



**GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA
ESTUDIO DE LAS CORRIENTES, EL
MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS Y SU
APLICACIÓN EN LA INGENIERIA CIVIL**

Autores:

Marielcy Sevilla

C.I: 22.743.180

María Daniela Álvarez

C.I: 20.501.017

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono (0241) 8714240 (master)



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA
ESTUDIO DE LAS CORRIENTES, EL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS
Y SU APLICACIÓN EN LA INGENIERÍA CIVIL.**

Autores: Marielcy Sevilla
C.I: 22.743.180
María Daniela Álvarez
C.I: 20.501.017
Tutor: Ing. Emerly Castillo
C.I: 4.464.524

San Diego, Marzo de 2018.



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

FI-CV-023-2018-1

Valencia, 30 de Mayo de 2018

Ciudadanas:
Sevilla Marielcy
C.I. 22.743.180
Álvarez María
C.I. 20.501.017
Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 1-2018 de fecha **30/05/2018** aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **"GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGIA. ESTUDIO DE LAS CORRIENTES, EL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS Y SU APLICACIÓN EN LA INGENIERIA CIVIL."** Presentado por usted(es) como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Ing. Emerly Castillo, C.I. 4.464.524 y la Ing. Alicia Yanez de Pizzella, C.I. 4.598.880 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Zulay Salcedo
Decana de la Facultad de Ingeniería



c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

ZS/fr



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Emerly Castillo portador de la cédula de identidad N° 4.464.524, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Álvarez Daniela y Sevilla Marieley, portadores de la cédula de identidad N° 20.501.017 y N° 22.743.180 respectivamente, titulado **"GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA. ESTUDIO DE LAS CORRIENTES, EL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS Y SU APLICACIÓN EN LA INGENIERIA CIVIL"**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, Marzo del año 2018.

Ing. Emerly Castillo.

C.I.: 4.464.524



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

San Diego, Marzo de 2018

ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **“GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA. ESTUDIO DE LAS CORRIENTES, EL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS Y SU APLICACIÓN EN LA INGENIERÍA CIVIL.”** ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Emerly Castillo.
Tutor Académico

Firma

Fecha

Ing. Alicia Yanéz de Pizzella
Tutor Metodológico

Firma

Fecha

ÍNDICE

CONTENIDO	PP.
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN INFORMATIVO	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema	3
1.2 Formulación del Problema	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Justificación del Problema	5
1.5 Alcance y Limitación	6
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la investigación	7
2.2 Bases Teóricas	9
2.2.1 Guía Técnica	9
2.2.1.1 Como se estructura una guía técnica	10
2.2.2 Cuencas Hidrográficas	10
2.2.3 Corrientes	12
2.2.3.1 Tipos de Corrientes	12
2.2.3.2 Transporte del sedimento por las corrientes	19
2.2.4 Canales	23
2.2.5 Transporte de Sedimentos	24
2.2.5.1 Proceso de Sedimento	25
2.2.6 Métodos directos de Estimación de Caudales	27
2.3 Definición de términos básicos	40
III MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo de Investigación	43
3.2 Diseño de la Investigación	41
3.3 Nivel de Investigación	41
3.4 Población	42
3.5 Muestra	42
3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	43
3.7 Fases Metodológicas	44
IV RESULTADOS	
4.1 Encuesta	46

4.2	Evaluar los diferentes métodos de cálculo y su aplicación práctica en el comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos	...	89
4.3	Generar ejercicios aplicando herramientas digitales para el estudio del comportamiento de las corrientes y movimiento de sedimentos	...	90
4.4	Proponer ejercicios con data real que sirva de ejemplo aplicaciones a situaciones propias del estudio del comportamiento de las corrientes y movimiento de sedimentos	...	90
4.5	Diseñar la guía técnica de Hidrología con el tema de comportamiento de las corrientes y movimiento de sedimentos	...	90
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES			
5.1	Conclusiones	.....	91
5.2	Recomendaciones	.....	91
REFERENCIAS		.....	93

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

	CONTENIDO	PP.
FIGURA		
1	Influencia de la forma del cauce sobre la velocidad.....	14
2	Perfil Longitudinal de una cuenca.....	16
3	Niveles de bases locales o temporales.....	17
4	Método del Molinete.....	26
5	Modelo del Molinete Gurley 622 A.....	26
6	Ecuación de calibración para algunos Molinetes.....	28
7	Medición de caudales por medio de trazadores	29
8	Medición de caudales por medio de trazadores	30
9	Perfil de concentración en el río.....	31
10	Escalas limnimétricas en diferentes lugares.....	32
11	Modelo de un limnígrafo clásico.....	33
12	Fórmula para Vertederos triangulares.....	34
13	Fórmula para vertederos rectangulares.....	34
14	Fórmula para vertederos trapezoidal (Cipolletti).....	35
15	Curva de gasto o descarga.....	36



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA
ESTUDIO DE LAS CORRIENTES, EL MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS
Y SU APLICACIÓN EN LA INGENIERÍA CIVIL.**

Autores: Álvarez María Daniela

Sevilla Marielcy

Tutor: Ing. Emerly Castillo.

Fecha: Marzo, 2018

RESUMEN INFORMATIVO

La presente investigación tiene como objetivo principal elaborar una guía técnica de hidrología, sobre el estudio de las corrientes y el movimiento de sedimentos con el firme propósito de facilitar información teórica básica utilizando herramientas digitales que logren desarrollar ejemplos de forma práctica y así lograr un entendimiento completo y aplicable del estudio enmarcadas en la sustentabilidad ambiental. Esto se logrará mediante el desarrollo de un proyecto factible apoyada en una investigación tipo documental, el universo poblacional estará constituido por la totalidad de 194 estudiantes de Ing. Civil cursantes de los semestres 7mo, 8vo, 9no y 10mo semestre, la muestra será seleccionada en un aproximado del 30% de la totalidad de la población, que poseen los conocimientos básicos para responder a la incógnitas que se presentarán en el instrumento de recolección de datos, a través de la encuesta, el cual suministrará información relevante, que facilita la comprensión de la materia Hidrología en los elementos específicos de estudio, para lograr así una visualización de los cálculos hidrológicos en cuencas para su posterior utilización en casos reales de la Ingeniería Civil.

Descriptor: Corrientes, sedimentos, guía técnica, sustentabilidad ambiental.

INTRODUCCIÓN

La Universidad José Antonio Páez se ha visto en la obligación de mejorar los métodos de enseñanza, a través de la realización de textos que permiten mejorar y apoyar el desempeño del estudiante. Es por tal razón, que la asignatura de Hidrología de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil se imparte con materiales de apoyo limitados, escritos por diferentes autores que abordan temas que se desarrollan en el campo de la hidrología, pero que dificultan el entendimiento de la dinámica de la materia en la aplicabilidad práctica en proyectos civiles. Es importante recalcar que esta información no es desarrollada con herramientas o aplicaciones digitales. El presente estudio tiene el propósito de elaborar una guía técnica de hidrología, para estudio del comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos utilizando herramientas digitales que logren desarrollar ejemplos de forma práctica y así lograr un entendimiento completo y aplicable del estudio de la cuenca contribuyente enmarcadas en la sustentabilidad ambiental.

El desarrollo de la investigación se orienta desde el punto de vista de la redacción de un instrumento que facilite la comprensión de la materia Hidrología, específicamente en el tema de la cuenca contribuyente para estudios del comportamiento de corrientes y tránsito de sedimentos en ejemplos prácticos para lograr así una visualización de los cálculos hidrológicos en cuencas para su posterior utilización en casos reales de la ingeniería civil.

Por eso, esta investigación está estructurada según las normas que indica el Manual Normas para la Elaboración y Presentación de los Anteproyectos, Proyectos y Trabajos de Grado de la Universidad José Antonio Páez vigente:

El Capítulo I, Se presenta el problema que se busca solucionar con la investigación, la justificación del por qué se realizó la misma, teniendo en cuenta la situación mostrada y los objetivos específicos que se plantean los cuales orientan a un

objetivo general, considerando los parámetros de estudio, se muestra el alcance proyectado de acuerdo a las limitaciones presentes con esta investigación.

El capítulo II, Se señala los antecedentes de investigación que posee relevancia, debido a que las mismas poseen estrecha relación con el tema del trabajo de grado, así como se describe en la teoría, que concierne al tema de investigación para su posible realización y entendimiento.

El capítulo III, Describe el procedimiento práctico y metodológico que seguirá la investigación, así como los elementos utilizados y técnicas de análisis en su realización.

El Capítulo IV, Presenta de manera detallada los resultados analizados de la encuesta y los resultados de los objetivos, para la elaboración de la guía técnica.

El Capítulo V; Se hace referencia a las conclusiones y recomendaciones del entorno, a profundizar en relación al tema en estudio, obtenido en la realización de la propuesta a considerar para futuras generaciones.

Por último, las referencias bibliográficas.

CAPÍTULO 1

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La Hidrología es la ciencia que estudia el agua y sus manifestaciones en la atmósfera, sobre y debajo de la superficie terrestre; asimismo sus propiedades y sus interrelaciones naturales. Desde el punto de vista de la hidrología de superficie y del diseño hidrológico, el agua en el suelo es importante tanto por su almacenamiento en perfiles que inciden en la formación del flujo base (flujo superficial y profundo), como por el campo de velocidades generadas por su movimiento en medio poroso (el suelo) en condiciones saturadas o insaturadas.

Esta ciencia es importante para el campo de la ingeniería civil ya que aporta información que siendo analizada y procesada pueda desarrollar herramientas a través de la hidráulica buscando el aprovechamiento y control del recurso agua. Para el estudio y determinación de los parámetros geomorfológicos se precisa de la información cartográfica de la topografía, del uso del suelo y de la permeabilidad de la región en estudio.

La cuenca como unidad dinámica y natural es un sistema hidrológico en el que se reflejan acciones recíprocas entre variables y parámetros, cuya cuantificación permite definir el estudio del sistema en cualquier momento. Dichos parámetros se clasifican en dos tipos, según la manera en que controlan los fenómenos mencionados: las que condicionan el volumen de escurrimiento, como el área de la cuenca y el tipo de suelo, y las que condicionan la velocidad de respuesta, como son el orden de corrientes, pendiente de la cuenca y los cauces, entre otros.

Por esto, la corriente principal de una cuenca es la corriente que pasa por la salida de la misma. Nótese que esta definición se aplica solamente a las cuencas exorreicas. Las demás corrientes de una cuenca de este tipo se denominan corrientes

tributarias. Todo punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación, toda cuenca tiene una y sólo una corriente principal.

Para los estudiantes de ingeniería civil la hidrología y sus afines se imparte de una manera idealizada con materiales de apoyo limitados a la teoría hidrológica, que dificultan el entendimiento de la dinámica de la materia en la aplicabilidad práctica en proyectos civiles. A nivel académico este proceso del agua es estudiado en la rama de hidrología puesto que es necesario un estudio profundo acerca de sus causas, afectaciones, los parámetros que intervienen, métodos para su estimación y diseño de obras en base a los cálculos hidrológicos obtenidos.

En la actualidad, puede haber material suficiente, pero tal vez el mismo no sea amigable y digerible para que pueda ser usado académicamente por el estudiante. El estudiante universitario necesita poder contar con fuentes de información, además de ejercicios propuestos y resueltos de manera explicativa, basados en data de cuencas existentes que le permitan conocer de manera más profunda este tema para así poder entender dicho fenómeno y todas las posibles variables que intervienen en él de manera directa e indirecta, para gestionar una mejor comprensión del tema.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo se puede facilitar y aclarar la comprensión del estudio de las corrientes y el movimiento de sedimentos en materia de hidrología para los estudiantes de Ingeniería Civil?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Elaborar una guía técnica sobre el estudio de las corrientes y el movimiento de sedimentos y su aplicación en la Ingeniería Civil en el marco de la sustentabilidad ambiental.

1.3.2 Objetivos específicos

Evaluar los métodos de cálculo y su aplicación práctica en el comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos.

Generar ejercicios aplicando herramientas digitales como aplicaciones o software, para el estudio del comportamiento de las corrientes y movimiento de sedimentos.

Proponer ejercicios con data real que sirvan de ejemplo aplicados a situaciones propias del estudio del comportamiento de las corrientes y movimiento de sedimentos.

Diseñar la Guía Técnica de Hidrología con el tema de comportamiento de las corrientes y movimiento de sedimentos en el marco de la sustentabilidad ambiental.

1.4 Justificación del problema

Sin duda el déficit de material de apoyo afecta a la situación actual que viven los estudiantes. La aplicación de los conocimientos debe ser algo constante en cada fase: proyecto, construcción, inspección y mantenimiento. Más que eso no es sólo emplear conocimiento sino a su vez asumir criterios en base a dichos conocimientos y la experiencia. Debido que el material de apoyo existente debería ser actualizado en concordancia con las disponibilidades de los recursos tecnológicos y en un marco global a niveles del ámbito educativo, el presente trabajo plantea la elaboración de una guía técnica que logra analizar la información teórica existente y complementar en el marco de la sustentabilidad incorporando herramientas digitales.

Dado que el contenido de la Hidrología es extenso, el presente trabajo de grado tendrá el propósito de explicar el comportamiento de las corrientes y el movimiento de los sedimentos para generar ejercicios prácticos desarrollados con herramientas digitales y que logren el entendimiento del uso de la teórica hidrológica para aplicarla a obras de la ingeniería civil en el marco de la sustentabilidad ambiental.

Este trabajo de grado se convertirá en un aporte académico para la Universidad José Antonio Páez, beneficiando así a todo aquel que se encuentre relacionado con el estudio

de la hidrología en la carrera de Ingeniería Civil, siendo de gran ayuda a otras universidades que estudian los fenómenos hidrológicos, logrando crear un aprendizaje más integral de la materia donde se involucre la gestión ambiental y el uso de herramientas digitales para el desarrollo práctico de los mismos.

1.5 Alcance y limitación

Para el desarrollo de esta propuesta de proyecto, se desarrollará una guía técnica que sirva de ayuda para los estudiantes de ingeniería civil a la hora de cursar hidrología del pensum de Ingeniería Civil de la Universidad José Antonio Páez.

Se pretende recopilar y analizar el material que contenga aspectos técnicos, ejercicios prácticos y propuestos, donde se utilicen herramientas digitales como aplicaciones o software que manejan y procesan data real de comportamiento de corriente y tránsito de sedimentos generando información para el estudio de obras civiles en el marco de la sustentabilidad ambiental.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Según Sabino (1996) “El marco teórico, marco referencial o marco conceptual tiene el propósito de dar a la investigación un sistema coordinado y coherente de conceptos y proposiciones que permitan abordar el problema. Se trata de integrar al problema dentro de un ámbito donde éste cobre sentido, incorporando los conocimientos previos relativos al mismo y ordenándolos de modo tal que resulten útil a nuestra tarea. El fin que tiene el marco teórico es el de situar a nuestro problema dentro de un conjunto de conocimientos, que permita orientar nuestra búsqueda y nos ofrezca una conceptualización adecuada de los términos que utilizaremos”.

2.1. Antecedentes de la Investigación

Los antecedentes de la investigación tienen como objetivo exponer los estudios previos realizados con el propósito de sustentar el tema de investigación. Tomando en consideración lo mencionado anteriormente, se presentan a continuación los siguientes trabajos de grado:

Gravina G. y Rondón J. (2018), en su proyecto titulado “**Guía Técnica de Hidrología Estudio de la Cuenca Contribuyente y su aplicación en la Ingeniería Civil en el Marco de la Sustentabilidad Ambiental**”, para optar al título de ingeniero civil en la Universidad José Antonio Páez, tuvo como objetivo dar a conocer la elaboración de una guía técnica de hidrología, sobre el tema de la cuenca contribuyente utilizando herramientas digitales que logren desarrollar ejemplos de forma práctica y así lograr un entendimiento completo y aplicable del estudio de la cuenca contribuyente enmarcadas en la sustentabilidad ambiental.

Como vínculo a este estudio otorgará aportes importantes ya que el propósito de este trabajo de investigación es redactar un instrumento que facilite la comprensión de la materia hidrología.

Además, Vela C. (2018), en su trabajo de investigación titulado “**Guía Técnica para el Estudio y Cálculo Hidrológico de la Escorrentía**”, para optar al título de

ingeniero civil en la Universidad José Antonio Páez, Municipio San Diego Valencia, Venezuela, cuyo objetivo fue la elaboración de una guía técnica para conocer el fenómeno de la escorrentía, el cual forma parte del ciclo hidrológico, analizar sus causas, posibles afectaciones tanto al medio ambiente como a las obras civiles, y determinar por medio de fórmulas y análisis matemáticos su intensidad, duración y afectación; analizando investigaciones previas sobre la escorrentía y los métodos de cálculo existentes, lo cual permitirá formular de manera más práctica y didáctica dichas formas de cálculo para que el estudiantado de Ingeniería Civil pueda entender con mayor facilidad el tema y llegué a conocer los distintos métodos de cálculo de uso más difundido.

Se puede concluir que esta guía servirá para profundizar sus conocimientos en la materia hidrología a partir de recopilar información teórica y práctica referente a la escorrentía que permitirá la solución de la falta de material de estudio aplicado a la especialidad, sirviendo como un manual a los estudiantes universitarios.

Así mismo, Zambrano J (2015), en su trabajo de investigación titulado **“Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG”**, para optar al título de ingeniero civil en la universidad Politécnica de Catalunya, ciudad de Barcelona, España, desarrolló un modelo para estimar la producción y el transporte de sedimentos, el cual sirva para predecir el comportamiento de este en cuencas urbanas de cabecera. Por tal motivo se propone un nuevo modelo en base física distribuido aplicable a cuencas con condiciones pluviométricas similares a las del Litoral Mediterráneo (alta intensidad y corta duración). El modelo es aplicado exitosamente en dos cuencas con condiciones de validación totalmente diferentes.

Guarda relación con este estudio ya que determina la producción de sedimentos causados por la erosión hídrica en las cuencas urbanas, especialmente en los puntos críticos, es decir en las cuencas de cabecera. Una manera de realizarlo es mediante la modelación de los procesos que transforman la lluvia en caudal, así como de los procesos de producción, transporte y depósito de sedimentos.

Como aportes importantes a esta investigación brinda información relevante sobre cómo estimar la producción de sedimentos en forma continua y para áreas que puedan ser trabajadas de manera agregada.

2.2. Bases Teóricas

Según Arias (2012) afirma que “Las bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado”. (p. 107).

Para el desarrollo de la presente investigación se hace necesario partir conceptos básicos que engloban el estudio de las cuencas contribuyentes en relación de sus parámetros, tomando en cuenta que la investigación será usada para el estudio por parte de personas con diferentes niveles educativos en el área de Pregrado, será presentado a continuación una serie de términos, fórmulas y tablas que permitirán conocer mejor el tema de investigación.

También, como punto de partida se toma en cuenta el concepto básico de una guía técnica. Cómo está estructurada y de qué manera se realiza una guía técnica.

2.2.1. Guía Técnica

Según (Castillo X. 2016), señala que una Guía Técnica o guía para el usuario es un documento de comunicación técnica destinado a dar asistencia a las personas que utilizan un sistema en particular. Por lo general, este documento está redactado por un escritor técnico. También orientar a los usuarios en la elaboración de su postulación a la convocatoria, entregando información relevante para ser utilizada en la formulación.

2.2.1.1. Cómo se estructura una guía técnica

El mismo autor indica los procedimientos de cómo estructurar una guía técnica: **Análisis y diseño de procedimientos:** A través del conocimiento de los procedimientos puede tenerse una concepción clara y sistemática de las operaciones..

1.-Delimitación del procedimiento

¿Cuál es el procedimiento que se va a analizar?

¿Dónde se inicia?

¿Dónde termina?

2.- Recolección de la Información

Consiste en recabar los documentos y los datos, que una vez organizados, analizados y sistematizados, permitan conocer los procesos tal y como operan en el momento.

Las técnicas que usualmente se utilizan para recabar la información necesaria son:

- a) Investigación documental.
- b) Entrevista directa.
- c) Observación de campo.

3.- Análisis de la información y diseño del procedimiento

Constituye una de las partes más importantes del estudio de procedimientos, consiste fundamentalmente en estudiar cada uno de los elementos de información o grupos de datos que se integraron durante la recolección de información

4. - Análisis del procedimiento

Una vez que todas las actividades se han sometido al análisis correspondiente, y se considera que es necesario mejorar o rediseñar un procedimiento.

2.2.2. Cuencas Hidrográficas

Para el concepto de cuenca hidrográfica se tienen varias definiciones:

Según (Heras, 1972), se entiende por cuenca vertiente, o cuenca de drenaje de un río, considerado en un punto dado de su curso, al área limitada por el contorno en el interior del cual el agua precipitada corre por su superficie, se encuentra y pasa por el punto determinado del cauce.

Sin Embargo (Llamas, 1993), señala que una cuenca es un espacio geográfico cuyos aportes son alimentados exclusivamente por las precipitaciones y cuyos excedentes en agua o en materias sólidas transportadas por el agua forman, en un punto espacial único, una desembocadura o una estación de aforo.

Además, (Bastidas, 2007), la cuenca hidrográfica se puede definir como una unidad del territorio que capta la precipitación, transita el escurrimiento y la

escorrentía, hasta un punto de salida en el cauce principal o igualmente, es un área limitada por una divisoria topográfica que drena a un drenaje común

Se define como línea divisoria a una línea imaginaria que delimita la cuenca. Generalmente se considera que la línea divisoria es la línea de cresta que separa dos vertientes teniendo en cuenta el drenaje superficial. Es posible identificar la línea divisoria sobre un mapa topográfico; en regiones montañosas suele coincidir con la línea de cumbres (divisoria de aguas).

Según (UNAL, 1997) indica que las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella; sin embargo, la poca información cartográfica de la que se dispone, hace que el encontrar esa relación no sea fácil y que por lo tanto su uso en estudios hidrológicos sea limitado, por otra parte no se puede garantizar que toda la información morfométrica de las cuencas utilizadas para el estudio se pueda obtener en una misma escala, lo cual aumenta el grado de incertidumbre sobre la confiabilidad de los parámetros.

2.2.3. Corrientes

Una corriente es la fuerza de desplazamiento de un volumen constante de agua en una dirección determinada. Estas corrientes pueden ser en mar, ríos y lagos. Y puede ser debido a causas naturales, movimientos de la tierra en su movimiento sobre su eje.

2.2.3.1. Tipos de corrientes

Según (Campos D. 1998), las corrientes comúnmente se clasifican en tres tipos:

Perennes: Conducen agua todo el tiempo, excepto durante las sequías extremas.

Intermitentes: Llevan agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en épocas de lluvias.

Efímeras: Sólo conducen agua durante las lluvias o inmediatamente después de estas.

A partir de los tipos de corrientes se derivan sus clasificaciones:

1. Corrientes de Aguas Superficiales

Según (Eclesiastés 1,7), todos los ríos desembocan en el mar; sin embargo, el mar no está lleno; hacia el lugar de donde vienen los ríos, hacia allá regresan de nuevo. Como indica el preceptivo escritor del Eclesiastés, el agua está en continuo movimiento, del océano a la tierra y de vuelta de nuevo en un ciclo interminable. Simplemente, el agua está por todas las partes de la Tierra: en los océanos, los glaciares, los ríos, los lagos, el aire, el suelo y en el tejido vivo. Todos estos, constituyen la hidrosfera terrestre.

