideshare.net/jimmyharrycontrerasaguirre/encauzamiento-de-rios>
- Julio Montenegro. (2017, septiembre 13). CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE  
ENCAUZAMIENTO Y PROTECCIÓN ANTE INUNDACIONES – Wasser World | Ingeniería y  
Medio Ambiente. Wasser World. <https://wassereng.com/disenio-encauzamiento-criterios/>

- Los ríos | Geografía. (s. f.). Recuperado 19 de febrero de 2020, de <https://lageografia.com/geografia-fisica/los-rios>
- losviajeroscom. (2020, abril 13). Cascada Manto de la Novia—Fotos de Ecuador -. LosViajeros.com. <https://www.losviajeros.com/Fotos.php?pl=69399>
- Mabllo, D. (2014, junio 23). Arrastre de sedimentos por el método de Shields. Parte 1. Un Blog para aprender y para recordar. <https://unblogdeingenieria.wordpress.com/2014/06/23/arrastre-de-sedimentos-por-el-metodo-de-shields-parte-1/>
- Martín, J. P. (2009). Ingeniería de Ríos. Universidad Politécnica de Catalunya. [https://books.google.com.ec/books?id=DIDodO5iHEYC&pg=PT139&lpg=PT139&dq=ENCAuzamiento+de+rios+RAMBLA&source=bl&ots=Ft4rYBE2ca&sig=ACfU3U3Q1Yz7G1\\_W87SqqznXYj5CQmOGEg&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi205OJo-DnAhVjZN8KHXPgAssQ6AEwB3oECAkQAQ#v=onepage&q=ENCAuzamiento%20de%20rios%20RAMBLA&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=DIDodO5iHEYC&pg=PT139&lpg=PT139&dq=ENCAuzamiento+de+rios+RAMBLA&source=bl&ots=Ft4rYBE2ca&sig=ACfU3U3Q1Yz7G1_W87SqqznXYj5CQmOGEg&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi205OJo-DnAhVjZN8KHXPgAssQ6AEwB3oECAkQAQ#v=onepage&q=ENCAuzamiento%20de%20rios%20RAMBLA&f=false)
- Martín, M. (2017, mayo 17). ÍNDICE DE SINUOSIDAD DE UN CAUCE. Cursos de Ingeniería, Medio Ambiente y Calidad. <http://eimaformacion.com/indice-de-sinuosidad-de-un-cauce/>
- Mateo Blanco. (2014, junio 23). ARRASTRE DE SEDIMENTOS POR EL MÉTODO DE DE SHIELDS [Blog]. Un blog de ingeniería. <https://unblogdeingenieria.wordpress.com/2014/06/23/arrastre-de-sedimentos-por-el-metodo-de-shields-parte-1/>
- Maza, J. A. (2005). Manual de Ingeniería de Ríos. UNAM. [http://eias.usalca.cl/isi/publicaciones/unam/morfologia\\_de\\_rios.pdf](http://eias.usalca.cl/isi/publicaciones/unam/morfologia_de_rios.pdf)
- Maza, J., & García, M. (1996). Estabilización y rectificación de ríos (Vol. 583). Instituto de Ingeniería de UNAM.
- Mendez, A. (2010, 05). Enlace de hidrógeno | La Guía de Química. <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/enlace-de-hidrogeno>
- Mera, D., Vaca, M., Maza, J., & Basantes, K. (2014, abril). Construcción de gaviones [Ingeniería]. <https://es.slideshare.net/mayracarol/construccion-de-gaviones>

- Montenegro, J. (2012). Criterios para el Diseño de Obras de encauzamiento y protección ante inundaciones. CivilGeeks.com. <https://civilgeeks.com/2012/08/25/criterios-para-el-diseno-de-obras-de-encauzamiento-e-inundaciones-en-rios/>
- Palma, N. A. P. (2007). ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA DINAMICA DE SEDIMENTOS COHESIVOS EN SUSPENSION EN UN FLUJO TURBULENTO. 125.
- Pinterest. (s. f.). Pinterest. Recuperado 21 de julio de 2020, de <https://www.pinterest.es/pin/730216527051223467/>
- Piñar, R. (2008). Proyecto de construcción de un muro de gaviones de 960 m<sup>3</sup> [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6034/construcci%C3%B3n-muro-gaviones.pdf?sequence=1>
- R. Nave, M. O. (2009). Chemical Bonds. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Chemical/bond.html>
- Rauhermi. (2017, noviembre 26). Protecciones de escollera en un tramo de rambla | Es el agua. <http://eselagua.com/2017/11/26/protecciones-de-escollera-en-un-tramo-de-rambla/>
- Raul Herrero. (2017, noviembre 26). Protecciones de escollera en un tramo de rambla. Es El Agua. <http://eselagua.com/2017/11/26/protecciones-de-escollera-en-un-tramo-de-rambla/>
- Rocha, A. (1998). INTRODUCCIÓN A LA HIDRÁULICA FLUVIAL (PRIMERA). [https://www.researchgate.net/profile/Arturo\\_Rocha\\_Felices/publication/315829253\\_Introduccion\\_a\\_la\\_Hidraulica\\_Fluvial/links/58e98284a6fdccb4a8322453/Introduccion-a-la-Hidraulica-Fluvial.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Arturo_Rocha_Felices/publication/315829253_Introduccion_a_la_Hidraulica_Fluvial/links/58e98284a6fdccb4a8322453/Introduccion-a-la-Hidraulica-Fluvial.pdf)
- Rojas, F. (2014). BASES DE DISEÑO HIDRÁULICO PARA LOS ENCAUZAMIENTOS O CANALIZACIONES DE RIOS. [UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2592/1/T-UCE-0011-97.pdf>
- Royuela, Q. (2019, 11). La fuerza de van der Waals—Principia. <http://principia.io/2019/11/22/la-fuerza-de-van-der-waals/>