El agua puede cambiar rápidamente de un estado de materia (sólido, líquido o gaseoso) a otro a las temperaturas y las presiones existentes en la superficie de la Tierra. Por consiguiente, el agua se está moviendo constantemente entre la hidrosfera, la atmósfera, la tierra sólida y la biosfera. Esta circulación interminable del suministro de agua de la Tierra se denomina ciclo hidrológico. El ciclo nos muestra muchas interrelaciones cruciales entre partes diferentes del sistema Tierra.

Los ríos son muy importantes para los seres humanos. Se utilizan como vías para el desplazamiento de mercancías, como fuentes de agua para irrigación y como fuente de energía, sus fértiles llanuras de inundación se han cultivado desde los inicios de la civilización. Cuando se consideran como parte del sistema Tierra, los ríos y las corrientes de agua representan un vínculo básico en el reciclado constante del agua del planeta. Además, el agua de escorrentía es el agente dominante de la alteración del paisaje, erosionando más terreno y transportando más sedimento que cualquier otro proceso.

2. Las aguas de escorrentía

Según (Tarbuck E., Lutgens F. 2005), el agua de escorrentía fluye inicialmente por el suelo en filas y extensas láminas en lo que se denomina apropiadamente escorrentía en lámina. La cantidad de agua que discurre de esta manera, en vez de hundirse en el suelo, depende de la capacidad de infiltración del suelo. La capacidad de infiltración está controlada por muchos factores, entre ellos:

1. La intensidad y la duración de la precipitación

2. El estado de humedad previo del suelo
3. La textura del suelo
4. La pendiente del terreno
5. La naturaleza de la cubierta vegetal.

Cuando el suelo se satura, comienza la escorrentía en lámina como una capa de tan sólo unos milímetros de grosor. Después de fluir como una lámina fina no confinada durante una corta distancia, los hilos de corriente suelen desarrollarse y empiezan a formarse pequeños canales denominados acanaladuras transportando el agua a una corriente.

3. Flujo de corriente

El mismo autor expresa que el agua puede fluir de dos maneras: como flujo laminar o como flujo turbulento. Cuando el movimiento es laminar, las partículas de agua fluyen en trayectorias rectas que son paralelas al cauce. Las partículas de agua se mueven corriente abajo sin mezclarse. Por el contrario, cuando el flujo es turbulento, el agua se mueve de una manera confusa y errática, que a menudo se caracteriza por la presencia de remolinos turbulentos.

La velocidad de la corriente es un factor fundamental que determina si el flujo va a ser laminar o turbulento. El flujo laminar sólo es posible cuando el agua se mueve muy lentamente a través de un cauce suave. Si la velocidad aumenta o el canal se vuelve abrupto, el flujo laminar cambia a flujo turbulento. El movimiento del agua en las corrientes suele ser lo bastante rápido como para que el flujo sea turbulento. El movimiento pluridireccional del flujo turbulento erosiona el cauce de la corriente y mantiene suspendido el sedimento dentro del agua, de manera que pueda ser transportado corriente abajo, con gran eficacia.

El agua que fluye se abre camino hacia el mar bajo la influencia de la gravedad. Algunas corrientes perezosas fluyen a una velocidad inferior a 1 kilómetro por hora, mientras que en algunos rápidos pueden superar los 30 kilómetros por hora. Las velocidades se determinan en estaciones de medición, que hacen determinaciones en

varios puntos a través del cauce del río y luego se calcula la media. Esto se hace porque la velocidad del movimiento del agua no es uniforme dentro del cauce de una corriente.

Cuando el cauce es recto, las mayores velocidades se producen en el centro, justo por debajo de la superficie (ver figura 1). Aquí es donde la fricción es menor. Las velocidades mínimas se encuentran a lo largo de los lados y en el fondo (lecho) del cauce, donde la fricción es siempre mayor. Cuando el cauce de una corriente tiene curvas o es tortuoso, el flujo más rápido no se encuentra en el centro. En cambio, la zona de velocidad máxima se desvía hacia el lado externo de cada recodo.

La capacidad de una corriente para erosionar y transportar materiales está directamente relacionada con su velocidad. Variaciones incluso ligeras de velocidad pueden inducir cambios significativos en la carga de sedimento que el agua puede transportar. Varios factores determinan la velocidad de una corriente, controlan la cantidad de trabajo erosivo que una corriente puede llevar a cabo. Entre esos factores se cuentan:

El gradiente: Se expresa normalmente como la caída vertical de una corriente a lo largo de una distancia dada. Los gradientes varían considerablemente de una corriente a otra, así como a lo largo del curso de una corriente determinada.

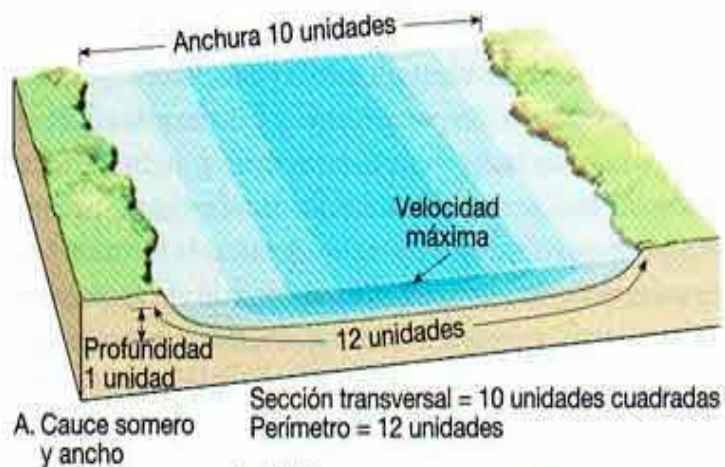




Figura 1. Influencia de la forma del cauce sobre la velocidad.

Fuente: Tarbuck E., Lutgens F (2005)

La forma transversal de un canal determina la cantidad de agua que estará en contacto con el cauce y, por tanto, afecta a la fricción por arrastre. El cauce más eficaz es aquel cuya área transversal tiene el menor perímetro. En la Figura 1 se comparan dos formas de cauce. Aunque el área transversal de los dos es idéntica, la forma semicircular tiene menos agua en contacto con el cauce y, por consiguiente, menos fricción por arrastre. Como consecuencia, si todos los demás factores son iguales, el agua fluirá con mayor rapidez en el cauce semicircular.

El tamaño y la irregularidad del cauce afectan también a la cantidad de fricción. Un aumento del tamaño del cauce reduce el radio del perímetro con respecto al área transversal, aumenta la eficacia del flujo. Un canal liso propicia un flujo más uniforme, mientras que un canal irregular lleno de enormes piedras crea suficiente turbulencia como para retrasar significativamente el movimiento hacia delante de la corriente.

El caudal de una corriente es la cantidad de agua que atraviesa un determinado punto en una unidad de tiempo concreta. Suele medirse en metros cúbicos por segundo. El caudal se determina multiplicando el área transversal de una corriente por su velocidad:

Caudal ($\text{m}^3/\text{segundo}$): anchura del cauce (m) x profundidad del cauce (m) x velocidad (m/segundo).

Los caudales de la mayoría de los ríos distan mucho de ser constantes. Esto se debe a variables como las precipitaciones y el deshielo. Cuando cambia el caudal, los factores indicados antes deben cambiar también. Cuando aumenta el caudal, la anchura o la profundidad del cauce deben incrementarse o el agua debe fluir más rápidamente, o debe cambiar alguna combinación de esos factores.

De hecho, las determinaciones demuestran que cuando aumenta la cantidad de agua de una corriente, la anchura, profundidad y velocidad aumentan de una manera ordenada, reduciendo la fricción, que actúa retrasando el flujo. Cuanto menor sea la fricción, con mayor rapidez fluirá el agua. Los caudales de los ríos distan mucho de ser constantes.

Cambios de corriente arriba a corriente abajo

Sin embargo, el mismo autor señala una forma útil de estudiar una corriente de agua es examinar su perfil longitudinal. Dicho perfil es simplemente una sección de una corriente desde su área de origen. El perfil longitudinal es un corte a lo largo de la longitud de una corriente fluvial. Obsérvese la curva cóncava hacia arriba del perfil, con un gradiente más inclinado corriente arriba y un gradiente más suave corriente abajo. (Ver Figura 2)



Figura 2. Perfil Longitudinal de un cauce.

Fuente: Tarbuck E., Lutgens F (2005)

El perfil longitudinal muestra que el gradiente disminuye corriente abajo, Para ver cómo cambian otros factores en la misma dirección, deben hacerse observaciones y

medidas. Los datos recogidos en estaciones de aforo sucesivas a lo largo del río, demuestran que el caudal aumenta hacia la desembocadura. A medida que se desciende corriente abajo, cada vez más afluentes aportan agua al cauce principal. En el caso del Amazonas, por ejemplo, unos 1.000 afluentes se unen al río principal a lo largo de su curso, de 6.500 kilómetros, a través de Sudamérica.

Nivel de base y corrientes en equilibrio

Además, el mismo autor indica que en (1987) John Powell introdujo el concepto de que hay un límite hacia abajo para la erosión de la corriente fluvial que se denomina nivel de base. El nivel de base se define como la menor elevación a la cual una corriente puede profundizar su cauce. En esencia, es el nivel al cual una corriente desemboca en el océano, un lago u otra corriente. El nivel de base explica el hecho de que la mayoría de los perfiles de las corrientes tenga gradientes bajos cerca de sus desembocaduras, porque las corrientes se aproximan a la elevación por debajo de la cual no pueden erosionar sus lechos. Powell reconoció que existen dos tipos de nivel de base:

Es posible considerar el nivel del mar como un nivel de base principal, por debajo del cual las tierras secas no pueden ser erosionadas; pero podemos tener también, para propósitos locales o transitorios, otros niveles de base de erosión. Los niveles de base locales o temporales son los lagos, las capas de roca resistentes y muchas corrientes fluviales que actúan como niveles de base para sus afluentes. Todos tienen la capacidad de limitar una corriente a un cierto nivel.

Por ejemplo, cuando una corriente entra en un lago, su velocidad se aproxima rápidamente a cero y cesa su capacidad de erosionar. Por tanto, el lago evita que la corriente erosione por debajo de su nivel en cualquier punto corriente arriba del lago. Sin embargo, dado que la desembocadura del lago puede producir erosión descendente y drenar el lago, este último representa sólo un impedimento transitorio a la capacidad de la corriente para erosionar su cauce.

Cualquier cambio del nivel de base provocará el reajuste correspondiente en las actividades de las corrientes de agua. Cuando se construye una presa a lo largo del curso de una corriente, el vaso de almacenamiento o embalse que se forma detrás del

eleva sube el nivel de base de la corriente. Aguas arriba del pantano, el gradiente de la corriente se reduce, disminuyendo su velocidad y, por consiguiente, su capacidad transportadora de sedimentos. La corriente, ahora incapaz de transportar toda su carga, depositará el material, elevando con ello su cauce. Este proceso continúa hasta que la corriente vuelve a tener un gradiente suficiente para transportar su carga. El perfil del nuevo cauce sería similar al del antiguo, excepto en que sería algo más elevado. (Ver Figura 3)

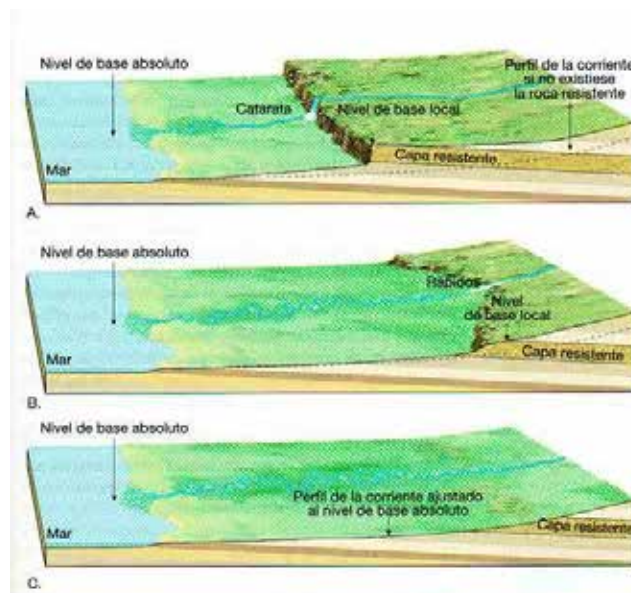


Figura 3. Niveles de base locales o temporales

Fuente: Tarbuck E., Lutgens F (2005)

La observación de que las corrientes ajustan su perfil a los cambios del nivel de base indujo el concepto de corriente en equilibrio. Una corriente en equilibrio tiene la pendiente correcta y otras características de cauce necesarias para mantener precisamente la velocidad necesaria para transportar el material que se le suministra.

Como promedio, un sistema en equilibrio no erosiona ni deposita el material, simplemente lo transporta. Una vez que una corriente ha alcanzado este estado de equilibrio, se convierte en un sistema autorregulador en el cual un cambio de una característica produce un ajuste de las otras para contrarrestar el efecto.

Erosión de las corrientes fluviales

No obstante, el mismo autor indica que las corrientes erosionan sus cauces de tres maneras: recogiendo los granos débilmente consolidados, mediante abrasión y por disolución. La última de ellas es con mucho la menos significativa. Aunque se produce algo de erosión por la disolución del lecho de roca soluble y los derrubios del cauce, la mayoría del material disuelto en una corriente procede de los flujos de entrada del agua subterránea.

Como se expuso antes, cuando el flujo del agua es turbulento, el agua hace remolinos. Cuando un remolino es lo suficientemente fuerte, puede desalojar partículas del cauce y recogerlas en el agua en movimiento. De esta manera, la fuerza de las aguas corrientes erosiona los materiales poco consolidados del lecho y los márgenes de la corriente. Cuanto más fuerte sea la corriente, con mayor eficacia recogerá los granos. En algunos casos, el agua es empujada a través de grietas y planos de estratificación con la suficiente fuerza como para recoger en sentido estricto trozos de roca del lecho del cauce.

2.2.3.2. Transporte del sedimento por las corrientes

El mismo autor también señala que las corrientes son el agente erosivo más importante de la Tierra. No sólo tienen la capacidad de excavar su cauce, sino que también pueden transportar enormes cantidades de sedimento producido por meteorización. Aunque la erosión del cauce de una corriente aporta cantidades significativas de material para el transporte, con mucho la mayor cantidad de sedimento transportada por una corriente procede de los productos de la meteorización. La meteorización produce cantidades tremendas de material que son liberadas a la corriente por la esorrentía en lámina, los procesos gravitacionales y el agua subterránea.

Las corrientes transportan su carga de sedimentos de tres maneras: en solución (carga disuelta); en suspensión (carga suspendida), y a lo largo del fondo del cauce (carga de fondo). Veamos ahora cada una de ellas.

Carga disuelta

La mayor porción de la carga disuelta transportada por la mayoría de las corrientes es suministrada por el agua subterránea. Cuando el agua atraviesa el terreno, lo primero que adquiere son los componentes solubles del suelo. A medida que profundiza más a través de grietas y poros del lecho de roca subyacente, puede disolver más materia mineral. Por último, gran parte de esta agua rica en minerales. llega a las corrientes fluviales.

La velocidad del flujo de la corriente no tiene, en esencia, efecto alguno sobre la capacidad de la corriente para transportar su carga disuelta. Una vez disuelto, el material va a donde quiera que vaya la corriente, con independencia de la velocidad. Se produce precipitaciones de los sedimentos, sólo cuando cambia la composición química del agua.

La cantidad de material transportado en solución es muy variable y depende de factores como el clima y el contexto geológico. Normalmente, la carga disuelta se expresa como partes de material disuelto por partes de millón de agua (partes por millón, o ppm). Aunque algunos ríos pueden tener una carga disuelta de 1.000 ppm o más, la cifra media para los ríos de todo el mundo se calcula entre 115 y 120 ppm. Las corrientes suministran a los océanos casi 4 millones de toneladas métricas de material disuelto al año.

Carga suspendida

La mayoría de las corrientes (pero no todas) transporta la mayor parte de su carga en suspensión. De hecho, la nube visible de sedimento suspendido en el agua es la porción más obvia de la carga de una corriente. Normalmente sólo los granos del tamaño de la arena fina, el limo y la arcilla pueden ser transportados de esta manera, pero durante la época de las inundaciones se transportan también partículas mayores. También durante esta época de las inundaciones, la cantidad total de material transportado en suspensión aumenta de manera notable.

El tipo y la cantidad de material transportado en suspensión están controlados por dos factores: la velocidad del agua y la velocidad de sedimentación de cada grano de sedimento. La velocidad de sedimentación se define como la velocidad a la cual cae

una partícula a través de un fluido inmóvil. Cuanto mayor sea la partícula, más deprisa se dirige al lecho de la corriente. Además del tamaño, la forma y el peso específico de los granos influyen también en la velocidad de sedimentación. Los granos planos se hunden en el agua más despacio que los esféricos, y los granos densos caen hacia el fondo más deprisa que los granos menos densos. Cuanto más lenta sea la velocidad de sedimentación y más fuerte la turbulencia, más tiempo permanecerá en suspensión una partícula de sedimento y más lejos será transportada corriente abajo por el flujo del agua.

Carga de fondo

Los granos que constituyen la carga de fondo se mueven a lo largo del mismo mediante rodamiento, deslizamiento y saltación, El sedimento que se mueve por saltación, parece saltar o brincar a lo largo del lecho de la corriente. Esto ocurre cuando los granos son propulsados hacia arriba por las colisiones o levantados por la corriente y luego transportados corriente abajo una corta distancia hasta que la gravedad los empuja de nuevo hacia el lecho de la corriente. Los granos que son demasiado grandes o densos para moverse por saltación o bien ruedan o se deslizan a lo largo del fondo, según sus formas.

Depósitos de sedimentos por las corrientes fluviales

(Zambrano J. 2015), expresa que la velocidad de una corriente disminuye siempre que su competencia se reduce, y los granos de sedimento se depositan en un orden definido por tamaños. A medida que el flujo de la corriente disminuye por debajo de la velocidad de sedimentación crítica de una partícula determinada, empieza a depositarse el sedimento de esa categoría.

Por tanto, el transporte de la corriente proporciona un mecanismo por medio del cual se separan los granos sólidos de diversos tamaños. Este proceso, denominado selección, explica por qué los granos de tamaño similar se depositan juntos.

El material bien seleccionado típicamente depositado por una corriente de agua se denomina aluvión, término general utilizado para definir los sedimentos depositados por una corriente fluvial. Muchos rasgos deposicionales diferentes están compuestos

por aluvión. Algunos de esos rasgos pueden encontrarse dentro de los cauces de los ríos, algunos aparecen en el suelo de los valles adyacentes a los cauces y otros en la desembocadura de la corriente.

Depósitos de canal

El mismo autor señala que a medida que un río transporta el sedimento hacia el mar, algo del material puede depositarse dentro del cauce. Los depósitos de canal están compuestos la mayoría de las veces por arena y grava, los componentes más gruesos de la carga de una corriente, a los que se suele denominar como barras. Sin embargo, son sólo elementos transitorios, ya que el material será recogido de nuevo por el agua corriente y transportado más lejos corriente abajo. Por fin, la mayor parte del material será transportada a su destino último: El océano, lo cual no ocurre en las cuencas endorreicas ya que ellas son áreas en las que el agua no tiene salida fluvial hacia el océano.

Las barras de arena y grava pueden formarse en una gran cantidad de situaciones. Por ejemplo, son comunes allí donde las corrientes fluyen en una serie de recodos, denominados meandros. Conforme la corriente fluye alrededor de un recodo, la velocidad del agua en la parte exterior aumenta, lo que induce erosión en ese punto. Al mismo tiempo, en la parte interior del meandro, el agua va más despacio, lo que hace que algo de la carga de sedimento se deposite. Cuando esos depósitos se producen en el punto interno del recodo, se denominan barras de meandro.

2.2.4 Canales

Según (Delgado M. 2012), dice que el término canal es aquel que se utiliza para designar a aquellos conductos de agua estrechos por los cuales se puede navegar o que pueden servir para redireccionar el curso del agua de otros espacios naturales como el mar o un río.

También, el mismo autor dice que un canal de navegación es una vía de agua, a menudo de origen artificial, que generalmente conecta lagos, ríos u océanos. Se utilizan para el transporte, a menudo surcados por barcazas en los canales fluviales y por barcos en los canales que conectan océanos.

Tipos de canales

El mismo autor señala que los canales se pueden clasificar de varias formas, según se considere: visibilidad del agua, material, sección.

Tipo de Canales Según Visibilidad del Agua

Los canales pueden ser abiertos o cerrados, pero el agua tanto en unos como en otros siempre circula en continuo contacto con la atmósfera.

Canales Abiertos: Aquellos en los que la lámina de agua en contacto con la atmósfera se encuentra visible. Entre las características principales de estos canales se puede citar:

Tienen bajo costo de limpieza.

Son rápidos de limpiar.

Necesitan un camino de servicio paralelo para limpieza.

Crean una barrera artificial que impide el acceso a distintas zonas.

Son necesarias obras singulares, como sifones, acueductos, para cruzar otros elementos lineales como carreteras, caminos, ríos, arroyos

Canales Cerrados: Aquellos en los que la lámina de agua en contacto con la atmósfera se encuentra sin visibilidad. Entre las características principales de estos canales se pueden citar:

Tienen costos elevados de limpieza.

Las secciones mínimas vienen limitadas por motivos de limpieza.

Tienen que construirse cajones para realizar la limpieza.

Para el paso de otros elementos lineales no suelen ser necesarias obras singulares.

No es necesario camino de servicio para limpieza de los mismos.

La mayor parte de estos canales son prefabricados.

Tipo de Canales Según el Material

Canales de Tierra, sólo en canales abiertos. Tienen un bajo costo de construcción, pero un elevado coste de explotación y grandes pérdidas de agua.

Concreto In Situ como Prefabricado, válido para canales abiertos.

1-Materiales Asfálticos, para canales abiertos.

2-Membranas Plásticas, como PVC, para canales abiertos.

Tuberías de Concreto en Masa, Concreto Armado PVC, Polietileno, Fibrocemento, Acero, Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio, para canales cerrados.

Tipo de Canales Según la Sección

Semicirculares, rectangulares, trapezoidales, parabólicas y triangulares: Las secciones semicirculares y parabólicas se suelen utilizar en canales abiertos de hormigón en masa o armado prefabricado, mientras que las rectangulares y trapezoidales en canales abiertos de cualquier tipo de material.

Circulares, ovoides y herradura: Se utilizan en canales cerrados, aunque el uso de las rectangulares no está muy extendido.

Rectangulares: Se utilizan tanto en canales abiertos como cerrados.

No obstante, la elección del tipo sección a emplear dependerá del tipo material que a su vez dependerá de la elección previa del canal según la visibilidad.

2.2.5. Transporte de Sedimentos

Según (Zambrano J. 2015), afirma que una vez el suelo es desprendido, el sedimento es transportado aguas abajo primordialmente por el flujo de agua, aunque también puede ser transportado por el impacto de las gotas de lluvia. El transporte por impacto suele ser muy poco representativo dentro de los procesos de transporte, de modo que normalmente es despreciado. La escorrentía del caudal sólido y su transporte aguas abajo ocurre desde que la intensidad de precipitación excede la tasa de infiltración. Por esta razón, la erosionabilidad del suelo decrece a medida que la tasa de infiltración se incrementa. Una vez empieza la escorrentía, la cantidad y el tamaño del material transportado se incrementa con la velocidad del flujo de agua.

2.2.5.1. Proceso de Sedimentación

El mismo autor expresa que el proceso de sedimentación ocurre cuando la Capacidad de Transporte (CT) es menor que la cantidad de suelo disponible para ser transportado (q_s). La capacidad de transporte es función de la velocidad del flujo, de modo que cualquier cosa que reduce la velocidad del flujo aumenta la sedimentación.

El sedimento es depositado comenzando con las partículas más grandes. Las partículas más pequeñas y los finos seguirán hacia aguas abajo, enriqueciendo las zonas bajas con finos, de modo que la distribución de tamaños de las partículas erosionadas tiene un impacto considerable en los procesos de erosión-sedimentación.

La capacidad de transporte (CT) es definitiva para la definición de la cantidad de sedimentos que puede ser transportada y por tanto la cantidad que puede ser sedimentada. La modelación del transporte y sedimentación de las partículas se puede abordar de dos maneras. En el primer caso, la sedimentación se presenta una vez que el caudal sólido q_s , supera la capacidad de transporte CT, es decir que se presenta sedimentación o desprendimiento.

De otra parte, otros modelos simulan la ocurrencia de ambos fenómenos de manera paralela. Esto se presenta de esta manera ya que se modelan diferentes tamaños de partículas, por lo que la sedimentación del material grueso puede ocurrir de manera independiente del material fino. Muchos de estos modelos suponen una ecuación diferente para estimar la sedimentación a partir de cuándo la Capacidad de Transporte es superada.

(Castillo L. 2012), indica que la fuente principal es: suelos y rocas que se encuentran en la cuenca donde los principales agentes de erosión y transporte: agua y viento. Pero en general las fuentes son naturales y artificiales. Y que los sedimentos son arena, arcilla, limo y otras partículas sueltas del suelo que se depositan en el fondo de una masa de agua, que pueden provenir de la erosión del suelo o de la descomposición de plantas y animales. El viento, el agua y el hielo pueden transportar estas partículas hasta los ríos, lagos y arroyos.

Efectos del movimiento de los sedimentos

Los sedimentos que el agua de lluvia recoge al escurrir generan diversos efectos, entre los cuales pueden mencionarse:

degradan la calidad del agua para el consumo humano, para la vida silvestre y para el suelo que rodea los arroyos de la siguiente manera: El agua contaminada

con sedimentos se torna turbia, lo que impide que los animales puedan ver el alimento. El agua turbia impide el crecimiento de vegetación natural en el agua. Los sedimentos que se depositan en el lecho de los arroyos alteran la cadena alimenticia natural al destruir el hábitat donde viven los organismos más pequeños y provoca disminuciones masivas de poblaciones de peces.

Los sedimentos aumentan el costo del tratamiento del agua potable y pueden causar problemas de olor y sabor. Los sedimentos pueden obstruir las agallas de los peces, lo que reduce su resistencia a enfermedades, disminuye los índices de crecimiento y afecta el desarrollo de huevos y larvas.

Los nutrientes transportados por los sedimentos pueden activar a las algas verde azuladas que liberan toxinas y pueden enfermar a los nadadores.

Los depósitos de sedimentos en los ríos pueden alterar el caudal de agua y reducir la profundidad de la misma, lo que dificulta la navegación y el esparcimiento en el agua, que pueden de igual manera producir la colmatación de los embalses, disminuyendo su vida útil o en el peor de los casos poniendo fuera de servicio una presa.

Los sedimentos modifican la pendiente de los cauces y transforman el comportamiento de las corrientes favoreciendo la ocurrencia de inundaciones. Incrementan los costos de mantenimiento de canales tanto naturales como artificiales.

Los sedimentos afectan el comportamiento hidráulico y estructural de las obras de drenaje como puentes, canalizaciones, pavimentos.

Los sedimentos se acumulan en los desagües pluviales y sumideros que transportan el agua lejos de las calles y las viviendas, lo que aumenta el potencial de inundaciones.

2.2.6. Método directo de estimación de caudales

(Aldana A. 2002), indica algunos métodos que permiten lograr una estimación de relaciones nivel-caudal. Estos métodos pueden ser complementarios, incluso quizás puedan considerarse la base para un buen conocimiento de estas relaciones.

Cuando el agua se obtiene de diques, ríos, canales y acequias, pueden utilizarse vertederos, canaletas, orificios, molinetes, flotadores, colorantes para aforarla. Entre los más conocidos se tienen los siguientes:

Aforos Directos

Aforo Volumétrico.

Aforo Gravimétrico

Aforo por trazadores.

Escalas limnimétricas.

Vertederos de aforo.

Aforos directos

El mismo autor señala que los aforos son un método tradicional para obtener una relación entre niveles y caudales. Se miden velocidades en distintos puntos de la sección transversal y se calculan con ellas el caudal siguiendo algún método de integración en el área de flujo. Las operaciones de aforo directo pueden considerarse obligadas sea cual sea el método de medida y de obtención de caudales, pero hay que tener siempre en cuenta fundamentalmente dos cuestiones:

Las fuentes de incertidumbre inherentes a toda relación nivel caudal supuesta, pues los aforos directos se realizarán en un instante y condiciones determinadas. Necesitarán un método de extrapolación, pues, generalmente, las medidas de velocidad se realizarán para caudales menores que los que se presenten en las crecidas, pues, en general, estas operaciones son difíciles en tales circunstancias.

Tipos de Aforos directos

Estimación aproximada con Flotadores

Según (Sánchez J. 2013), este método se basa en medir la velocidad del agua aplicando la siguiente fórmula

(— —)

Molinete

El mismo autor señala que la medición exacta de la velocidad se hace con un molinete. Se mide la velocidad de la corriente en varios puntos del mismo vertical y en varias verticales de la sección del cauce. A la vez que se mide la velocidad se mide la profundidad en cada vertical y la anchura exacta del cauce y, lo que nos permite establecer la sección con bastante precisión.

En este método la medida de la velocidad se realiza a 0.20 de la profundidad y a 0.80 de la profundidad y cerca de las orillas, en aguas menos profundas a 0,50 de la profundidad. (Ver figura 4 y 5)

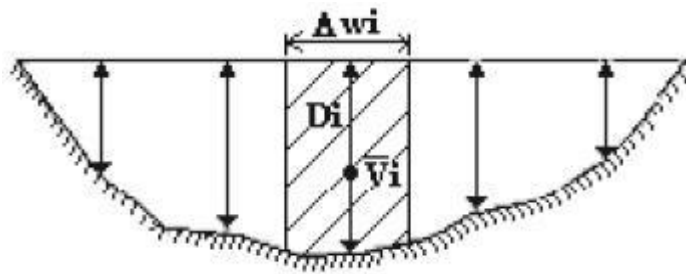


Figura 4. Método del Molinete

Fuente: Ángel Aldana (2002)

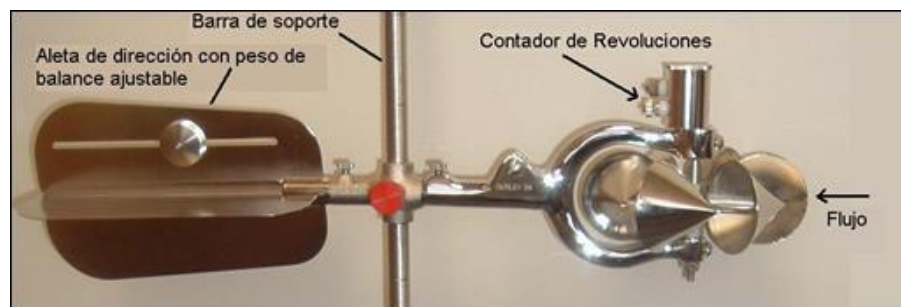


Figura 5. Modelo de Molinete Gurley 622 A

Fuente: Ángel Aldana (2002)

En canales poco profundos, el molinete debe sostenerse en la posición deseada por medio de una varilla de vadeo. En canales demasiado profundos o muy rápidos

para medirlo por vadeo, el molinete se debe suspender de un alambre o varilla desde un puente, teleférico o embarcación.

Cuando se utiliza una embarcación, el molinete debe sostenerse de manera que no lo afecten las perturbaciones causadas por la embarcación. Una vez que el molinete se haya colocado en el punto seleccionado de la vertical, se le alineará en la dirección de la corriente antes de comenzar las mediciones. Si no se puede evitar el flujo oblicuo, el ángulo de la dirección del flujo normal y la sección transversal deben ser medidos y la velocidad medida debe corregirse.

Además (Suárez M. (2015), señala que el principio de la medición de velocidad con molinete es el siguiente: Supóngase un molinete puesto en un punto de una corriente que tiene una velocidad v . La longitud L es el recorrido de una partícula fluida moviéndose a lo largo del contorno completo de la línea que determina una vuelta de la hélice. La situación es análoga al suponer quieta el agua y el molinete desplazándose a través de ésta con velocidad v . Para un desplazamiento L la hélice también dará una vuelta.

Para un movimiento uniforme: $t = \frac{L}{v}$

El espacio L recorrido por la hélice, o por la partícula líquida a través de ésta, se representa por el número de rotaciones N que da el molinete en t segundos.

Luego: $v = \frac{L}{t}$

Como existen fricciones en las partes mecánicas del aparato, es necesario introducir un coeficiente de corrección C

Entonces: $v = \frac{L}{t} C$

Donde: $C = \frac{1}{1 - \frac{v}{v_0}}$, que es la frecuencia de giro, se tiene:

Con la sensibilidad del aparato se hace sentir a partir de determinada velocidad mínima, v_0 , que en general, es del orden de 1 cm/s, por debajo de la cual el aparato no se mueve, la ecuación del aparato se transforma en:

Donde:

V= Velocidad de la corriente (m/s).

n= Número de revoluciones de la hélice en la unidad de tiempo (rad/s).

a= Constante de paso hidráulico, obtenida experimentalmente en ensayos de arrastre (m).

b= Constante que considera la inercia y la mínima velocidad para que la hélice se mueve (m/s).

Los aparatos vienen con su respectiva ecuación de calibración, dependiendo del tipo de molinete y de la casa productora, o tabuladas las velocidades en función del número de revoluciones por minuto. (Ver figura 6)

Modelo de molinete	Ecuación de calibración
Molinetes de cazoletas:	
Gurley - 622	$v = 0.690904 \cdot rps + 0.014694$
SIW - 017	$v = 0.658 \cdot rps + 0.0090$
Price - 622	$v = 0.6735 \cdot rps + 0.0091$
Molinete tipo hélice:	
Medidor Hoff	$v = 0.296 \cdot rps$

Figura 6. Ecuaciones de Calibración para algunos molinetes

Fuente: Ángel Aldana (2002)

Aforo Volumétrico

(Suárez M. (2015), este método es aplicable en la medición de pequeños caudales y se realiza midiendo el tiempo de llenado () de un recipiente de volumen conocido (), donde se colecta la descarga, determinando el caudal con la ecuación:

—

Donde

Q: Caudal

V: Volumen ocupado

T: tiempo de llenado

Se deben realizar por lo menos 5 pruebas para obtener un caudal promedio.

Aforo Por Trazadores

Esta técnica se usa en aquellas corrientes que presenten dificultades para la aplicación del método área velocidad o medidas con estructuras hidráulicas, como en corrientes muy anchas o en ríos torrenciales. Se basan en la inyección de una sustancia detectable, colorante o sustancia radiactiva que es medida aguas abajo del punto de inyección. Existen 2 métodos:

- a) Método de Inyección continua (Ver figura 7)

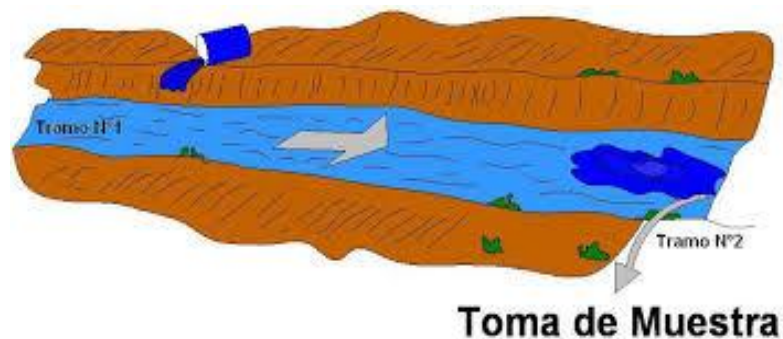


Figura 7. Medición de caudales por medio de trazadores (Método de inyección continua).

Fuente: María Suarez (2015)

A un cauce de caudal Q_1 se añade un pequeño caudal continuo Q_2 de una disolución de concentración C_2 . Supongamos que el río ya tenía una concentración C_1 de esa misma sustancia. Se cumplirá que:

Como:

Despejando el caudal (**Q**) tenemos:

Donde:

Caudal de la corriente aforada (l/s o en m³/s).

Caudal del trazador o de la solución salina aplicada (l/s o en m³/s).

Concentración del trazador o de la sustancia química en la solución.

Concentración del trazador o sustancia química después de la aplicación.

Concentración del trazador o de la sustancia química antes de la aplicación.

b) Método de inyección puntual (Ver figura 8)

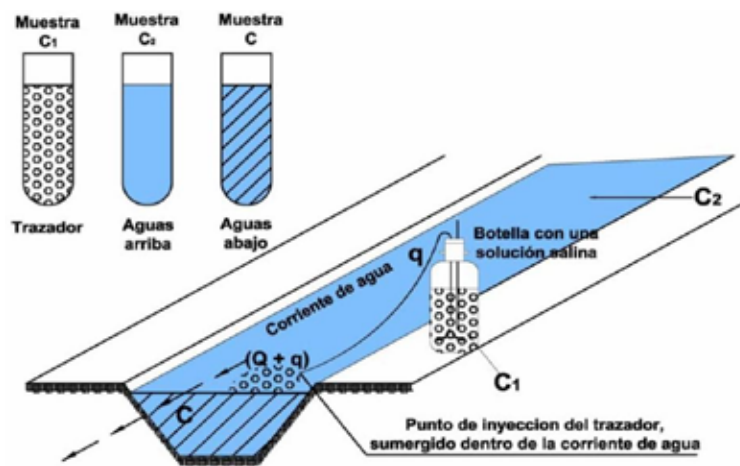


Figura 8. Medición de caudales por medio de trazadores (método de inyección de punto)

Fuente: María Suarez (2015)

Supóngase que en el tramo 1 se adiciona un pequeño volumen de trazador () con una concentración alta ().

Por continuidad se tiene:

Donde:

Q = Caudal de la corriente que se desea conocer

Concentración del trazador

Volumen del trazador

Función que define la concentración del trazador, en el punto de control en función de .

Concentración encontrada en el río antes de la dosificación.

Resolviendo la ecuación para se tiene:

El perfil de concentraciones en el río se comporta con el tiempo así. (Ver figura 9)

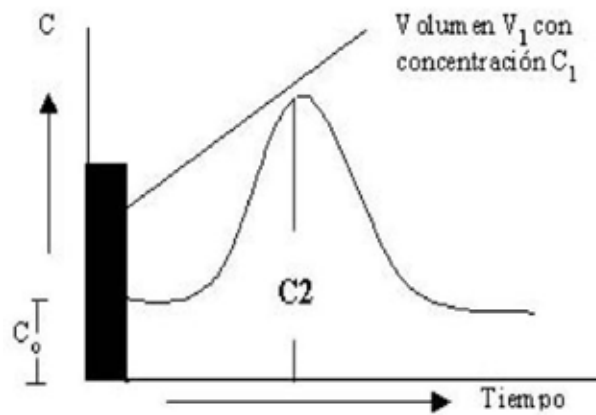


Figura 9. Perfil de concentración en el río.

Fuente: Ángel Aldana (2002)

Escalas Limnimétricas o Limnímetros

El limnómetro es la herramienta adaptada para vigilar cuencas o ríos. En cauces muy abiertos suele ser necesario instalar varias de manera que sus escalas se sucedan correlativamente. Es necesario que un operario acuda cada día a tomar nota de la altura del agua. (Ver figura 10)



Figura 10. Escalas Limnimétricas

Fuente: Ángel Aldana (2002)

En una estación Limnimétrica es donde se ubica un punto para análisis y estudio de la corriente, donde el observador encargado de dicha estación realiza lecturas directas de las miras o también llamados Limnímetros.

En dichas estaciones se estiman los caudales mediante una curva de gasto, la curva de gasto (altura - caudal) hay que generarla por los métodos de aforo directo. Con estos métodos se obtienen puntos que correlacionan el caudal medido directamente (Q) y la altura de la lámina de agua para ese caudal (H). Esta nube de puntos se representa en diagrama $H - Q$ y por métodos de ajuste matemáticos se deduce la línea de tendencia que representa la curva de ajuste o de gasto de la estación Limnimétrica. Una vez obtenida dicha curva, es decir ajustada o calibrada a la estación de aforo indirecto, obtendremos los caudales Q deducidos de la altura de la lámina de agua H .

Limnigrafos

Miden el nivel guardando un registro gráfico o digital del mismo a lo largo del tiempo. El gráfico que proporcionan (altura del agua en función del tiempo) se denomina limnigrama. No solamente evitan la presencia diaria de un operario, sino que permiten apreciar la evolución del caudal dentro del intervalo de 24 horas. El modelo

clásico funciona con un flotador que, después de disminuir la amplitud de sus oscilaciones mediante unos engranajes, hace subir y bajar una plumilla sobre un tambor giratorio. (Ver figura 11)

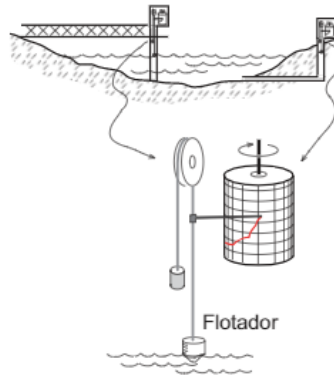


Figura 11. Modelo de un limnógrafo clásico

Fuente: Ángel Aldana (2002)

Vertederos De Aforo

Sin duda alguna son los más sencillos y utilizados para medir el caudal de agua en canales abiertos. Según la forma que se obligue a adoptar a la sección de la vena líquida que circule por él, se clasifican en rectangulares, trapezoidales y triangulares. La carga o altura de agua que pase sobre la cresta del vertedero debe medirse a una distancia aguas arriba tal, que no sea afectada por la depresión de la superficie del agua que se produce al aproximarse a la cresta.

Vertederos Tipo V (Triangulares)

Este tipo de vertederos es bastante eficiente, pero sin embargo presenta una gran pérdida de carga; motivo por el cual se recomienda especialmente para caudales pequeños (menores de 110 l/s), ya que, en estos niveles de gastos de agua, su precisión es mayor que la de otros tipos de vertederos. La forma básica para determinar el valor

de una descarga a través de un vertedero triangular con cualquier ángulo. (Ver figura 12)

Figura 12. Fórmula para Vertederos triangulares

Fuente: Ángel Aldana (2002)

Dónde:

Q: Caudal (m³/seg) $Q = 1.40 \cdot \tan(\theta/2) \cdot H^{2.5}$

H: Altura sobre el vertedero (m)

Ángulo del vertedero triangular

Vertederos Rectangulares

El vertedero rectangular es uno de los más sencillos para construir y por este motivo, es justamente uno de los más usados.

Puede ser usado en dos configuraciones, el vertedero con contracción y el vertedero sin contracción. Se debe tener un especial cuidado en la instalación del vertedero sin contracción, para obtener adecuada aireación de la lámina vertiente de agua. (Ver figura 13)

$$Q = 1.84 \cdot (L - 0.2 \cdot H) \cdot H^{1.5}$$

Figura 13. Fórmula para vertederos rectangulares

Fuente: Ángel Aldana (2002)

Donde:

Q: Caudal (m³/seg)

H: Altura sobre el vertedero (m)

L: Longitud de la cresta del vertedero (m)

Vertederos trapezoidales (Cipolletti)

Los vertederos trapezoidales son similares a los rectangulares con contracción, excepto que los lados inclinados hacia afuera producen una abertura trapezoidal (Ver

figura 14). La ecuación de descarga (Altura Vs. Caudal) del vertedero trapezoidal (Cipolletti) toma la forma:

$$Q = 1.859 \cdot L \cdot H^{1.5}$$

Figura 14. Fórmula para vertederos trapezoidal (Cipolletti)

Fuente: Ángel Aldana (2002)

Donde:

Q: Caudal (m³/seg)

H: Altura sobre el vertedero (m)

L: Longitud de cresta sobre el vertedero (m)

Hidrogramas

A su vez, un hidrograma es la expresión gráfica de $Q=f(t)$. Puede representarse a escalas muy diversas: en el eje de abscisas puede aparecer un intervalo de tiempo de 12 horas o de 2 años. El área comprendida bajo un hidrograma es el volumen de agua que ha pasado por el punto de aforo en el intervalo de tiempo considerado. Por otra parte, se ha señalado que la forma de un hidrograma cualquiera, depende de los siguientes elementos:

1. Precipitación efectiva
2. Área de la cuenca
3. Forma de la cuenca
4. Capacidad de almacenaje de la cuenca
5. Distribución espacial de la precipitación efectiva
6. Distribución temporal de la precipitación efectiva

Procedimiento de estimación de curvas de gasto

Según (Sánchez J. 2013), propone un procedimiento general para la obtención, mantenimiento y ajuste de curvas de gasto. Se diferencia entre las diferentes fases de utilización de los sistemas de ayuda a la decisión en que se van a emplear estas curvas:

1. Fase de construcción de las herramientas.

2. Fase de estudios y calibraciones Jornadas sobre sistemas de ayuda a la decisión ante problemas hidráulicos e hidrológicos en tiempo real. Marzo de 2002.
3. Fase de operación en tiempo real. (Ver figura 15)

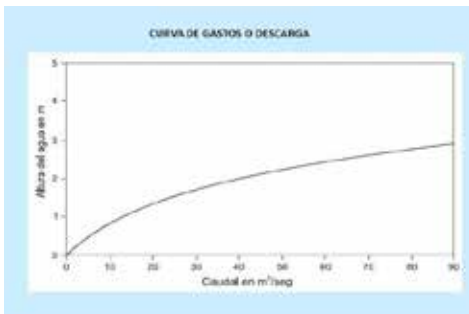


Figura 15. Curva de Gasto o Descarga

Fuente: Jonathan Sánchez (2013)

Fase de construcción de herramientas

El diseño de las herramientas de ayuda a la decisión debe tener en cuenta la problemática de las cuestiones que aquí se tratan, de lo contrario no serían realistas y, por tanto, su utilidad sería dudosa. Será imprescindible en la gran mayoría de los casos, que se disponga de utilidades de modificación y ajuste de las curvas de gasto en tiempo real.