- Ruta06Vega-MeandroAbandonadoSanMartn.pdf. (s. f.). Recuperado 21 de julio de 2020, de <http://www.ancaresleoneses.es/images/Ruta06Vega-MeandroAbandonadoSanMartn.pdf>
- Santiago. (2008, febrero 21). El estudio de los ríos: El cauce. La guía de Geografía. <https://geografia.laguia2000.com/hidrografia/el-estudio-de-los-rios-el-cauce>
- SSSA. (2019, julio 16). ¿Qué son los agregados del suelo? [https://www.infoagro.com/noticias/2019/\\_que\\_son\\_los\\_agregados\\_del\\_suelo\\_.asp](https://www.infoagro.com/noticias/2019/_que_son_los_agregados_del_suelo_.asp)
- Stanley Alfred Schumm. (1977). The Fluvial System. Blackburn Press.
- Sunderbans National Park. (2011, noviembre 25). Delta del Ganges—Terra MODIS. Programa 2MP. <https://2mp.conae.gov.ar/index.php/materiales-educativos/material-educativo/imagenes-destacadas/323-delta-del-ganges-terra-modis-25-de-noviembre-de-2011>
- Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2016, marzo). Ciencias de la Tierra—Una Introducción a la Geología Física. [https://www.rutageologica.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=398&Itemid=96&limitstart=14](https://www.rutageologica.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=398&Itemid=96&limitstart=14)
- TIPOS DE SUELO.pdf. (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2020, de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/TIPOS%20DE%20SUELO.pdf>
- Urbanas, O. (2016, septiembre 28). Construcción sostenible: La vegetación en los taludes. Obras Urbanas. <https://www.obrasurbanas.es/vegetacion-taludes/>
- Varela, I. (2017, junio 5). ¿Cómo se Forman los Ríos? Lifeder. <https://www.lifeder.com/como-forman-rios/>
- Victor Yepes. (2015, junio). Muros de gaviones. Universidad Politécnica de Valencia. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/06/10/muros-de-gaviones/>
- Wiki. (2020). Meandro. En Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Meandro&oldid=127606240>
- Yepes, V. (2016). Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención. Universitat Politècnica de València.



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Estupiñán Mendoza, Jean Carlo**, con C.C: # **0802948455** autor del trabajo de titulación: **Encauzamientos de ríos. Procedimientos de cálculo y su análisis.** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **11 de septiembre de 2020.**

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Estupiñán Mendoza, Jean Carlo**

C.C: **0802948455**



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Encauzamientos de ríos. Procedimientos de cálculo y su análisis		
<b>AUTOR:</b>	Jean Carlo Estupiñán Mendoza		
<b>REVISOR/TUTOR:</b>	Andrés Fernando Castro Beltrán		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Ingeniería.		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil.		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Civil.		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	11 de septiembre de 2020	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	67
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Hidrología, Litología, Orografía		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Intemperismo, capa limite, dipolo, demasías, flóculos, aluvial.		
<p><b>RESUMEN:</b> Los ríos son fuentes hídricas importantes que permiten el desarrollo vital de las poblaciones aledañas, ayudan en la navegación y transporte, en especial en zonas de difícil acceso, sin embargo, con el cambio climático, el ciclo hidrológico es alterado por lo que las grandes precipitaciones, avenidas, estiajes modifican los lechos de las corrientes fluviales, por este motivo el hombre busca alternativas de desviar estos cauces para beneficio propio. El objetivo del presente estudio es caracterizar las teorías, metodologías y procesos evolutivos involucrados con las técnicas de construcción de cauces de ríos, de la misma forma analizar los parámetros morfológicos, tipos de lechos, granulometría, hidrología, meteorización e intemperismo que ayudan a la correcta ejecución, ya sea en ambientes de montañas, valles, ambientes urbanos, donde posteriormente serán diseñados e implementados. La investigación tuvo como resultado que los cauces aguas arriba y crecidas, provocan que los ríos no respeten la sinuosidad y la pendiente causada por el valle aluvial, mientras que los cauces aguas abajo son persistentes y van produciendo la incisión en el cauce, aumentando la sinuosidad y disminuyendo la pendiente correspondiente. Una obra de encauzamiento parcial puede generar mayor estabilidad que la protección que se pretende construir.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR:</b>	<b>Teléfono:</b> +593987080460	E-mail: jc.1993@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Ing. Glas Cevallos, Clara Catalina		
	<b>Teléfono:</b> +593-98- 461- 6792		
	<b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			