Fase de estudios y calibración (pre-calibración)

Los datos básicos de partida para la estimación de las curvas de gasto serán los aforos directos, los ensayos en modelo reducido y la cartografía, siempre necesaria sea cual sea la metodología a seguir. Con esta base se cuenta con una estimación de parámetros y unos datos en determinadas circunstancias, que pueden servir para unos primeros análisis con modelos numéricos.

El resultado en este punto no es una única curva de gasto sino un conjunto de ellas junto a un orden de magnitud de los errores asociados a las fuentes de incertidumbre, que han de analizarse en esta fase. El estudio y análisis de episodios históricos permitirá reducir incertidumbres y llegar, al menos, a un conjunto más

reducido de curvas, tales que faciliten una horquilla de incertidumbres de reducida amplitud.

2.3. Definición de Términos Básicos

Aforo: El aforo, es una marca circular grabada con precisión sobre el material volumétrico para indicar el volumen determinado; por ejemplo, en un matraz aforado. También mide la cantidad de agua por unidad de tiempo que llega a un depósito, por medio de la diferencia de nivel que en este último se produce.

Aguas superficiales: Son todas aquellas quietas o corrientes en la superficie del suelo. Se trata de aguas que discurren por la superficie de las tierras emergidas (plataforma continental) y que, de forma general, proceden de las precipitaciones de cada cuenca.

Arquetas: Es un pequeño depósito utilizado para recibir, enlazar y distribuir canalizaciones o conductos subterráneos; suelen estar enterradas y tienen una tapa en la parte superior para poder registrarlas y limpiar su interior de impurezas.

Capacidad de transporte del flujo: Los sedimentos que transporta una corriente de agua son consecuencia natural de la degradación del suelo, puesto que el material procedente de la erosión llega a las corrientes a través de tributarios menores, por la capacidad que tiene la corriente de agua para transportar sólidos, también por movimientos en masa, o sea, desprendimientos, deslizamientos y otros.

Curva de gasto: Representan las secciones transversales de un río siendo una de las tareas fundamentales de la hidrometría, ya que estas permiten, entre otras cosas, la deducción de los caudales medios diarios del río sobre esas secciones.

Escorrentía: Es la cantidad de agua de lluvia que excede la capacidad de infiltración del suelo.

Flujo: Se entiende por flujo el movimiento que puede experimentar un fluido.

Gravímetro: Es un instrumento utilizado en gravimetría para medir el campo gravitacional local de la Tierra. Un gravímetro es un tipo de acelerómetro especializado en medir la constante aceleración descendente de la gravedad, la cual varía alrededor de un 0.5% sobre la superficie terrestre. Aunque funcionan con el mismo principio de diseño de los acelerómetros, los gravímetros están diseñados para ser más sensibles con el fin de medir los pequeños cambios dentro de la gravedad de la Tierra de 1g, causados por estructuras geológicas cercanas o por la propia forma de la Tierra.

Hidrograma: Es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica tal como: nivel de agua, caudal, carga de sedimentos, entre otros. El hidrograma de una corriente, es la representación gráfica de las variaciones del caudal con respecto al tiempo, arregladas en orden cronológico en un lugar dado de la corriente.

Parámetros hidrológicos: Un conjunto de estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico, con fines de aprovechamiento o control.

Sustentabilidad ambiental: Es el uso racional de los recursos naturales, de manera tal que sea posible mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras.

Trazadores: Se define el trazador como todo carácter específico o toda sustancia solidaria de un cuerpo en movimiento, fundamentalmente del agua subterránea que se desplaza, que permite identificar y describir su movimiento; puede estar presente de forma natural o ser añadido artificialmente.

En Hidrología se usa para:

Medir caudal (método de dilución)

Identificar fuentes de agua, zonas de recarga

Flujos de agua / mecanismos de generación de escorrentía

La cantidad de agua almacenada por reservorio o el total de la cuenca

Tiempo de tránsito / edad del agua

Evaluar modelos / hipótesis

Evaluar impactos antropogénicos

Topografía: Es la ciencia que estudia la representación gráfica de la superficie terrestre, con sus formas y detalles, tiene como objetivo principal el estudio del relieve.

Vertedero: Es una estructura hidráulica destinada a propiciar el pase, libre o controlado, del agua en los escurrimientos superficiales, siendo el aliviadero en exclusiva para el desagüe y no para la medición. Existen diversos tipos según la forma y uso que se haga de ellos, a veces de forma controlada y otras veces como medida de seguridad en caso de tormentas en presas.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describen los métodos, técnicas y procedimientos a utilizar para el logro de los objetivos propuestos en el estudio de la Guía Técnica de Hidrología para el estudio del comportamiento de las corrientes y tránsito de sedimentos. En ese sentido se exponen los pasos a seguir en la investigación, por lo que el marco metodológico permite identificar claramente los factores que se tomaron en cuenta en el estudio y analizar en forma ordenada y sistemática sus componentes del modo más racional, utilizando las técnicas más adecuadas.

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación se refiere a la clase de estudio que se va a realizar. Orienta sobre la finalidad general del objetivo y sobre la manera de recoger las informaciones o datos necesarios, que orientara sobre la finalidad original y objetivos contenidos.

Al respecto, Tamayo y Tamayo (2003), señalan que en una investigación descriptiva el enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre una persona, grupo o cosas se conduce o funciona en el presente. Por ello, este estudio se puede definir de tipo documental y descriptiva por cuanto se especifican los parámetros asociados al comportamiento de las corrientes y el movimiento de los sedimentos para la realización de esta guía técnica hidrológica en el marco de la sustentabilidad ambiental. Apoyándose en fuentes de carácter documental, esto es, en documentos de cualquier especie tales como, las obtenidas a través de fuentes bibliográficas, hemerográficas o archivística y digitales; la primera se basa en la consulta de libros, la segunda en artículos o ensayos de revistas y periódicos, y la tercera en documentos que se encuentran en archivos como cartas oficios, circulares, expedientes, etcétera.

Así mismo Hernández (2009), manifiesta que un proyecto factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo

viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; referidos a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos.

Por lo que se puede decir que el tipo de investigación de este estudio, está enmarcado bajo la modalidad de un proyecto factible, ya que pretende proponer el diseño de una guía hidrológica para estudios del comportamiento de las corrientes y tránsito de sedimentos. Un proyecto factible consiste en un conjunto de actividades vinculadas entre sí, cuya ejecución permitirá el logro de objetivos previamente definidos en atención a las necesidades que pueda tener una institución o un grupo social en un momento determinado. Es decir, la finalidad del proyecto factible radica en el diseño de una propuesta de acción dirigida a resolver un problema o necesidad previamente detectada en el medio.

Para llevar a cabo el proyecto factible, lo primero que debe realizarse es un diagnóstico de la situación planteada; en segundo lugar, es plantear y fundamentar con basamentos teóricos la propuesta a elaborar y establecer, tanto los procedimientos metodológicos, así como las actividades y los recursos necesarios, para llevar adelante la ejecución. Aunado a esto, se realizará el estudio de factibilidad del proyecto y, por último, la ejecución de la propuesta con su respectiva evaluación.

3.2 Diseño de la investigación

Según Tamayo y Tamayo (2003) “el diseño de una investigación establece las bases para llevar a cabo un proyecto de investigación. Detalla los procedimientos necesarios para obtener la información que se requiere a fin de resolver o estructurar los problemas de investigación” (p. 86). En consecuencia, el diseño a utilizar en esta investigación será documental ya que se pretende que los conocimientos aplicados son con el fin de obtener los resultados prácticos y técnicos que permitirán solucionar el problema en estudio.

Según Palella y Martins (2010), definen: “La investigación documental se concreta exclusivamente en la recopilación de información en diversas fuentes. Indaga sobre un tema en documentos escritos u orales” (p.90).

Con lo mencionado anteriormente la presente investigación se basará en la recopilación de fundamentos teóricos, materiales de información y fuentes secundarias con el propósito de profundizar el conocimiento que se pueda tener acerca de los parámetros de una cuenca contribuyente.

3.3 Nivel de la investigación

El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno, viene dado por la revisión exhaustiva de las diferentes fuentes de información, tales como documentos, informes, estudios, ponencias, leyes, normas y bibliografía relacionada con el tema de estudio.

Así mismo Arias (2006), lo define como: “la caracterización de un hecho fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento, los mismos miden de forma independiente las variables y aun cuando se formulen hipótesis, las primeras aparecerán enunciadas en los objetivos de la investigación” (p. 46).

Además, Rivas (1995), señala que la investigación descriptiva, “trata de obtener información acerca del fenómeno o proceso, para describir sus implicaciones”.

Se puede decir que esta investigación se ubicará en un nivel descriptivo, puesto que, si ha sido abordado y estudiado, pero con estudios locales. La idea es en base a dichos estudios consolidar una data general y poder tomar criterios en base a ellos. A partir de la recopilación de información referente a los parámetros asociados al comportamiento de las corrientes y el movimiento de los sedimentos se profundizará el estudio a un nivel académico.

3.4 Población

Al realizar toda investigación es necesario delimitar la población o universo que estará inmerso directamente al problema o situación que se está planteando; cabe resaltar que la calidad, exactitud y confiabilidad del trabajo investigativo depende en gran parte de la delimitación clara en cuanto quienes son los sujetos de estudio tomando en cuenta los objetivos establecidos.

Según Tamayo y Tamayo, (1997), “La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación” (P.114).

En esta investigación propuesta el universo poblacional estará constituido por la totalidad de 194 estudiantes de Ingeniería Civil cursantes de los semestres 7mo, 8vo, 9no y 10mo que hayan cursado o estén cursando Hidrología.

3.5 Muestra

La muestra es un subconjunto fielmente representativo de la población. El tamaño de la muestra depende de la precisión con la que se desea llevar a cabo el estudio. Entre más grande la muestra mayor posibilidad de ser más representativa de la población.

Según Tamayo y Tamayo (1997), la muestra “es el grupo de individuos que se toma de la población, para estudiar un fenómeno estadístico” (p.38).

Para Balestrini (1997), La muestra “es obtenida con el fin de investigar, a partir del conocimiento de sus características particulares, las propiedades de una población” (p.138).

Por tal motivo será seleccionada a juicio del investigador, un aproximado del 30% de la totalidad de la población representada estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad José Antonio Páez, en el periodo (2018-1CR), para responder a las incógnitas que se presentarán en el instrumento de recolección de datos.

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según Tamayo y Tamayo (2002; p.182), depende en gran parte del tipo de investigación y del problema planteado para la misma, y puede efectuarse desde una simple ficha bibliográfica, observación, entrevista, cuestionario o encuesta, y aun mediante ejecución de investigaciones para este fin. Para todo proceso de investigación se requiere del uso de diversas técnicas que le permitan obtener toda la información o datos que se requiere para el desarrollo del mismo. De acuerdo a lo antes señalado las técnicas utilizadas para recabar la información con la finalidad de lograrlos objetivos propuestos fueron las siguientes:

Técnicas

Encuesta: como una técnica de recolección de datos que pretende obtener información que suministra un grupo o muestra de sujetos en relación con una problemática planteada. Dentro de ese marco esta técnica, será aplicada según el tipo de muestra seleccionada.

Instrumentos

Cuestionario: este instrumento estará dirigido a personas directamente del área de estudio, quienes proporcionen toda la información de interés, de la experiencia y conocimientos sobre los aspectos relevantes relacionados con los parámetros de una cuenca contribuyente.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2002), se define como “el conjunto de preguntas, representadas en forma de afirmaciones o juicios ante los cuales se mide la reacción de los sujetos a los que se les administra...” (p.393).

El cuestionario será Diseñado y redactado con ítems de orden cerrado, es decir, preguntas dicotómicas donde se establecen sólo dos (2) alternativas de respuesta, “Si y No” el cual se les entregará a los estudiantes seleccionados al azar de la Facultad de Ingeniería Civil de La Universidad José Antonio Páez.

Validez del Instrumento

La validez de los instrumentos, según Morles (2000): es el grado con el cual un instrumento sirve a la finalidad para la cual está definido. En función de ello, la validez aplicada en esta investigación fue la de contenido, para lo cual se expuso el cuestionario a juicio de los tres (3) expertos mencionados, quienes emitieron su opinión en relación a aspectos tales como: redacción correcta, pertinencia, tendenciosidad y las sugerencias. Los aportes suministrados permitieron construir la versión definitiva del cuestionario aplicados al personal administrativo.

La validez responde a la pregunta ¿con qué fidelidad corresponde el universo o población al atributo que se va a medir? La validez de un instrumento consiste en que mida lo que tiene que medir; al estimar la validez es necesario saber a ciencia cierta

qué rasgos o características se desean estudiar. Este rasgo o característica se le denomina variable criterio.

Confiabilidad

En lo que respecta, a la confiabilidad de un instrumento de medición de datos, se puede manifestar, que según Hernández (1991), esta se da, cuando un instrumento se aplica repetidas veces, al mismo sujeto u objeto de investigación, por lo cual, se deben obtener resultados iguales o parecidos dentro de un rango razonable, es decir, que no se perciban distorsiones, que puedan imputarse a defectos que sean del instrumento mismo.

Antes de iniciar el trabajo de campo, es imprescindible probar el cuestionario sobre un pequeño grupo de población. Esta prueba piloto ha de garantizar las mismas condiciones de realización que el trabajo de campo real. Se recomienda un pequeño grupo de sujetos que no pertenezcan a la muestra seleccionada pero sí a la población o un grupo con características similares a la de la muestra del estudio. Entre los métodos para estimar la confiabilidad, se tienen:

Coefficiente Alfa de Cronbach: Según (Hernández Sampieri et al, 2003), para evaluar la confiabilidad o la homogeneidad de las preguntas o ítems común emplear el coeficiente alfa de Cronbach cuando se trata de alternativas de respuestas policotómicas, como las escalas tipo Likert; la cual puede tomar valores entre 0 y 1, donde: 0 significa confiabilidad nula y 1 representa confiabilidad total. El coeficiente

a-. Mediante la varianza de los ítems la varianza del puntaje:

$$\frac{\text{Varianza de los ítems}}{\text{Varianza del puntaje}}$$

Donde:

rtt : coeficiente de confiabilidad de la prueba o cuestionario.

k: número de ítems del instrumento.

st²: Varianza total del instrumento.

Cuanto menor sea la variabilidad de respuesta, es decir, que haya homogeneidad en las respuestas dentro de cada ítem, mayor será el Alfa de Cronbach.

b-. Mediante la matriz de correlación de los ítems:

Donde:

n: Número de ítems.

p: Promedio de las correlaciones lineales entre cada uno de los ítems.

Cuanto mayor sea la correlación lineal entre ítems, mayor será el alfa de Cronbach.

3.7 Fases metodológicas

Para llevar a cabo la investigación, se cumplirá con cinco fases metodológicas, de acuerdo con los objetivos específicos planteados:

Fase I: Definir y explicar los parámetros de una cuenca contribuyente que afectan el comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimento.

Esta primera fase consiste en la búsqueda, obtención e interpretación de la información en cuanto a explicar detalladamente el estudio y determinación de los parámetros geomorfológicos de una cuenca contribuyente, definir los conceptos básicos teóricos que fundamenten la investigación, con relación en analizar y evaluar su aplicación práctica en referencia a los estudiantes de Ingeniería Civil.

Fase II: Evaluar los diferentes métodos de cálculo y su aplicación práctica en el comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos.

En esta fase se explicarán los diferentes métodos de cálculo, de una manera más detallada cada fórmula, variable y coeficiente para cada procedimiento de dichos parámetros y que sea comprendido de una forma más sencilla.

Fase III: Generar ejercicios aplicando herramientas digitales para el estudio del comportamiento de las corrientes y movimiento de sedimentos.

En esta fase se adopta una metodología de las nuevas tecnologías como lo es el uso de software, tomando data real previamente recopilada, procediéndose a realizar ejercicios paso a paso para que los estudiantes de ingeniería puedan resolver estos tipos de problemas bien sea en lo académico como en la vida real.

Fase IV: Proponer ejercicios con data real que sirvan de ejemplo aplicados a situaciones propias del estudio del comportamiento de las corrientes y movimiento de sedimentos.

Seguidos en esta fase, se procede a elaborar ejercicios con diferentes niveles de dificultad para que los estudiantes puedan resolverlos por sus propios medios aplicando los conocimientos previos adquiridos.

Fase V: Diseñar la guía técnica de Hidrología con el tema de comportamiento de corrientes y movimiento de sedimentos.

Una vez analizada la investigación se procederá a proponer aquellos lineamientos considerados factibles para generar la redacción de una guía que defina, aplique y resuelva casos reales de la Ingeniería Civil utilizando herramientas digitales, todo esto tomando en consideración el desarrollo sustentable.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

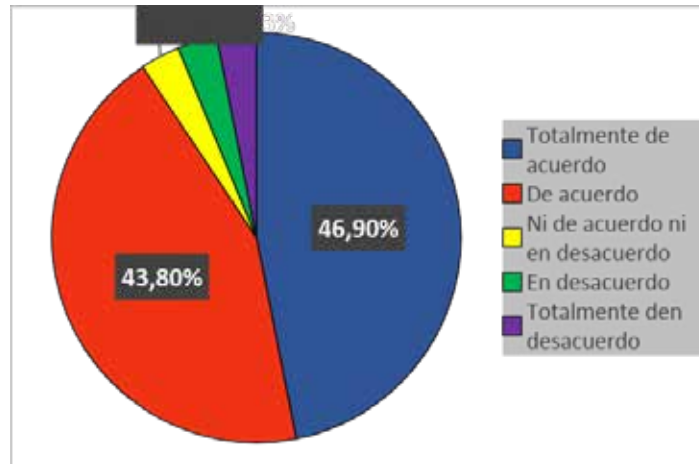
4.1. Encuesta

Para elaboración de encuestas referente al estudio de las corrientes y el movimiento de sedimentos, a su vez comprobar si la guía técnica es factible, se utilizó la aplicación Google Encuesta para que la población de los estudiantes de Ingeniería civil de los semestres comprendidos de 7mo a 10mo en el periodo (2018-1CR), pudiera responder utilizando medios digitales. El cuestionario fue respondido por 40 estudiantes, representando el 40/194% de la población seleccionada. Su elaboración es de tipo escala de Likert, con la siguiente propuesta y calificación:

Totalmente de acuerdo	1
De acuerdo	2
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	3
En desacuerdo	4
Totalmente en desacuerdo	5

Ítem 1. Para los estudiantes de ingeniería civil la hidrología y sus afines se imparte de una manera idealizada con materiales de apoyo limitados a la teoría hidrológica, que dificultan el entendimiento de la dinámica de la materia en la aplicabilidad práctica en proyectos civiles.

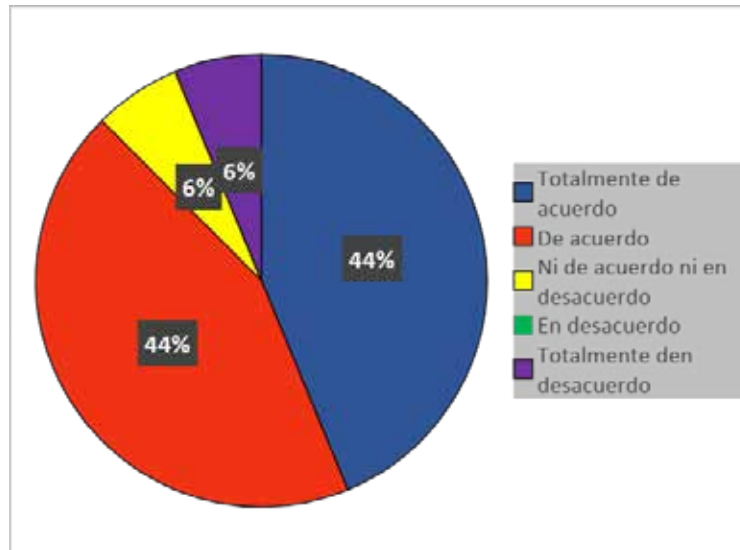
Respuestas		%
Totalmente de acuerdo	15	46,90%
De acuerdo	14	43,80%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	3,10%
En desacuerdo	1	3,10%
Totalmente en desacuerdo	1	3,10%



Análisis: Los resultados arrojan que un 46,90% de los encuestados están totalmente de acuerdo que en el curso de Hidrología se cuenta con material limitado, el 43,80% está de acuerdo, mientras el 3,1% no está ni de acuerdo ni en desacuerdo, así como el 3,1% está en desacuerdo, sin embargo el 3,1% está totalmente en desacuerdo, por lo que se considera que la mayoría está totalmente de acuerdo en que en el curso de Hidrología y sus afines se imparte con materiales de apoyo limitados, que dificultan el entendimiento de la dinámica de la materia.

Ítem 2. El estudiante de Ingeniería Civil requiere contar con información que le permita conocer los parámetros de una cuenca contribuyente que afectan el comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos.

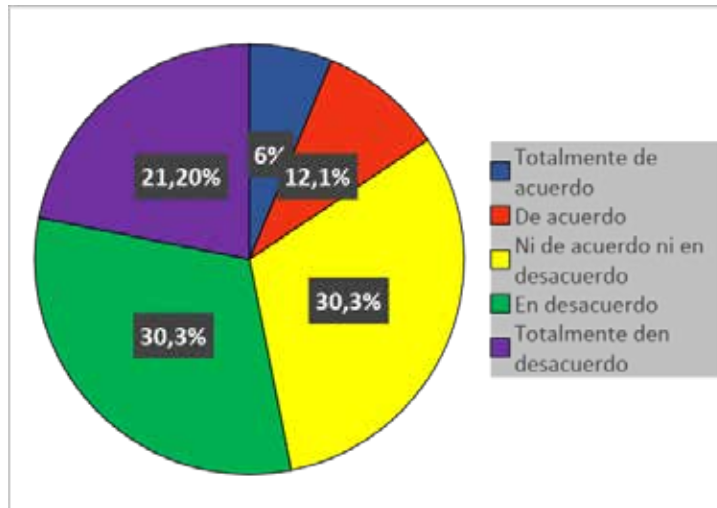
Respuestas		%
Totalmente de acuerdo	14	43,80%
De acuerdo	14	43,80%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	2	6,30%
En desacuerdo	0	0,00%
Totalmente en desacuerdo	2	6,30%



Análisis: Los resultados arrojan que un 43,80% de los encuestados están totalmente de acuerdo, el 43,80% está de acuerdo, mientras que el 6,3% no está ni de acuerdo ni en desacuerdo, así como el 0% está en desacuerdo, aunque el 6,3% está totalmente en desacuerdo, por lo que se considera que la mayoría está totalmente de acuerdo en que el estudiante de Ingeniería Civil requiere contar con información que le permita conocer los parámetros de una cuenca contribuyente que afectan el comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos.

Ítem 3. En la Ujap se cuenta con diversa información sostenible acerca de los métodos de cálculo y su aplicación práctica sobre el estudio del comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos.

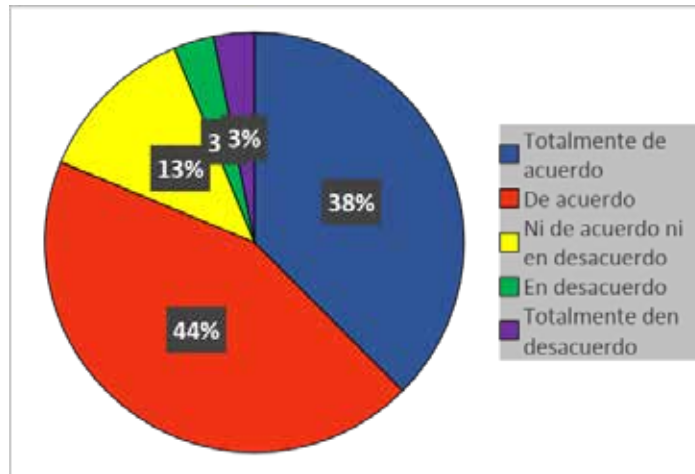
Respuestas		%
Totalmente de acuerdo	2	6,10%
De acuerdo	3	12,10%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	10	30,30%
En desacuerdo	10	30%
Totalmente en desacuerdo	7	21,20%



Análisis: El 6,10% de los encuestados están totalmente de acuerdo, el 12,10% está de acuerdo, mientras que el 30,30% no está ni de acuerdo ni en desacuerdo, así como el 30% está en desacuerdo, aunque el 21,20% está totalmente en desacuerdo, se considera que la mayoría no está de acuerdo ni en desacuerdo con respecto a que no se cuenta con diversa información sostenible acerca de los métodos de cálculo y su aplicación práctica sobre el estudio del comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos.

Ítem 4. La Hidrología aporta a la Ingeniería Civil los registros y métodos para analizar los regímenes de caudales medios y extremos de las corrientes de agua.

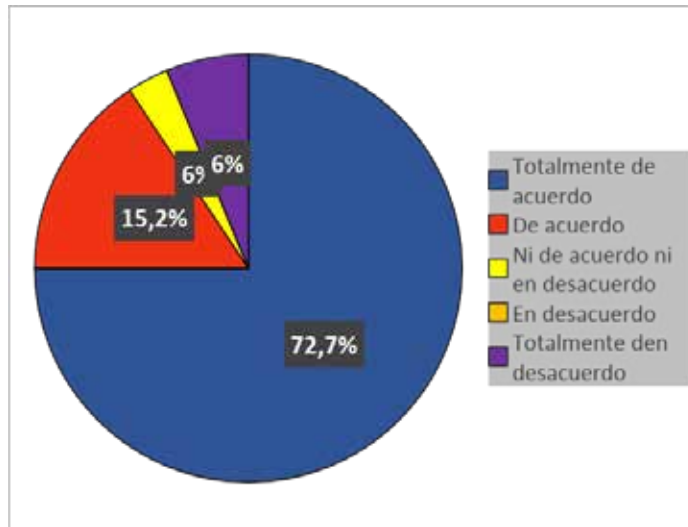
Respuestas		%
Totalmente de acuerdo	12	34,40%
De acuerdo	14	46,90%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	4	12,50%
En desacuerdo	1	3,10%
Totalmente en desacuerdo	1	3,10%



Análisis: El 34,40% de los encuestados están totalmente de acuerdo, el 46,90% está de acuerdo, mientras que el 12,50% no está ni de acuerdo ni en desacuerdo, así como el 12,50% está en desacuerdo, aunque el 3,10% está totalmente en desacuerdo, en lo que respecta que en su mayoría están de acuerdo sobre el aporte que brinda la Hidrología a la Ingeniería Civil acerca de los registros y métodos para analizar los regímenes de caudales medios y extremos de las corrientes de agua.

Ítem 5. Es importante para el Ingeniero Civil comprender la información sobre el comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos, para el chequeo de estructuras y diseño de obras hidráulicas.

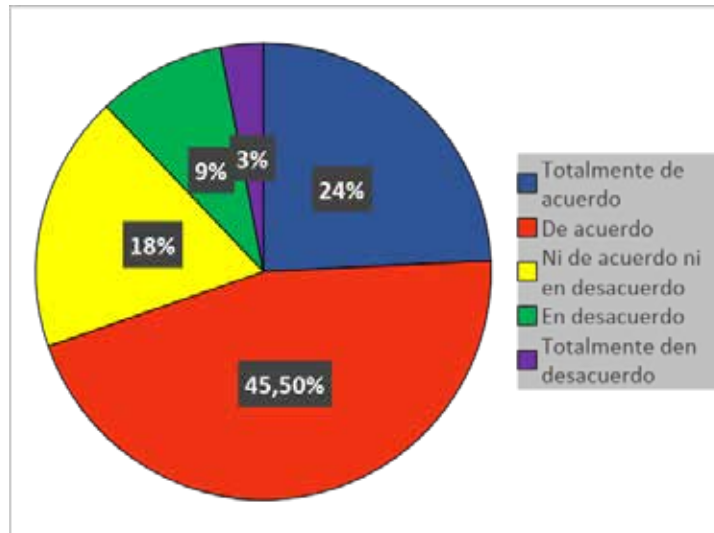
Respuestas		%
Totalmente de acuerdo	24	72,70%
De acuerdo	5	15,20%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	1	6,00%
En desacuerdo	0	0,00%
Totalmente en desacuerdo	2	6,00%



Análisis: El 72,20% de los encuestados están totalmente de acuerdo, el 15,20% está de acuerdo, mientras que el 6% no está ni de acuerdo ni en desacuerdo, así como el 0% está en desacuerdo, aunque el 6% está totalmente en desacuerdo, se puede apreciar que la mayoría de los encuestados está totalmente de acuerdo en la importancia para el Ingeniero Civil comprender la información sobre el comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos, para el chequeo de estructuras y diseño de obras hidráulicas.

Ítem 6. En la actualidad los avances tecnológicos se aplican para estimar el comportamiento de la corriente y el movimiento de sedimentos en los cursos de Hidrología.

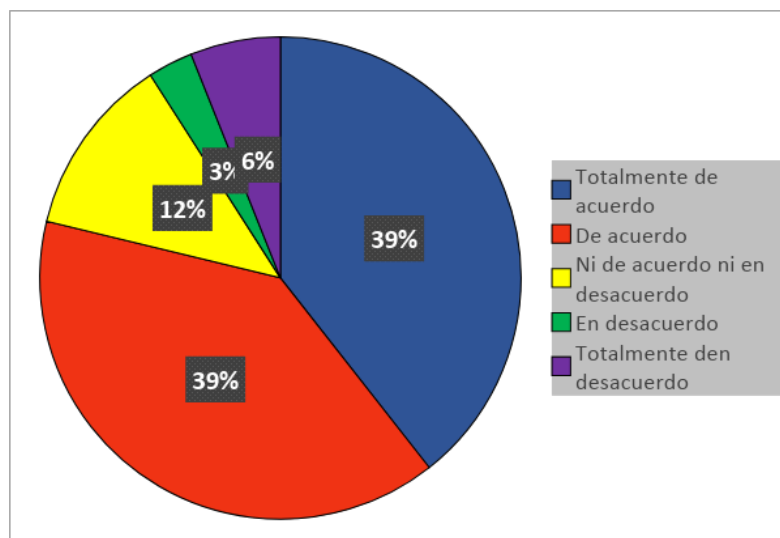
Respuestas		%
Totalmente de acuerdo	8	24,20%
De acuerdo	15	45,50%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	6	18,20%
En desacuerdo	3	9,10%
Totalmente en desacuerdo	1	3,00%



Análisis: El 24,20% de los encuestados están totalmente de acuerdo, el 45,50% está de acuerdo, mientras que el 18,20% no está ni de acuerdo ni en desacuerdo, así como el 9,10% está en desacuerdo, aunque el 3% está totalmente en desacuerdo, se considera en su totalidad que están de acuerdo con relación a los actuales avances tecnológicos en su aplicación para estimar el comportamiento de la corriente y el movimiento de sedimentos en los cursos de Hidrología.

Ítem 7. Los registros de datos reales pueden ser utilizados para resolver ejercicios prácticos que permitan ilustrar métodos de estudio de corrientes y movimiento de sedimentos.

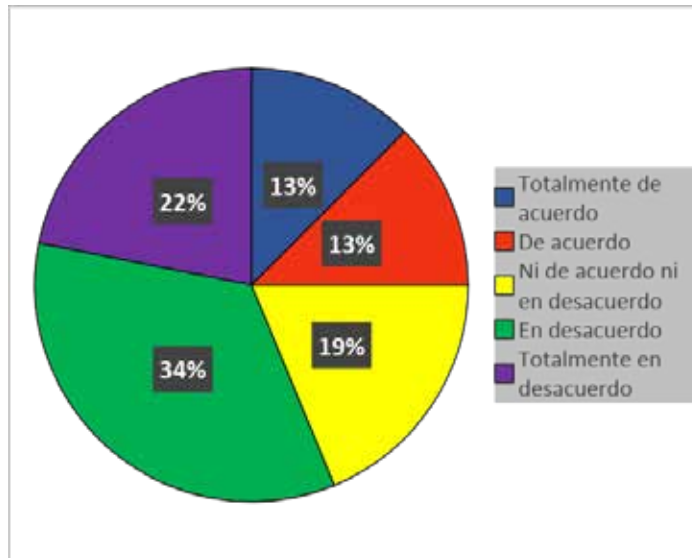
Respuestas		%
Totalmente de acuerdo	13	39,40%
De acuerdo	13	39,40%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	4	12,10%
En desacuerdo	1	3,00%
Totalmente en desacuerdo	2	6,10%



Análisis: El 39,40% de los encuestados están totalmente de acuerdo, el 39,40% está de acuerdo, mientras que el 12,10% no está ni de acuerdo ni en desacuerdo, así como el 3% está en desacuerdo, aunque el 6,10% está totalmente en desacuerdo, se puede observar que se esta en total acuerdo con referencia de que Los registros de datos reales pueden ser utilizados para resolver ejercicios prácticos que permitan ilustrar métodos de estudio de corrientes y movimiento de sedimentos.

Ítem 8. Actualmente los estudiantes de Ingeniería Civil, disponen de documentos suficientes como guía de apoyo didáctico para el estudio del comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos.

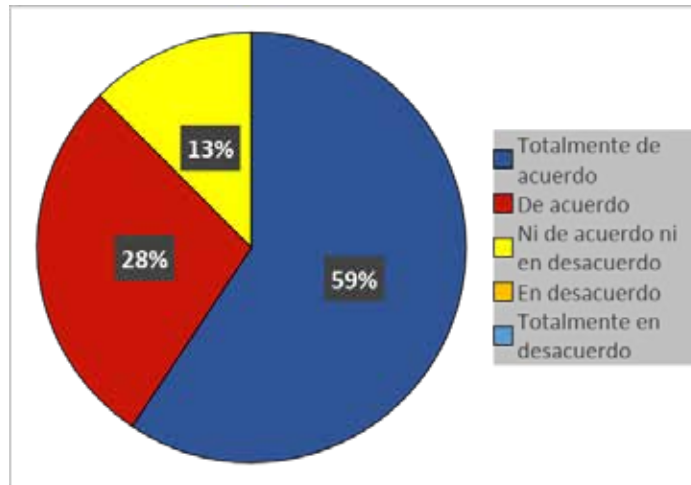
Respuestas		%
Totalmente de acuerdo	4	12,50%
De acuerdo	4	12,50%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	6	18,80%
En desacuerdo	11	34,40%
Totalmente en desacuerdo	7	21,90%



Análisis: El 12,50% de los encuestados están totalmente de acuerdo, el 12,50% está de acuerdo, mientras que el 18,80% no está ni de acuerdo ni en desacuerdo, así como el 34,40% está en desacuerdo, aunque el 21,90% está totalmente en desacuerdo, en esta pregunta en su mayoría estuvo en desacuerdo ya que actualmente los estudiantes de Ingeniería Civil, no disponen de documentos suficientes como guía de apoyo didáctico para el estudio del comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos.

Ítem 9. El diseño de una Guía técnica para el estudio y cálculo hidrológico del comportamiento de las corrientes y movimiento de sedimentos contribuye en forma práctica y teórica en la preparación de los estudiantes de Ingeniería Civil de la Ujap.

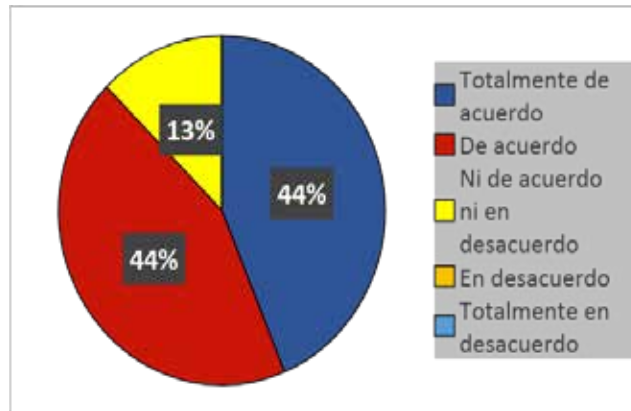
Respuestas		%
Totalmente de acuerdo	19	59,40%
De acuerdo	9	28,10%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	4	12,50%
En desacuerdo	0	0,00%
Totalmente en desacuerdo	0	0,00%



Análisis: El 59,40% de los encuestados están totalmente de acuerdo, el 28,10% está de acuerdo, mientras que el 12,50% no está ni de acuerdo ni en desacuerdo, así como el 0% está en desacuerdo, aunque el 0% está totalmente en desacuerdo, se considera en general se esta totalmente de acuerdo del diseño de una Guía técnica para el estudio y cálculo hidrológico del comportamiento de las corrientes y movimiento de sedimentos para contribuir de práctica y teórica en la preparación de los estudiantes de Ingeniería Civil de la Ujap.

Ítem 10. El estudio de proyectos ambientalmente sostenibles debe considerados en el estudio de las corrientes y el movimiento de sedimentos.

Respuestas		%
Totalmente de acuerdo	14	43,80%
De acuerdo	14	43,80%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	4	12,50%
En desacuerdo	0	0,00%
Totalmente en desacuerdo	0	0,00%



Análisis: El 43,80% de los encuestados están totalmente de acuerdo, el 43,80% está de acuerdo, mientras que el 12,50% no está ni de acuerdo ni en desacuerdo, así como el 0% está en desacuerdo, aunque el 0% está totalmente en desacuerdo, por lo que respecta que en su totalidad están totalmente de acuerdo en el estudio de proyectos ambientalmente sostenibles debe considerados en el estudio de las corrientes y el movimiento de sedimentos.

4.2 Evaluar los diferentes métodos de cálculo y su aplicación práctica en el comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos.

Una vez obtenida toda la información de las distintas fuentes consultadas, se analizaron y estudiaron las variables y coeficientes para cada procedimiento de diferentes métodos de cálculo-para el estudio del comportamiento de las corrientes y el tránsito de sedimentos. Para la elaboración de la guía se buscó información sobre cuatro métodos de cálculo para estimar el comportamiento de las corrientes: aforos directos, método área - pendiente, hidrogramas y estimación de la curva de gastos, para el movimiento de sedimento: origen y propiedades de los sedimentos, transporte de los sedimentos, origen de la erosión, factores que controlan la erosión , para luego proceder a describir y explicar cada uno de estos métodos de cálculo de modo que su comprensión fuese lo más sencilla posible. Además del uso de modelos de estimación de caudales, para su mejor comprensión.

4.3 Generar ejercicios aplicando herramientas digitales para el estudio del comportamiento de las corrientes y movimiento de sedimentos.

Los diferentes ejercicios empleados en cada uno de los diferentes métodos fueron diseñados con recopilación de data de diversas fuentes, para el estudio del comportamiento de las corrientes se utilizaron características específicas de cauces naturales.

Cada uno de los ejercicios se resolvieron con una metodología sencilla explicando cada uno de los cálculos realizados paso por paso, para la elaboración de las distintas tablas mostradas se utilizó el programa Microsoft Office Excel, el cual permite al usuario tener una mejor organización previa al realizar los cálculos.

4.4 Proponer ejercicios con data real que sirvan de ejemplo aplicados a situaciones propias del estudio del comportamiento de las corrientes y movimiento de sedimentos.

Los diversos ejercicios propuestos en la guía técnica fueron seleccionados de manera que presentan un grado de dificultad dependiendo de las condiciones aplicadas para su resolución en algunos capítulos de la guía, se propusieron los ejercicios de modo que puedan resolver las diferentes variables aplicando los conocimientos previos adquiridos.

4.5 Diseñar la guía técnica de Hidrología con el tema de comportamiento de corrientes y movimiento de sedimentos.

Una vez obtenido cada uno de los diferentes métodos de cálculo con sus respectivos ejercicios, se procedió a ensamblar la guía técnica de hidrología para el estudio del comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos. dicha guía técnica está estructurada en 5 capítulos:

Capítulo 1 Métodos directos de estimación de Caudales: Aforos Directos:

Introducción, tipos de aforos directos, Estimación aproximada con Flotadores, molinete, aforo volumétrico, aforo por trazadores, Escalas Limnimétricas o Limnímetros, limnígrafos, vertederos de aforos, ejercicios y ejercicios propuestos.

Capítulo 2 Hidrogramas: Introducción, tipos de hidrogramas, método aproximado, limitaciones del método, ejercicios y ejercicios propuestos.

Capítulo 3 Curva de gasto: Introducción, ejercicios y ejercicios propuestos.

Capítulo 4 El movimiento de sedimentos: Introducción, origen y propiedades de los sedimentos, transporte de sedimentos, el proceso de erosión, factores que controlan la erosión, erosión en cuencas, erosión en canales, ejercicios y ejercicios propuestos.

Capítulo 5 Estimación de caudales de diseño: Introducción, Estimación de niveles de crecientes, Metodología del análisis hidráulico, 1 Modelación hidráulica en HEC – RAS., Estimación del coeficiente n de Manning, Estimación de socavación potencial, Metodologías de cálculo de socavación, Socavación en materiales granulares aluviales, Degradación o agradación de largo plazo, Socavación general (por contracción), Socavación local, Socavación al pie de los estribos y bastiones, programas más usados en Hidráulica e Hidrología, así como los software de cálculo HEC HMS 4.2, HECRAS 5.0, IBER 2.4, ejercicios propuestos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Una vez elaborado a la guía técnica de hidrología. Estudio de las corrientes y el movimiento de sedimentos se pudo concluir:

Es de vital importancia conocer información sobre el estudio de una cuenca en referencia al comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos a nivel académico que le facilite al estudiante la adquisición de nuevos conocimientos, proporcionándole habilidades que sean aplicables académica y profesionalmente, creándoles conciencia del uso de este tipo de herramientas fundamentales para su aprendizaje.

En la aplicación de los diferentes métodos de cálculo para estudios del comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos, se toma en consideración las características físicas de una cuenca.

Es necesaria la elaboración de un manual de estudio en ingeniería civil, no solo en el curso de Hidrología, ofreciendo una base práctica que le permita al estudiante poder diseñar ejercicios aplicando herramientas, asociada a situaciones propias del estudio.

Es importante la comprensión de los métodos o procedimientos que se aplican en el estudio del comportamiento de la corriente y el movimiento de sedimentos para determinar el caudal de una cuenca y la estimación de las partículas que circulan en ella.

5.2 Recomendaciones

Como resultado del presente trabajo de investigación se presentan las siguientes recomendaciones:

Evaluar las variaciones de resultados con respecto al cálculo del caudal y la estimación de las partículas que circulan a través de la corriente, por los diferentes métodos existentes.

Investigar sobre otros tipos de métodos de cálculos para el estudio del comportamiento de las corrientes y el movimiento de sedimentos asociados a una cuenca.

Elaborar otras guías técnicas en materia de Hidrología

Elaborar otras guías técnicas de cálculos para los demás cursos impartidos en el pensum de ingeniería civil. Profundizar el estudio de las corrientes en el marco de la sustentabilidad ambiental, considerando nuevos parámetros.

REFERENCIAS

Aldana Ángel, (2002) **Métodos de Estimación de Relaciones Nivel Caudal.** Disponible en: <http://ceh-flumen64.cedex.es/hidraulica/Archivos/CGasto.pdf>

Aranda Campos, (1998) **Cuencas.** Disponible en: <https://es.slideshare.net/PaleCruz/cuencas-19312652>

Arias Fidas, (2006) **El proyecto de la Investigación.** Disponible en: <https://ebevidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACION-C3%93N-6ta-Ed.-FIDIAS-G.-ARIAS.pdf>

Arias Fidas, (2012) **El proyecto de la Investigación. Introducción a la investigación científica.** Disponible en: <http://trabajodegradobarinas.blogspot.com/2015/06/fidias-arias-2012-el-proyecto-de.html>

Carvajal Lizardo, (2013) **Los Recursos en la Investigación Científica y sus clases.** Disponible en: <http://www.lizardo-carvajal.com/los-recursos-en-la-investigacion-cientifica-y-sus-clases/>

Carvajal Lizardo, (2013) **Recursos Humanos en la Investigación científica**

Disponible en: <http://www.lizardo-carvajal.com/recursos-humanos-en-la-investigacion-cientifica/>

Carvajal Lizardo, (2013) **Los Recursos en la Investigación Científica y sus clases.**

Disponible en: <http://www.lizardo-carvajal.com/tag/recursos-de-investigacion-cientifica/>

Castillo Ximena, (2016), **Guía Técnica para la Elaboración de Manuales de Procedimientos.** Disponibles en:

https://www.uv.mx/personal/fcastaneda/files/2010/10/guia_elab_manu_proc.pdf

Delgado, (2006) **Tipos de Canales.** Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/80271725/Tipo-de-canales>

Delgado Mario, (2012) **Canales.** Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/80271725/Tipo-de-canales>

Eclesiastés, (1,7) **Crecientes de Aguas Superficiales.** Disponible en: [http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/alpr/Corrientes superficiales.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/alpr/Corrientes_superficiales.pdf)

García Antonio, (2011) **La cuenca hidrográfica transfronteriza Grijalva: la danza de politics-policy y el mapeo institucional en México y Guatemala.** Disponible en: http://www.unesco.org/uy/ci/fileadmin/phi/aqualac/pp_127-140.pdf

Heras, (1972) **Características morfométricas de una cuenca.** Disponibles en: gaia.geologia.uson.mx/academicos/.../MORFOMETRIA%20DE%20CUENCAS.docx

Hernández Roberto, (2006) . Disponible en: https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf

Llamas, (1993) **Caracterización Morfométrica de la Cuenca de la Quebrada la Bermeja.** San Cristóbal, Venezuela. Vol.7-2002 (1-2). p.88-108.

Rodolfo Rivas, (1995) **Manual de investigación documental.** México: Editorial Plaza y Valdés.

Sabino Carlos, (1996) **El proceso de la investigación.** Disponible en: http://paginas.ufm.edu/sabino/ingles/book/proceso_investigacion.pdf

Sánchez Javier, (2013) **Medición de Caudales**. Disponible en:
<http://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>

Sánchez Maria, (2015) **Medición de caudales Aforos**. Disponible en:
<https://es.scribd.com/doc/105255484/MEDICION-DE-CAUDALES-AFOROS>

Starcuzzi Palela y Martins Feliberto, (2010) **Metodología de la investigación cuantitativa**. Caracas: Editorial Fedupel. Tercera edición.

Tamayo y Tamayo, (1997) **Tesis de la investigación**. Disponible en:
<http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/06/poblacion-y-muestra-tamayo-y-tamayo.html>

Tamayo Y Tamayo, (2002). **El proceso de la investigación científica**. México: Editorial Linuesa

Tamayo y Tamayo, (2003) **El Proceso de la Investigación Científica**. México: Editorial Noriega Editores. Cuarta Edición.

Edward J. Tarbuck, Frederick K. Lutgens, (2005) **Ciencias de la Tierra– Una Introducción a la Geología Física**. Octava edición

Unal, (1997) **Morfometría de Cuencas**. Disponible en:
<http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>

Zambrano Jeannette, (2015) **Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG**. Programa de Doctorado en Ingeniería Civil. Barcelona

Disponible en:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/95706/TJZN1de1.pdf>



—
—

DEDICATORIA

Primeramente, gracias a Dios

Que nos guiarnos y acompañarnos en todo este proceso universitario para que se cumplieran nuestros objetivos hasta alcanzar esta tan anhelada meta, donde todo es posible creyendo en Dios, por dándonos vida y salud para así poder finalizar.

Nuestros padres

Que fueron un apoyo incondicional durante toda esta carrera universitaria, con sus consejos, valores, motivación infinita, una constancia absoluta sobre nosotras para que nos rindiéramos al frente de las adversidades, y gracias a ellos somos unas grandes personas de bien, sin nada más que decir gracias por todo su amor

A nuestros profesores ingenieros

Ing. Emerly Castillo por ser una increíble docente y tutora, con grandes conocimientos, apoyo, motivación, con nosotras para que lleguemos a la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis.

Demás docentes en todo este camino de formación y conocimiento adquirido.

PRÓLOGO

La siguiente investigación es una guía que se encarga de explicar sobre métodos directos de estimación de caudales y movimientos de sedimentos con ejercicios resueltos y propuestos con la intención de abordar incógnitas y dudas de los estudiantes en relación a dichos temas, pudiendo contar con un material que les permita conocer diversos métodos de cálculo.

Esta guía está dedicada a las nuevas generaciones de estudiantes de ingeniería civil en donde más que conocer es disponer de un mecanismo de aprendizaje, sobre diversos métodos de cálculo, para que en un futuro puedan considerar criterios sólidos en base a los fundamentos teóricos en el marco de referencia del tema en estudio, aplicando los conocimientos adquiridos a nivel académico.

Esta experiencia nos sirvió para reforzar conocimientos, aprendiendo nuevos métodos de cálculo, ya que nos permitió considerar criterios en base a lo estudiado a nivel académico.

CONTENIDO		pp
DEDICATORIA	.....	i
PRÓLOGO	.....	ii
CAPÍTULO		
I AFOROS DIRECTOS		
1.1 Introducción	.....	1
1.2 Tipos de Aforos Directos	.....	1
1.2.1 Estimación Aproximada con Flotadores	.....	1
1.2.2 Molinete	.....	10
1.2.3 Aforo Volumétrico	.....	14
1.2.5 Aforo por Trazadores	.....	17
1.2.6 Escalas Limnimétricas o Limnímetros	.....	22
1.2.7 Limnígrafos	.....	22
1.2.8 Vertederos de Aforo	.....	23
1.2.8.1 Vertederos tipo V (Triangulares)	.....	23
1.2.8.1 Vertederos Rectangulares	.....	24

1.2.8.2 Vertederos Trapezoidales (Cipolleti)	.....	25
II HIDROGRAMAS		
3.1 Descripción	.....	32
3.2 Tipos de Hidrogramas	.....	34
3.3 Método Aproximado	.....	36
III CURVAS DE GASTO		
4.1 Descripción	.....	41
IV MOVIMIENTO DE SEDIMENTOS		
4.1 Introducción	.....	43
4.2 Origen y Propiedades de los Sedimentos	.....	43
4.3 Inicio del Movimiento	.....	46
4.4 Transporte de Sedimentos	.....	51
4.5 El proceso de la Erosión	.....	55
4.5.1 Factores que controlan la Erosión	.....	57
4.5.2 Erosión en cuencas	.....	58
4.5.3 Erosión en canales	.....	59

4.6 Aplicación de la USLE: Consecuencias y Mitigación	.....	59
4.7 El proceso de la socavación	.....	62
4.7.1 Metodologías de cálculo de socavación	.....	63
4.7.2 Socavación en materiales granulares aluviales	.....	63
4.7.3 Degradación o agradación de largo plazo	.....	64
4.7.4 Socavación general (por contracción)	.....	64
4.7.5 Socavación local	.....	66
4.7.5.1 Socavación al pie de los estribos y bastiones	.....	66
 V USO DE HERRAMIENTAS DIGITALES		
5.1 HEC HMS 4.2	.....	68
5.2 HECRAS 5.0	.....	70
5.3 IBER 2.4	.....	70
5.2 Estimación de tormentas de diseño	.....	71
5.3 Modelo de abstracciones de la precipitación	.....	71

5.4 Modelo de transformación precipitación- escorrentía	.....	72
5.5 Estimación de niveles de crecientes		72
5.5.1 Metodología del análisis hidráulico	.....	72
5.5.1.1 Modelación hidráulica en HEC RAS.	.....	72
5.5.1.2 Estimación del coeficiente n de Manning	.....	73
 VI SUSTENTABILIDAD		
6.1 Aplicación de la sustentabilidad ambiental	.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	78

El objetivo de los aforos directos es calcular los caudales circulantes en las secciones transversales de los cauces, canales, acequias que forman parte de una determinada red de puntos de medida; son un método tradicional para obtener una relación entre niveles y caudales. Se miden velocidades en distintos puntos de la sección transversal y se calculan con ellas el caudal siguiendo algún método de integración en el área de flujo. Las operaciones de aforo directo pueden considerarse obligadas sea cual sea el método de medida y de obtención de caudales.

Aforar es medir un caudal, en Hidrología superficial puede ser necesario medir desde pequeños caudales (lts/seg) hasta grandes ríos (m³/seg). Se aborda una metodología para la realización y cálculo de aforos directos, para la obtención del caudal en una sección transversal.

Las mediciones del ancho, de la profundidad y de la velocidad permiten calcular el caudal correspondiente a cada segmento en que se ha dividido la sección transversal. La suma de los caudales asociados a cada segmento (integral) proporciona el caudal total circulante por la sección transversal aforada.

Es un método sencillo y rápido para estimar el caudal de agua que pasa por una sección transversal del río, calculando las velocidades superficiales de la corriente. Consisten en objetos flotantes que adquieren la velocidad del agua que los circundan. Pueden ser de tres tipos:

Simple: El inconveniente presentado por este flotador se debe al hecho de ser muy influido por el viento, por las corrientes secundarias y por las olas.

Dobles: Constituyen un pequeño flotador de superficies, al cual está unido por una cuerda un cuerpo sumergido, a la profundidad deseada.

Bastones flotadores o flotadores lastrados: Son tubos metálicos huecos o de madera, que tienen en la parte inferior un lastre de plomo.

Este método se puede aplicar en un río o canal cuando no se cuente con un correntómetro o equipos de aforo, en periodos de máximas crecidas en donde pelagra el equipo de correntómetro; cuando los niveles de aguas son muy bajos y no permite medir; si existen sedimentos o algas que impiden que se puede hacer dichas mediciones; si se desea conocer el caudal de la corriente de forma aproximada sin tener que construir una estación hidrométrica las cuales son costosas, mediante la siguiente expresión matemática:

—

Donde:

Q = es el caudal en

L = es la longitud entre el punto A y B en metros.

A = es el Área asociado a la cuenca en

T = es el tiempo promedio de medición asociado a la cuenca en estudio expresado en segundos

Fc = es el factor de corrección.

Donde Fc está relacionado con la velocidad. Se debe seleccionar de acuerdo al tipo del río o canal y a la profundidad del mismo, de acuerdo a los valores del siguiente cuadro:

TIPO DE CAUCE	FACTOR DE CORRECCIÓN FC
Canal revestido en concreto, profundidad del agua > 15 cm	0.8
Canal en tierra, profundidad del agua > 15 cm	0.7
Riachuelo profundidad del agua > 15 cm	0.5
Canales de tierra, profundidad del agua < 15 cm	0.25 – 0.5

Cuadro 1. Factor de corrección Fc

Fuente: Manual N^o 5 medición del Agua (2014)

1. Seleccionar el lugar adecuado

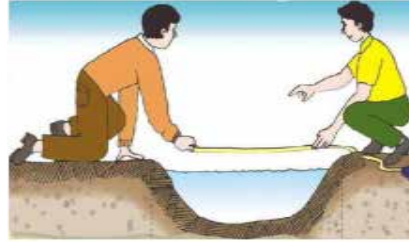


Figura 1. Elección de un sector del canal o río lo más recto posible medido entre 5 y 10 metros.

Fuente: Instructivo de Medición de Caudal Laboratorio de Calidad Ambiental (2009)

En primer lugar, se selecciona en el río o canal a estudiar un tramo uniforme, sin piedras grandes, ni troncos de árboles, en el que el agua fluya libremente, sin turbulencias, ni impedimentos que sea recto y de sección transversal uniforme, cuya longitud debe ser alrededor de 5 a 10 metros, donde el agua escurra libremente, se mide con una cinta métrica.

2. En el tramo seleccionado ubicar dos puntos, A (de inicio) y B (de llegada). (Ver figura 2).

Se debe ubicar una persona en el punto A con las boyas y otra persona en el punto B con el reloj o cronómetro, Para posterior medir el tiempo de recorrido del flotador del punto A al punto B.

3. Medición del área del cauce o canal

Una vez medido el tiempo del recorrido del flotador, se divide el ancho del cauce o canal en tramos iguales, pueden ser cada 10 a 40 cm según el ancho. Un método práctico, en donde su aproximación es aceptable para calcular el área transversal, es tomar la altura promedio. Esto consiste en dividir el ancho del río, por lo menos, en cuatro partes y medir la profundidad en cada punto para luego calcular el promedio. (Ver figura 3)



Figura 3. Medición del ancho del canal o río.

Fuente: Manual Piragüero 3 – Medición del Caudal (2014)

Para determinar los puntos donde se medirá la altura del agua; en el ejemplo dado estos puntos están a 30 cm. (ver figura 4).

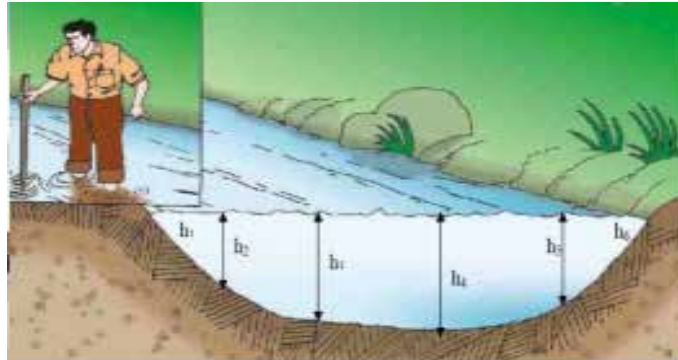


Figura 4. Medición de la profundidad del canal o río, haciendo divisiones entre 25 y 40 cm

Fuente: Instructivo de Medición de Caudal Laboratorio de Calidad Ambiental (2009)

Para ello se determina lo siguiente: El ancho se divide en tramos iguales e , siendo e_i y e_f diferentes por tener mayores secciones trapezoidales. Del cuadro 2 se tiene los datos medidos:

Espacios	Distancia (m)	Profundidad	Cantidad (m)
e_0	0.0	h_0	0.0
e_1	0.30	h_1	0.12
e_2	0.30	h_2	0.25
e_3	0.30	h_3	0.18
e_4	0.0	h_4	0.0
e_5		h_5	
e		h_6	

Cuadro 2. Espacios y profundidad medido en un canal o río

Fuente: Manual N° 5 medición del Agua (2014)

Cálculo de las áreas: El área se calcula como un trapecio recto.

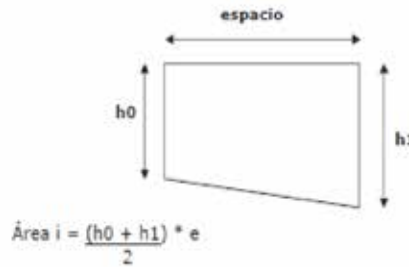


Figura 5. Método del área trapezoidal

Fuente: Manual N° 5 medición del Agua (2014)

Espacios	Distan- cia (m)	Profundi- dad	Cantidad (m)	Área Parcial (m ²)
e 0	0.0	h 0	0.0	0.0
e 1	0.30	h 1	0.12	0.018
e 2	0.30	h 2	0.25	0.0555
e 3	0.30	h 3	0.18	0.0645
e 4	0.0	h 4	0.0	0.027
e 5		h 5		
e		h 6		
Área total (m ²)				0.165

Cuadro 3. Áreas parciales del canal o río en estudio

Fuente: Manual N° 5 medición del Agua (2014)

El área de la sección media es $A = 0.165$

4. Medición de la velocidad del agua (V)

Una vez determinado la longitud entre los puntos A y B, en este caso la longitud seleccionada

$L = 10\text{m}$.

Se procede a seguir las pautas de la figura 5 al 7, repitiendo al menos 5 veces la medida del tiempo, que demora un flotador en recorrer los 10m.

Se debe de realizar mínimo tres mediciones y sacar el promedio de ambas para tener más exactitud.



Figura 6. Lanza del flotador a 3 metros antes del punto A.

Fuente: Manual N° 5 medición del Agua (2014)

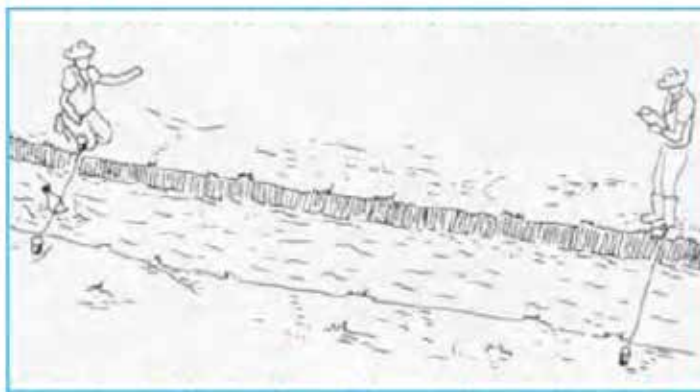


Figura 7. El flotador pasa por la línea inicial del punto A, avisado en el punto B iniciando el conteo del tiempo con un cronometro

Fuente: Manual N° 5 medición del Agua (2014)



Figura 8. El flotador pasa por segunda medida, se termina de tomar el tiempo.

Fuente: Manual N° 5 medición del Agua (2014)

Cálculo del tiempo promedio del recorrido del flotador:

Tiempo	Segundos
T1	69
T2	63
T3	66
T4	68
T5	65
Tiempo promedio (Tp)	66.20

Cuadro 4. influencia de la forma del cauce sobre la velocidad.

Fuente: Manual N° 5 medición del Agua (2014)

La velocidad de la corriente de agua del río se calcula con base en la siguiente fórmula:

$$\text{---} = 0.15\text{---}$$

4. Cálculo del Caudal del Río

Con los datos obtenidos se procede a calcular el caudal del río, QR, con base en la siguiente ecuación

$$Q = f_c \times A \times V$$

Considerando que la sección presenta un canal en tierra mayor de 15 cm del cuadro 1 el valor de 0.7

$$\text{El } f_c = 0.7$$

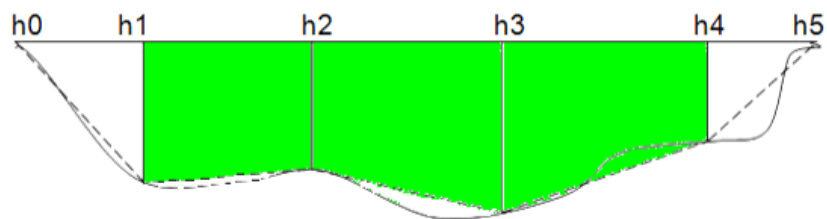
Reemplazando los valores calculados del caudal aforado.

$$Q = 0.7 \times 0.165 \quad \times 0.15 \text{ ---}$$

$$Q = 0.017 \text{ ---}$$

$$Q = 17 \text{ ---}$$

Se desea conocer el caudal de un río o canal, se tiene los siguientes datos de la sección transversal:



Ancho de la sección transversal(m)	2.7
Distancia de h0-h1=0.15m y de h4-h5=0.15m	0.3
Espejo de agua (T) (m)	2.4
Tramo o distancia AB (m)	5

Alturas (cm):

H1	H2	H3	H4
20	38	39	13
25.2	40	40	16
25	45	44	14

Promedio (cm) ---->	23.4	41	41	14.3
Promedio (m) ----->	0.234	0.41	0.41	0.143

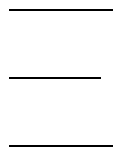
El tiempo estará comprendido:

Tiempos de las boyas (s)	
	6.5
	7.33
	7.36
	7.26
	6.49
	6.92
	7.09
Promedio--->	7

Calculando la velocidad:

se calcula el espejo de agua para luego ser dividido entre los tramos en el cual se ha dividido el ancho del canal:

Una vez obtenido el espejo de agua y la velocidad, se procede a calcular el área para cada tramo usando el método del trapecio:



Una vez calculada las áreas parciales, se calcula el área total:

Calculando el caudal:

Para la obtención del coeficiente f_c , viene dado por el cuadro 1. Factor de corrección F_c ; el canal es de tierra con una profundidad mayor a 15 cm, $F_c = 0,7$.



Una vez obtenidos estos resultados se puede apreciar los pasos a seguir para la medición de un caudal en un canal o río a través del método de flotadores siendo práctico, sencillo y rápido para estimar dicho caudal de una sección. Pero dicha medición de caudal por flotador es imprecisa debido a que el objeto que se utiliza como flotador es muy variable, varía la masa según sea dicho objeto, esta ve afectado su velocidad por la fricción de la tensión superficial del agua y de la potencial brisa que corre por la zona. Es recomendable realizar las mediciones del caudal tanto en un canal como en un río en diferentes épocas del año para tener un registro de los valores mínimos, intermedios y máximos.

Este método realiza la medición exacta de la velocidad. Se mide la velocidad de la corriente en varios puntos del mismo vertical y en varias verticales de la sección del cauce. A la vez que se mide la velocidad se mide la profundidad en cada vertical y la anchura exacta del cauce y, lo que nos permite establecer la sección con bastante precisión.

En este método la medida de la velocidad se realiza a 0.20 de la profundidad y a 0.80 de la profundidad y cerca de las orillas, en aguas menos profundas a 0,50 de la profundidad. Se mide por medio de un instrumento llamado correntómetro que mide la velocidad en un punto dado en el agua. Existen varios tipos de correntómetros, siendo los más empleados los de hélice de los cuales hay de varios tamaños; cuando más grandes sean los caudales o más altas sean las velocidades, mayor debe ser el tamaño del aparato.

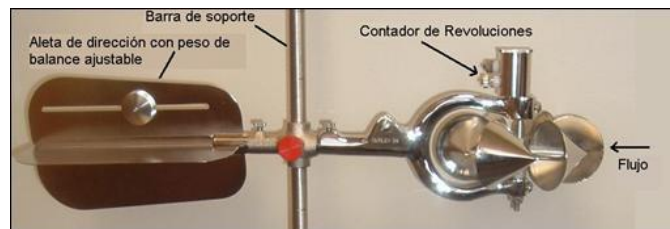


Figura 9. Modelo de Molinete Gurley 622 A

Fuente: Ángel Aldana (2002)

Cada correntómetro debe tener un certificado de calibración en el que figura la fórmula para calcular la velocidad sabiendo el número de vueltas o revoluciones de la hélice por segundo. En canales poco profundos, el molinete debe sostenerse en la posición deseada por medio de una varilla de vadeo. En canales demasiado profundos o muy rápidos para medirlo por vadeo, el molinete se debe suspender de un alambre o varilla desde un puente, teleférico o embarcación. Cuando se utiliza una embarcación, el molinete debe sostenerse de manera que no lo afecten las perturbaciones causadas por la embarcación.

Una vez que el molinete se haya colocado en el punto seleccionado de la vertical, se le alineará en la dirección de la corriente antes de comenzar las mediciones. Si no se puede evitar el flujo oblicuo, el ángulo de la dirección del flujo normal y la sección transversal deben ser medidos y la velocidad medida debe corregirse.

El principio radica en el número de revoluciones por unidad de tiempo, en algunos casos el instrumento viene ya calibrado en función de la velocidad:

Donde:

V = Velocidad de la corriente (m/s).

n= Número de revoluciones de la hélice en la unidad de tiempo (rad/s).

a= Constante de paso hidráulico, obtenida experimentalmente en ensayos de arrastre (m).

b= Constante que considera la inercia y la mínima velocidad para que la hélice se mueva (m/s).

Los aparatos vienen con su respectiva ecuación de calibración, dependiendo del tipo de molinete y de la casa productora, o tabuladas las velocidades en función del número de revoluciones por minuto, los más actuales nos indican directamente la velocidad. (Ver Cuadro 2)

Gurley-622	$v=0,690904$ $rps+0,014694$
SIW-017	$V=0,658$ rps+0,0090
Price-622	$V=0,6735$ rps+0,0091
Medidor Hoff	$v=0,296$ rps

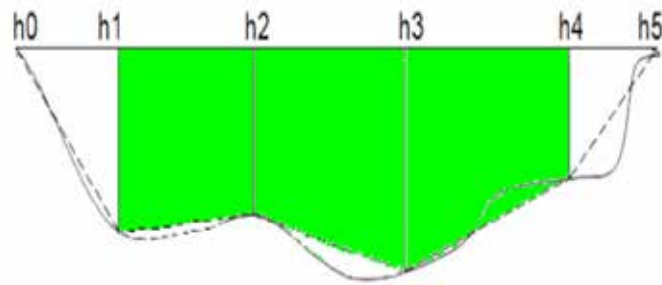
Cuadro 2. Ecuaciones de Calibración para algunos molinetes

Fuente: Ángel Aldana (2002)

Este método sigue una metodología similar que el de un flotador, con la diferencia de que no se utilizarán boyas para determinar la velocidad, sino que por medio del instrumento "correntómetro" se medirá la velocidad instantáneamente en los diferentes puntos del tramo del canal en estudio. A partir de la medición de cada

vertical, en cada una de ellas se mide la distancia desde la orilla, la profundidad en ese punto y se realizan una o varias medidas de la velocidad a distintas profundidades

Ejemplo 1: Se desea conocer el caudal de un río o canal, se tiene los siguientes datos de la sección transversal:



Datos obtenidos de la sección del canal

Ancho de la sección transversal (m)	2.7
Distancia de $h_0-h_1= 0.15\text{m}$ y $h_4-h_5= 0.15\text{m}$	0.3
Espejo de agua (T)(m)	2.4
Tramo o distancia AB (m)	5

Alturas (cm):

H1	H2	H3	H4	
20	38	39	13	
25.2	40	40	16	
25	45	44	14	
23.4	41	41	14.3	Promedio en cm
0.234	0.41	0.41	0.143	promedio en m

Tiempo:

tiempo de las boyas (seg)	
6.5	
7.33	
7.36	
7.26	
6.49	
6.92	
7.09	
7	promedio (seg)

Su procedimiento es similar al del método del flotador por lo que se procede a calcularse el caudal de la misma manera. Para el cálculo del área de la sección en primer lugar se calcula el espejo de agua (T), para luego poder dividirse entre los tramos en los cuales se ha dividido el ancho del canal (H).

— ———

Una vez obtenido el espejo del agua se calcula el área utilizando el método de un trapecio:

—————

—————

—————

—————

$$A_t = A_1 + A_2 + A_3 = 0.2576 + 0.3280 + 0.2212 = 0.8068$$

Datos obtenidos mediante el correntómetro

Valores de Correntómetro (-)
0.5

0.5
0.4
0.5
0.475

$$Q = V \times A = 0.475 \times 0.8068 = 0.3832$$

Con este método se pueden obtener mediciones instantáneas y más reales comparados con el método del flotador, ya que tiene como ventaja en la superficie de contacto del aparato casi sin fricción lo que resulta más preciso a la hora de mediciones de velocidad. Es fácil de usar y con un sencillo mantenimiento, no es recomendable usar este método cuando existe una excesiva velocidad del agua, presencia de muchos cuerpos extraños, cuando peligra el operador, o corre riesgo de daño en el aparato de medición en este caso el correntómetro.

Este método es aplicable en la medición de pequeños caudales y se realiza midiendo el tiempo de llenado (t) de un recipiente de volumen conocido (V), donde se colecta la descarga, determinando el caudal con la ecuación:

Donde

Q: Caudal

V: Volumen ocupado

T: tiempo de llenado

Como toda el agua se debe recibir en un balde u otro recipiente, este método sirve para medir caudales no muy grandes, como el caudal de manantiales, reservorios, sifones, caja de distribución, caudal en un surco, la descarga de algunos aspersores, salidas de sistemas californianos.

Caso A: Cuando no se conoce el volumen del recipiente. Cuando se tiene baldes y no se sabe cuánto es el volumen, esta se debe calcular mediante la siguiente expresión:

$$\text{Vol} = 3.1416 \times h \left(\frac{R^2 + r^2 + Rr}{3} \right)$$



Figura 12. Teoría de área y volumen (Cono Trunco)

Fuente: Manual N^a 5 medición del Agua (2014)

El balde se voltea hacia abajo y se mide de la siguiente forma de una wincha:



Figura 13. Ejemplo muestra de la teoría del área y volumen (Cono Trunco)

Fuente: Manual N^a 5 medición del Agua (2014)

Radio menor $r = 0.10 \text{ m}$.

Radio mayor $R = 0.15 \text{ m}$.

Profundidad del balde $h = 0.30$

Volumen = _____

Volumen = 0.0149226

Si = 1000 litros

El volumen = $0.0149226 \times 1000 = 14,9226$ litros.

Se determinará el tiempo de llenado (T) de un recipiente considerando como una medición mínima de 5 mediciones a fin de determinar un tiempo promedio.

tiempo de llenado	segundos
T1	5.9
T2	6.1
T3	6.1
T4	6.2
T5	5.9
tiempo promedio (T)	6.04

Cuadro 9. Tiempo de llenado de un recipiente.

Fuente: Manual N° 5 medición del Agua (2014)

Calculando el caudal se obtiene:

$$V = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

Caso B: cuando se tiene determinado el volumen del recipiente. Se puede determinar el caudal según el tiempo empleado para llenar distintos volúmenes conocidos.

Ejemplo: se tiene un balde con un volumen aproximado de 10 litros y un tiempo de llenado (T) promedio T = 6 segundos.

Con el cuadro de la relación tiempo y volumen se puede determinar el caudal dando un valor aproximado de 1,67 l/s. (Ver anexo 1).

En la descarga de un pozo de riego, se coloca un recipiente de 200 litros, el cual se llena en 10 segundos. Calcular el caudal:

Volumen del balde: 10 litros (graduado con marcas). Cuatro mediciones de tiempo de llenado:

Lectura	Tiempo (segundos)
1	5,34
2	5,45
3	5,38
4	5,40
Suma	21,57
Promedio: Dividir entre el número de datos = 4	$\frac{21,57}{4}$
Tiempo promedio	5,39

Calculando el caudal se obtiene:

Es un método sencillo, exige de muy pocos equipos siendo es muy preciso si se aplica con un cuidado razonable. Mientras más grande sea el depósito de agua, mayor será el tiempo necesario para llenarlo y más precisa la medición.

La medición del caudal se realiza de forma manual utilizando un cronómetro y un recipiente aforado, generalmente un balde. Se debe tener un especial cuidado en el momento de la toma de muestra y la medición del tiempo, ya que es un proceso simultáneo donde el tiempo comienza a tomarse en el preciso instante que el recipiente se introduce a la descarga y se detiene en el momento en que se retira de ella.

Este método tiene la ventaja de ser el más sencillo y confiable, siempre y cuando el lugar donde se realice el aforo garantice que al recipiente llegue todo el volumen de agua que sale por la descarga. Teniendo como desventaja que la mayoría de veces es necesario adecuar el sitio de aforo para evitar pérdida de muestra en el momento de aforar; también se deben evitar represamientos que permitan la acumulación de sólidos y grasas.

Esta técnica se usa en aquellas corrientes que presenten dificultades para la aplicación del método área velocidad o medidas con estructuras hidráulicas, como en corrientes muy anchas o en ríos torrenciales. Se basan en la inyección de una sustancia detectable, colorante o sustancia radiactiva que es medida aguas abajo del punto de inyección. Existen 2 métodos:

a) Método de Inyección continua (Ver figura 15)



Figura 14. Medición de caudales por medio de trazadores (Método de inyección continua).

Fuente: María Suárez (2002)

A un cauce de caudal $Q C_0$ se añade un pequeño caudal continuo $q C_1$ de una disolución de concentración C_1 . Supongamos que el río ya tenía una concentración C_0 de esa misma sustancia. Se cumplirá que:

Como:

Despejando el caudal Q tenemos:

$$Q = \frac{q C_1}{C_2 - C_0}$$

Donde:

Q : Caudal de la corriente aforada (l/s o en m³/s).

q : Caudal del trazador o de la solución salina aplicada (l/s o en m³/s).

C_1 : Concentración del trazador o de la sustancia química en la solución.

C_2 : Concentración del trazador o sustancia química después de la aplicación.

C_0 : Concentración del trazador o de la sustancia química antes de la aplicación.

b) Método de inyección puntual (Ver figura 16)

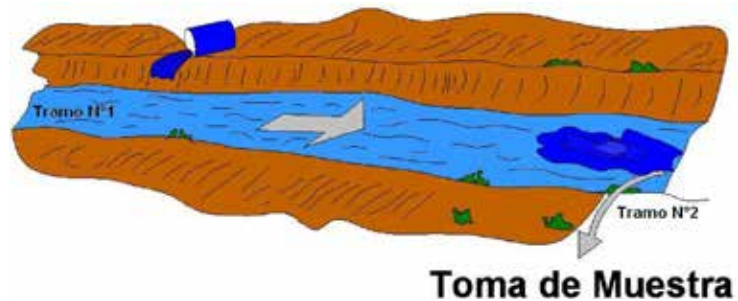


Figura 15. Medición de caudales por medio de trazadores (método de inyección puntual)

Fuente: María Suárez (2002)

Supóngase que en el tramo 1 se adiciona un pequeño volumen de trazador ($V1$) con una concentración alta ($C1$).

Por continuidad se tiene:

Donde:

Q : Caudal de la corriente que se desea conocer

$C1$: Concentración del trazador

$V1$: Volumen del trazador

$C2$: Función que define la concentración del trazador, en el punto de control en función de

$C0$: Concentración encontrada en el río antes de la dosificación.

Resolviendo la ecuación para se tiene:

El perfil de concentraciones en el río se comporta con el tiempo así. (Ver figura 9)

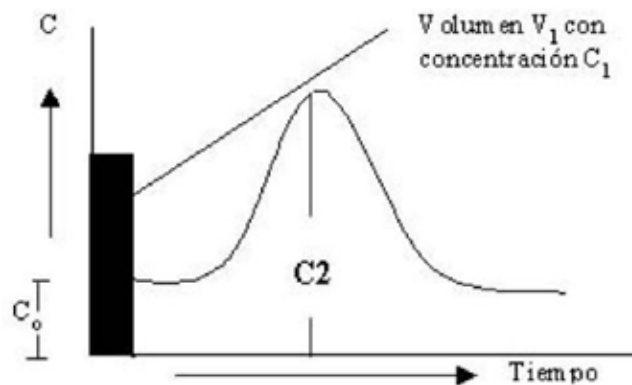


Figura 16. Perfil de concentración en el río

Fuente: Ángel Aldana (2002)

Se inyecta un trazador en una sección dada a un caudal q_0 con una concentración de trazador C_0 de manera que si se realiza un balance de masa de trazador entre dos puntos y suponiendo que la corriente lleva una concentración de trazador C_1 se tiene:

Se despeja Q (caudal) quedando como resultado:

: una solución de sal común con una concentración de 200 g/l fue descargada en un canal o río con un caudal constante de 25 l/s. el río inicialmente tenía una concentración de sal de 10 ppm. Aguas abajo se midió una concentración de 45 ppm. ¿Cuál será el caudal en el canal o río?

Se tiene los siguientes valores:

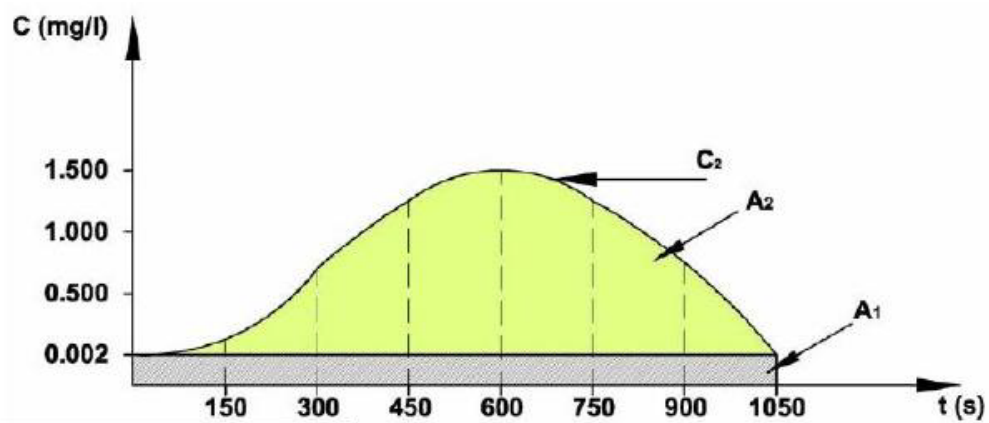
$$Q = 25 \text{ l/s}$$

Aplicando la fórmula se obtiene el caudal:

Se ha seleccionado una sección apropiada para lanzar trazadores, el volumen de trazador a suministrar se es de 15 lts. De cloruro de litio en solución 85 g/l. Se indica que las medidas existentes en el río son de 0.002 mg/l (C_0), además se cuenta con la siguiente información:

0	0.002
150	0.239
300	0.811
450	1.354
600	1.537
750	1.283
900	0.477
1050	0.003

Se pide determinar el caudal del río para desperdicios del 10 y 5 %.



$$V1 = 15l$$

C2 = Función que define la concentración del trazador, en el punto de control en función de t.

$$C_0 = 0.002 \text{ mg/l}$$

$$C1 = 85 \text{ g/l} = 8500 \text{ mg/l}$$

Para un desperdicio del 10 %:

$$C1 = 0.90 \times 8500 = 76500 \text{ mg/l}$$

$$Q = \text{—————} = 76500 \times 15$$

$$Q = \text{—————} = 76500 \times 15 = Q = (A2 - A1)$$

$$A2 = \text{—} \times [0.002 + 0.003 + 2 \times (0.239 + 0.811 + 1.354 + 1.283 + 0.477)]$$

$$A2 = 855.43$$

$$A1 = 0.002 \times 1050 = 2.10$$

$$A2 - A1 = 855.43 - 2.10 = 853.43$$

$$76500 \times 15 = Q \times 853.43$$

Para un desperdicio del 5 %:

$$C1 = 0.95 \times 8500 = 80750 \text{ mg/l}$$

$$Q = \text{—————}$$

Se debe de tener en cuenta que para aplicar este método se supone que el flujo del caudal de un canal o río a estudiar es permanente, ya que los trazadores presentan las siguientes características:

No deben reaccionar químicamente, ni deben ser absorbidos por los sedimentos o vegetación que tenga el canal o río.

No deben ser tóxicos

No deben ser costosos

Se deben detectar fácilmente en pequeñas concentraciones

El limnómetro es la herramienta adaptada para vigilar cuencas o ríos. En cauces muy abiertos suele ser necesario instalar varias de manera que sus escalas se sucedan correlativamente.

Para canales de tierra el limnómetro puede montarse verticalmente sobre un soporte que se coloca en el mismo cauce. Este soporte debe ser de tal forma que no interfiera en el curso del agua que pasa a través del aforador y que tampoco retenga cuerpos flotantes. En los canales revestidos de hormigón, los limnómetros pueden montarse directamente adosados a sus cajeros. Cuando las paredes del canal están inclinadas, la longitud indicada sobre la escala es mayor que la correspondiente profundidad vertical del agua.

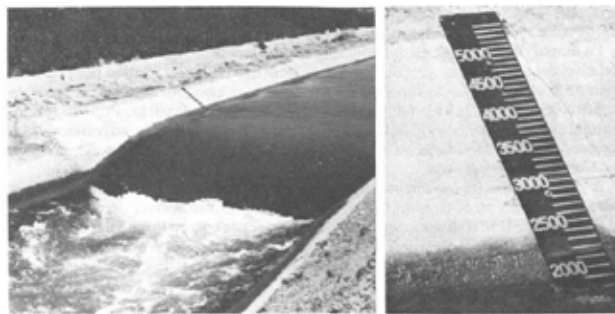


Figura 17. Un limnómetro montado sobre un cajero inclinado hace más utilizables estos vertederos, la escala está marcada en unidades de caudal.

Fuente: Manual N° 5 medición del Agua (2014)

Son registradores automáticos del nivel del agua, son instrumentos que trazan gráficos, graban en cinta magnética o registran sobre una banda de papel con perforaciones los niveles del agua, en función del tiempo. El gráfico que proporcionan (altura del agua en función del tiempo) se denomina limnograma. No solamente evitan la presencia diaria de un operario,

sino que permiten apreciar la evolución del caudal dentro del intervalo de 24 horas. El modelo clásico funciona con un flotador que, después de disminuir la amplitud de sus oscilaciones mediante unos engranajes, hace subir y bajar una plumilla sobre un tambor giratorio. Está compuesto por Tres Partes:

1. Elemento Sensible (Flotador, contrapeso o manómetro)
2. Escala para registro los niveles de agua
3. Mecanismo de Relojería, alimentado mecánicamente, da la escala de tiempo

Generalidades

Estos deben instalarse en la orilla más cercana a la profundidad máxima, para evitar que se quede seco en temporada de sequías.

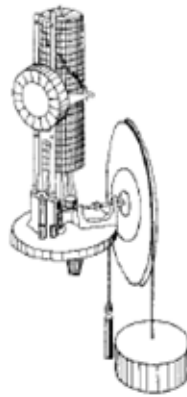


Figura 18. Limnigrafo clásico

Fuente: Manual de aforos (1992)

Son los más sencillos y utilizados para medir el caudal de agua en canales abiertos. Según la forma que se obligue a adoptar a la sección de la vena líquida que circule por él, se clasifican en rectangulares, trapezoidales y triangulares. La carga o altura de agua que pase sobre la cresta del vertedero debe medirse a una distancia aguas arriba tal, que no sea afectada por la depresión de la superficie del agua que se produce al aproximarse a la cresta.

Los vertederos triangulares son apropiados para medir gastos pequeños. En éstos se toma en cuenta solamente la carga hidráulica (h) y el ángulo de abertura del vertedor; por razones

prácticas puede ser de 60° o 90°. Estos vertederos son fáciles de construir y pueden ser de diversos materiales: aluminio, fierro, concreto, o de una combinación de éstos.

Se puede construir un vertedero sencillo de la siguiente forma: en una tabla se hace una abertura triangular, con una lámina de metal montada con el ángulo deseado (60° o 90°), complementada con una escala graduada en centímetros, que se coloca verticalmente aguas arriba del vertedor.

Este tipo de vertederos es bastante eficiente, pero sin embargo presenta una gran pérdida de carga; motivo por el cual se recomienda especialmente para caudales pequeños (menores de 110 l/s), ya que, en estos niveles de gastos de agua, su precisión es mayor que la de otros tipos de vertederos. La forma básica para determinar el valor de una descarga a través de un vertedero triangular con cualquier ángulo:

—

Donde:

Q: Caudal (m³/seg)

H: Altura sobre el vertedero (m)

C: coeficiente de descarga (adimensional)

El coeficiente (c) depende de otros factores, del ángulo en el vértice del vertedero. Las ecuaciones para obtener el gasto según BARR son las siguientes:

Para 60°

Para 90°

Ejemplo 1: se debe de instalar un vertedero triangular de 90° de abertura en el dren de una parcela. Se debe de obtener el gasto, si se tiene una carga de 15 cm sobre el vértice del vertedero.

Con el cuadro (), se ingresa en la primera columna con la carga previamente dada en m, a partir de este punto se traza una línea horizontal hasta la intersección a la columna correspondiente a 90°, resultando el gasto 0.012 —. (Ver anexos ()).

Es uno de los más sencillos para construir y por este motivo, es justamente uno de los más usados. Son las estructuras más usuales para el aforo de canales y la precisión con la que se obtiene el gasto, se considera buena para fines prácticos.

Para aforar con estos vertederos es necesario conocer la longitud de la cresta (L) y la carga hidráulica sobre la cresta del vertedor (H); para determinar dicha carga, generalmente se mide con una escala graduada aguas arriba del vertedero a una distancia (d) que puede variar desde 4 hasta 10 veces la carga.

Se debe tener un especial cuidado en la instalación del vertedero sin contracción, para obtener adecuada aireación de la lámina vertiente de agua.

Sin contracción lateral:

Con contracción lateral:

Donde:

Q: Caudal (m³/seg)

H: Altura sobre el vertedero (m)

L: Longitud de la cresta del vertedero (m)

Ejemplo 1:

Se ha instalado un vertedero rectangular con contracciones con 0.8 m de longitud de cresta en un canal rectangular de 1.2 m de ancho. ¿Cuál es el gasto por el vertedero para una carga aguas arribas de 0.37 m?

Solución: Como el ancho de la cresta es menor que el ancho del canal se tiene un vertedero con contracciones laterales. Se considera la tabla de gastos para vertederos con contracción (cuadro #), se ingresa en la primera columna con la carga de 0.37 m; para desplazarse

horizontalmente hasta la columna correspondiente a la longitud de la cresta de 0.8 m, resultando un gasto de 0.301 —.

Los vertederos trapezoidales son similares a los rectangulares con contracción, excepto que los lados inclinados hacia afuera producen una abertura trapezoidal, se considera como una combinación de los vertederos rectangular y triangular, por lo que la expresión del gasto se obtiene mediante la combinación de las fórmulas de estos.

Mediante este vertedero se mide el mismo rango de gastos que con los rectangulares, para las mismas longitudes de cresta, pero con mayor dificultad de construcción; sino requieren mediciones muy precisas no es recomendable su construcción. La ecuación de descarga (Altura Vs. Caudal) del vertedero trapezoidal (Cipolletti) toma la forma:

$$Q = 1.859 \cdot L \cdot H^{1.5}$$

Figura 17. Fórmula para vertederos trapezoidal (Cipolletti)

Fuente: Ángel Aldana

Dónde:

Q: Caudal (m³/seg)

H: Altura sobre el vertedero (m)

L: Longitud de cresta sobre el vertedero (m)

Con la velocidad de llegada:

—

La velocidad de llegada se mide aguas arriba del vertedero con la expresión:

—

Ejemplo 1:

Se tiene un canal rectangular en el que se ha instalado un vertedero trapezoidal con una longitud de cresta de 0.80 m. Encontrar el gasto para una carga de 0.37 m.

Solución: Considerando el cuadro (), procediendo de igual forma que el ejemplo anterior se obtiene un gasto de 0.335 —. (Ver anexos ()).

La utilización de vertederos permite conocer en forma instantánea el caudal que se quiere medir, ya que tienen tablas donde por cada altura de agua tenemos un caudal. No permite la medición de caudales de líquidos con alto contenido de sólidos en suspensión por las acumulaciones que puede provocar. La pérdida de carga que ocasiona es relativamente alta. Se debe elegir el lugar, para el cual se debe profundizar y ensanchar el canal, dependiendo las condiciones en cual se encuentre ya que la medición del caudal de las corrientes naturales nunca puede ser exacta debido a que el canal suele ser irregular y por lo tanto es irregular la relación entre nivel y caudal.

El estudio de los vertederos, lagos, ríos etc. Es de vital importancia para el ingeniero, por la misma situación que todo proyecto de construcción civil se encuentra involucrado directa o indirectamente con algún tipo de estos.

Por consiguiente, se muestra un cuadro comparativo acerca de la utilización de cada método:

Métodos aplicables a una cuenca	Limitaciones	Ventajas	Recomendación para su aplicación
Aforo por Flotadores			
Molinete			

Aforo Volumétrico			
Aforo Gravimétrico			
Aforo por Trazadores			
Escaleras Limnimétricas			
Limnigrafos			

Vertedero Tipo V (Triangular)			Se aplica generalmente en canales pequeños y corrientes que no lleven escombros y sedimentos.
Vertederos Rectangulares			Se aplica generalmente en canales pequeños y corrientes que no lleven escombros y sedimentos.
Vertederos Trapezoidales (Cipolletti)			Se aplica generalmente en canales pequeños y corrientes que no lleven escombros y sedimentos, puede también emplearse como obra de control o de excedencias en una presa y también de aforo en canales grandes.

1. Debe estar situada sobre un tramo recto del río, que cuente con una sección uniforme y una pendiente constante a lo largo del río.
2. La dirección de la corriente en la sección, debe ser paralela a la del río, a su vez debe ser coincidente con la dirección del cable.
3. En lo posible la sección debe ser fácilmente accesible.
4. La sección de aforo debe tener una distribución pareja de velocidades, evitándose aquellas en que existan sectores de altas velocidades, aguas muertas, contracorrientes o remolinos, tampoco conviene utilizar secciones con lechos fangosos o con mucha vegetación, secciones en curva de los ríos deben evitarse.
5. La vegetación excesiva de no poder evitarse, debe quitarse periódicamente, además deben eliminarse ciertos obstáculos como matorrales en las orillas y piedras grandes situadas en el lecho de sectores de poca profundidad.

Ejercicios propuestos

1-. Durante el aforo de una corriente de sección transversal cuyas coordenadas vienen expresadas en la siguiente tabla:

	0.000	0.000
	0.825	1.500
	1.650	-2.350
	2.475	-1.730
	3.300	0.000

Un flotador superficial recorrió una distancia de 100 m en 122, 128, 123, 124 y 125 segundos. Determinar el caudal que atraviesa la sección del canal. (Considerar un coeficiente de corrección de la velocidad superficial $k = 0.70$)

$D=100\text{m}$.

$t_1=122\text{ seg.}$

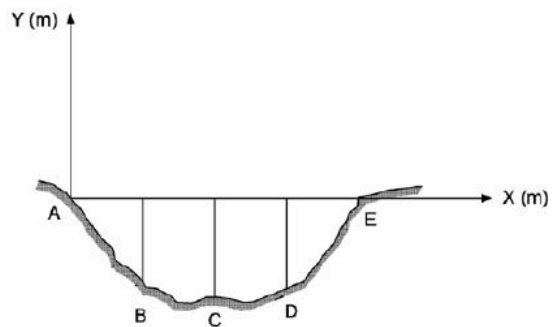
$t_1=128\text{ seg.}$

$t_1=123\text{ seg.}$

$t_1=124\text{ seg.}$

$t_1=125\text{ seg.}$

$k = 0.7$



2-. Determinar el gasto en un canal natural con las características geométricas indicadas

Plantilla $b = 1.00$

Espejo del agua $B = 1.90$

Tirante $d = 0.65$

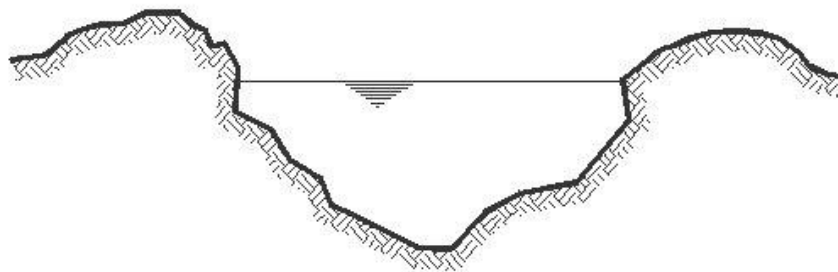
Distancia $L = 10$ m

Tiempo $T = 14.5$

3-. Calcular el Caudal en la desembocadura de la Cuenca del Río en estudio sobre la base de la información del aforo realizado:

Datos obtenidos de la sección del canal

Ancho de la sección transversal (m)	1 .8
Distancia de $h_0-h_1= 0.15$ m y $h_4-h_5= 0.15$ m	0 .3
Espejo de agua (T)(m)	2 .0
Tramo o distancia AB (m)	3



4-. Una solución de sal común con una concentración de 400g/l fue descargada en un río con un caudal constante de 50 l/s. El río tenía inicialmente una concentración de sal de 20 ppm (partes por millón). Aguas abajo se midió una concentración de 30 ppm. ¿Cuál es el caudal en el río?

Solución:

$$q = 50 \text{ lts/seg.}$$

$$C1 = 400 \text{ g/l.}$$

$$C0 = 20 \text{ ppm.} = 0.01 \text{ g/l.}$$

$$C2 = 30 \text{ ppm} = 0.045 \text{ g/l}$$

5-. Determinar el caudal en un canal o río en donde tiene una capacidad de 15 litros en un tiempo de llenado el balde aproximadamente de 5.5 segundos.

6-. Calcular el caudal en un canal o río si se tiene un balde con un volumen aproximado de 5 litros y un tiempo de llenado (T) promedio $T = 3$ segundos.

7-. Diseñar un vertedero rectangular de cresta aguda, si el caudal máximo transportar es de 175 l/s; el canal que llega a la estructura se encuentra revestido de concreto ($n=0.025$), presenta una sección rectangular, la base del canal es de 0.60 m y la pendiente del fondo del canal de 0.2%.

8-. Dimensionar un aforador trapezoidal que debe evacuar un caudal máximo de 200 l/s; el canal presenta una pendiente de 0.10% Una base del canal de 40 cm, con revestimiento de grava con paredes de piedra.

El hidrograma es la representación gráfica del caudal, Q , o volumen de agua que pasa por una sección en determinado tiempo, T , se han utilizado diferentes medios para representarlo gráficamente, según el propósito del gráfico; las medias anuales y mensuales o el caudal total se utiliza para mostrar el registro de la esorrentía que pasa por una estación. Las características de una creciente en particular por lo general no pueden mostrarse como descargas promedio para períodos mayores de un día. En general son de mucha importancia los análisis de los hidrogramas de crecientes en cuanto a atenuación del daño por inundaciones, predicción de avenidas o para fijar las descargas de diseño de un gran número de estructuras que deben transportar el agua proveniente de avenidas. En el hidrograma de una creciente, se pueden distinguir los siguientes componentes (Ver Figura 26):

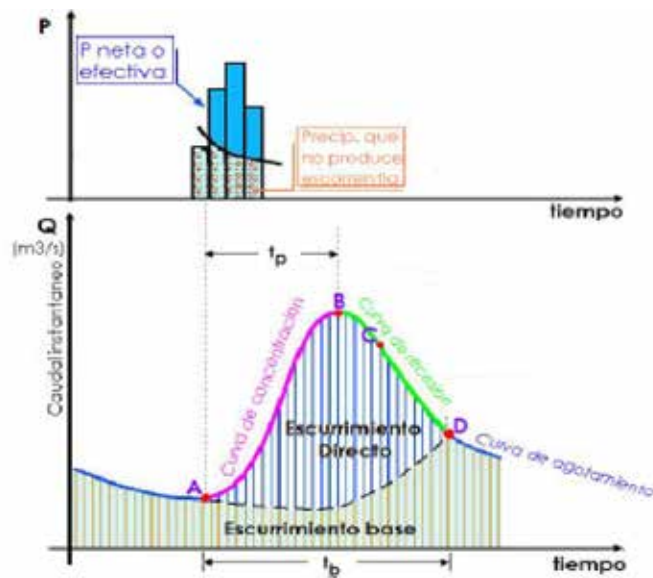


Figura 19. Partes o componentes del hidrograma.

Fuente: Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de
Hidrología civ-233 (2009)

En este punto, el agua proveniente de la tormenta bajo análisis comienza a llegar a la salida de la cuenca y se produce después de iniciada la tormenta, durante la misma o incluso cuando ha transcurrido ya algún tiempo después que cesó de llover, dependiendo de varios factores, entre los que se pueden mencionar el área de la cuenca, su sistema de drenaje y suelo, la intensidad y duración de la lluvia, etc.

Es el caudal máximo que se produce por la tormenta. Con frecuencia es el punto más importante de un hidrograma para fines de diseño.

En este punto es aproximadamente donde termina el flujo sobre el terreno, y de aquí en adelante, lo que queda de agua en la cuenca escurre por los canales y como escurrimiento subterráneo.

A partir de este punto en adelante el escurrimiento es solo de origen subterráneo. Normalmente se acepta como el punto de mayor curvatura de la curva de recesión, aunque pocas veces se distingue de fácil manera.

Es la parte que corresponde al ascenso del hidrograma, que va desde el punto de levantamiento hasta el pico.

Es la zona correspondiente a la disminución progresiva del caudal, que va desde el pico (B) hasta el final del escurrimiento directo (D). Tomada a partir del punto de inflexión (C), es una curva de vaciado de la cuenca (agotamiento).

Es la parte del hidrograma en que el caudal procede solamente de la escorrentía básica. Es importante notar que la curva de agotamiento, comienza más alto que el punto de inicio del escurrimiento

directo (punto de agotamiento antes de la crecida), debido a que parte de la precipitación que se infiltró está ahora alimentando el cauce. En hidrología, es muy útil ubicar el punto de inicio de la curva de agotamiento (punto D en la Figura 26), a fin de determinar el caudal base y el caudal directo.

Se le denomina tiempo de demora, es el intervalo entre el inicio del período de precipitación neta y el caudal máximo. Es decir, es el tiempo que transcurre desde que inicia el escurrimiento directo hasta el pico del hidrograma (Ver figura 26).

Es el tiempo que dura el escurrimiento directo, o sea es el intervalo comprendido entre el comienzo y el fin del escurrimiento directo. (Ver figura 26).

Es el intervalo de tiempo comprendido entre los instantes que corresponden, al centro de gravedad del hietograma de la tormenta, y al centro de gravedad del hidrograma (Ver figura 27). Algunos autores reemplazan el centro de gravedad por el máximo, ambas definiciones son equivalentes si los diagramas correspondientes fueran simétricos.

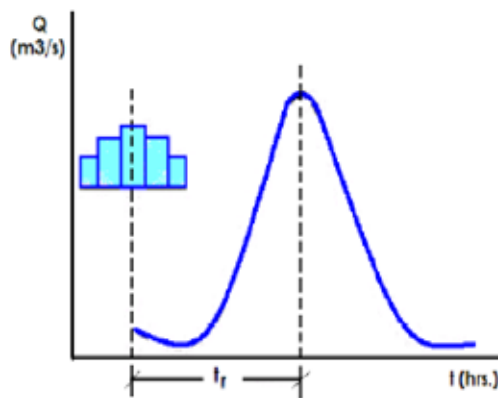






Figura 20. Tiempo de retraso

Fuente: Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de

Hidrología civ-233 (2009)

Hidrograma tipo 0: Para tipo de hidrograma la intensidad de lluvia (i) es menor que la capacidad de infiltración (f), por lo tanto, no existe escurrimiento directo. La infiltración total (f) es también menor que la deficiencia de humedad del suelo (DHS) y por ello no existe recarga del agua subterránea. Este hidrograma es característico de las lluvias ligeras que ocurren durante la época de estiaje. En importante resaltar que este tipo de hidrograma no es posible su obtención debido a que la lluvia ocurrida en los cauces aumentará sensiblemente el escurrimiento.

Hidrograma tipo 1: Si, $i < f$ y $F < DHS$ no existe escurrimiento directo, pero si existe recarga del agua subterránea, estos son los efectos ocurridos por las lluvias ligeras en primavera o de las lluvias de baja intensidad y gran duración del verano y otoño. (Ver tabla 1).

				
TIPO DE HIDROGRAMA	0	1	2	3
INTENSIDAD DE LLUVIA (i)	$<f^*$	$<f$	$>f$	$>f$
DEFICIENCIA DE HUMEDAD DEL SUELO (dms)	$>f^{**}$	$<F$	$>F$	$<F$
ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL (Q)	NO EXISTE	NO EXISTE	Q^*Po^{***}	$Q=Po$
RECARGA DEL AGUA SUBTERRANEA	NO EXISTE	$F-dms$	NO EXISTE	$f-dms$
INCREMENTO EN EL FLUJO	NO EXISTE	Del gasto base únicamente	Del escurrimiento o directo únicamente	Del escurrimiento o directo y del gasto base

*f: Capacidad de infiltración; **f: Volumen infiltrado; ***Po: Lluvia en exceso.

Figura 21. Tipos de hidrogramas en una corriente

Fuente: Procesos del Ciclo Hidrológico D.F. Campos Aranda (1998)

Hidrograma tipo 2: Si, $i < f$ y $F < DHS$ no existe escurrimiento directo, no se logra la recarga del agua subterránea, sin modificar el gasto base. Este tipo de hidrograma son típicos de los aguaceros de corta duración y fuerte intensidad.

Hidrograma tipo 3: Para este caso $i > f$ y $F > DHS$, por lo cual, este hidrograma es la combinación del tipo 1 y tipo 2.

Según D. Sinder (1970), califica a los hidrogramas en base a su origen, dicha calificación en la siguiente:

Hidrogramas Naturales: Se obtienen directamente de los registros de escurrimiento de la corriente.

Hidrogramas Unitarios: Son obtenidos utilizando parámetros de la cuenca y características de la tormenta para simular un hidrograma natural.

Hidrogramas Adimensionales: Permite comparar varios hidrogramas de los otros tipos, principalmente para adoptar uno representativo.

Este método consiste en dibujar en papel semilogarítmico la curva de descenso. La curva de descenso se puede representar en forma matemática por una ecuación del tipo:

Donde:

Q: Ordenada del hidrograma de descenso para el tiempo t

Q₀: Ordenada del hidrograma de descenso para el tiempo t₀

K: Constante que depende de la cuenca. K es la constante de recesión. La curva de recesión tiene generalmente un punto de inflexión que marca el verdadero inicio del momento en que cesa la entrada de escurrimiento superficial a los canales de la cuenca. A partir de este punto se deben considerar los valores de Q y t para determinar el valor de K. desde el punto de vista práctico, es difícil determinar el punto de inflexión,

graficando la curva descendente en escala semilogarítmica se visualiza más fácilmente el lugar del “quiebre” de la misma. La curva de recesión depende fundamentalmente de las características físicas y geomorfológicas de la cuenca y por eso es aproximadamente igual para diferentes hidrogramas de crecientes.

De la ecuación anterior se obtiene:

$$\frac{Q}{Q_p} = \frac{t - t_p}{t_p}$$

Ninguno de estos procedimientos de separación es completamente preciso; sin embargo, se puede aceptar un error en la posición del punto D de una o dos veces la duración de la tormenta, pues el área bajo esta parte del hidrograma es, en general, solo un pequeño porcentaje del volumen total escurrido.

Elaborar el hidrograma aproximado de una cuenca sin aforar, correspondiente a una crecida cuyo caudal pico es 17.64 m^3/s y su respectivo volumen 677.000 m^3 .

Relaciones generales

$$\frac{U}{V} = \frac{t_p}{t_p + t_r}$$

Donde:

U: Volumen de esorrentía correspondiente a una unidad de volumen del hidrograma básico.

V: Volumen de escorrentía en .

q: Caudal de escorrentía correspondiente a una unidad de caudal del hidrograma básico.

Q: Caudal máximo de la escorrentía en —.

t: Tiempo en minutos correspondiente a una unidad de tiempo en el hidrograma básico.

Sustituyendo en las fórmulas se obtiene:

— — — — —
— — — — —
— — — — —

o	t*	q**
a	0	Q
b	59,0	0,90
c	137,0	2,60
d	195,0	6,20
e	255,0	9,90
f	315,0	13,60
g	382,0	15,90
h	392,0	17,10
i	450,0	17,60
j	530,0	18,90
k	588,0	15,00

l	66,7	12,70
m	783,0	8,80
n	920,0	5,80
o	1,0400	4,20
p	1,1800	2,80
q	1,3200	1,90
r	1,6500	0,70

Tabla (1). Datos del Hidrograma

Fuente: Hidrología para estudiantes de ingeniería civil (2002)

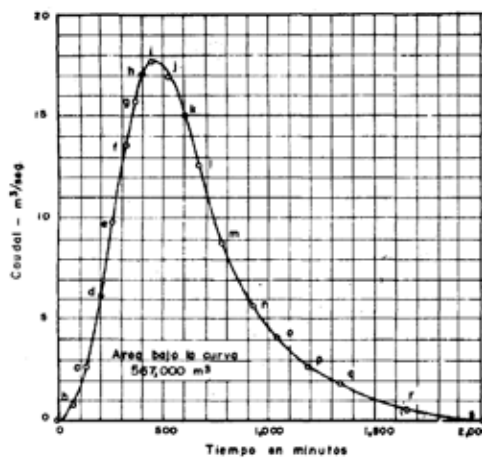


Figura 22. Curva del hidrograma de ejemplo.

Fuente: Hidrología para estudiantes para ingeniería civil (2002).

Ejercicios propuestos

1. A continuación se tabulan las ordenadas de un hidrograma con intervalos de 24-h. Suponiendo que $K_r = 0,9$ para el flujo base, separe el flujo base de la escorrentía directa por cada uno de los tres métodos presentados en la fig. 7-6. Calcule el volumen de escorrentía directa en cada caso.

Tiempo	Caudal —	Tiempo	Caudal —
1	2340	8	3230

2	34200	9	2760
3	25000	10	2390
4	14000	11	2060
5	8960	12	1770
6	5740	13	1520
7	4300	14	1320

2. El hidrograma para una lluvia con una duración de = 2 hr, de intensidad uniforme y precipitación en exceso de 10 mm, se tiene las siguientes ordenadas:

Tiempo	Caudal —
0	0
1	77
2	155
3	116
4	78
5	38
6	0

Calcular el hidrograma para una lluvia de duración de = 3 hr, de intensidad uniforme y la misma precipitación en exceso.

3. Calcular el hidrograma para una duración de 1,3 y 5 hr., para los siguientes datos:

Tiempo	Caudal —
0	50
12	150

24	800
36	600
48	400
60	250
72	150
84	120
96	100
108	80

Es la representación gráfica de la relación existente entre el caudal y su respectivo nivel:

Donde Q es el caudal, $F(h)$ es el nivel de la lámina de agua. Para obtener la esta curva en un punto concreto de un cauce, es necesario realizar numerosos aforos directos para establecer la relación entre niveles y caudales, que nos permitirá obtener el caudal a partir de la altura. Esta relación hay que actualizarla periódicamente ya que la sección del cauce puede sufrir variaciones por erosión o depósitos de sedimentos.

Según (Jacon. 1990), los principales tipos de curvas de gastos existentes se clasifican en dos grupos en función del tipo de relación entre el caudal y el nivel.

1. Relación biunívoca: Cuando la sección del canal es estable y existe un control único, las curvas de gasto obtenidas se acercan a los siguientes esquemas teóricos:
2. Relación no unívoca: Cuando al valor de una variable le corresponden dos o más valores de la función. Cuando en la sección son inestables las curvas obtenidas pueden ser del siguiente tipo:

Cálculo de la curva de gastos

Dejando a un lado los casos mencionados, al aumentar la cantidad de agua que pasa por una sección del cauce, ya sea natural o artificial, generalmente se elevará el nivel del líquido, existiendo una correlación entre altura de agua y caudal, que se puede representar gráficamente (gráfico 1). A esta representación, única para cada sección de la corriente de un río, la denominamos "curva de gasto" y sus formas son

muy parecidas pese a ser siempre diferente una curva de otra, pues no hay dos cauces iguales ni dos secciones iguales dentro de un mismo cauce.

Gasto	Nivel Medio
0	0,01
1,11	1,00
2,00	1,80
2,22	2,00
2,55	2,48
2,78	2,43
2,80	2,59
2,99	2,80
3,10	3,00
3,00	2,99

Tabla 2. Gastos y nivel medio de una cuenca



Gráfico 1. Curva de gastos

Fuente: Caudales medios diario —

El suelo es removido constantemente de la superficie de la tierra y transportado aguas abajo por los ríos hasta que se deposita finalmente en los lagos, estuarios y océanos. Dado que el agua es uno de los principales agentes de la erosión y el vehículo principal de transporte del material erodado, este proceso es de gran interés para el hidrólogo. El interés principal en hidrología son las tasas de transporte y las tasas de deposición en embalses, puertos y estuarios, así como los medios para controlar la erosión en los sitios donde se produce, tanto para conservar el suelo en su sitio, como para minimizar su acumulación.

Al interponer un obstáculo en un río, como es el caso de una presa, se origina un estancamiento por lo cual el sedimento se transporta, al entrar en corriente al embalse, la materia se depositará según la disminución de la velocidad del agua por el efecto de ampliación del cauce, formando en la cola del vaso una acumulación de sedimento grueso denominado delta. En diversos embalses existe que tal corriente no llega a formarse y se produce en el vaso, o gran parte del mismo; una turbidez generalizada que evolucionará, según la dinámica particular de almacenamiento.

Las corrientes de aguas poseen capacidad para transportar sedimentos, dicha capacidad depende en primer lugar de la velocidad y en menor medida de la profundidad de la corriente. Una característica particular del transporte de sedimentos por arrastre, es que las corrientes de agua tienen una capacidad limitada para realizar el transporte.

Los sedimentos se originan de la erosión y de acuerdo al lugar de donde se originan pueden ser de origen laminar y de canales. La primera se produce al estrellarse las

gotas de la lluvia contra el terreno, desprendiendo partículas del suelo, este desprendimiento de partículas está en función de la energía de la gota, y la consistencia del material, produciéndose posterior a su desprendimiento el transporte de dicho material por el escurrimiento superficial, debido a lo que se tienen exclusivamente material fino en forma de carga de lavado.

El segundo tipo de sedimento tiene su origen en el material que forma el lecho y los taludes del cauce, teniendo una perfecta definición de la cantidad del material que se desprende y empieza a ser parte del escurrimiento en función directa del caudal que transporta dicho cauce.

Las características que definen los procesos de suspensión, transporten y posterior deposición del sedimento dependen no sólo de las condiciones de flujo sino también de las propiedades del sedimento.

El cálculo de la pérdida de suelo a partir de la medida del movimiento de los sedimentos en las corrientes y los ríos tropieza con varios problemas. Presenta dos formas. Los sedimentos en suspensión están constituidos por las partículas más finas mantenidas en suspensión por los remolinos de la corriente y sólo se asientan cuando la velocidad de la corriente disminuye, o cuando el lecho se hace más liso o la corriente descarga en un pozo o lago.

Las partículas sólidas de mayor tamaño son arrastradas a lo largo del lecho de la corriente y se designan con el nombre de arrastre de fondo. Existe un tipo intermedio de movimiento en el que las partículas se mueven aguas abajo dando rebotes o saltos, a veces tocando el fondo y a veces avanzando en suspensión hasta que vuelven a caer al fondo.

A este movimiento se le denomina saltación y es una parte muy importante del proceso de transporte por el flujo en la corriente líquida la altura de los saltos es tan reducida que no se distinguen realmente del arrastre de fondo. (Ver figura 23).

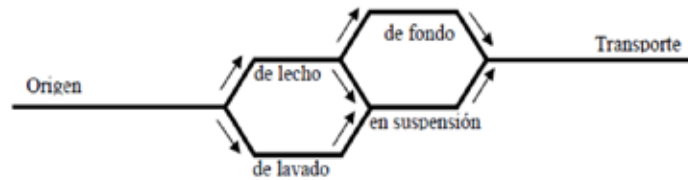


Figura 23. Transporte de sedimentos en corrientes naturales

Fuente: Transporte de sedimentos en corrientes naturales: revisión técnica de ecuaciones empíricas de predicción del arrastre de sedimentos de fondo. Miguel Bravo (2004)

1. Tamaño de las partículas: La determinación del tamaño de una partícula se basa en la selección arbitraria de una longitud simple o diámetro:

Diámetro de sedimentación: Diámetro de una esfera con la misma densidad de la partícula, que cae con la misma velocidad terminal uniforme, en el mismo fluido y a la misma temperatura.

Diámetro de tamiz: Apertura mínima de una malla de tamiz de a través de la cual pasa la partícula.

Diámetro nominal: Diámetro de una esfera con igual volumen.

Diámetro de caída normalizado (estándar) : Diámetro de una esfera con peso específico relativo igual a 2,65 que tiene la misma velocidad terminal uniforme de la partícula cuando ambas caen en una extensión infinita de agua destilada en reposo a una temperatura de 24 °C.

Dimensiones triaxiales: Longitudes máxima a , media b y mínimas c de la partícula; medidas a lo largo de tres ejes mutuamente perpendiculares. Cuando una partícula se tamiza por suficiente tiempo, se observa que pasa por un tamiz cuya apertura es proporcional a b .

2. Forma de las partículas de sedimentos: La forma de las partículas es una característica importante que justo con el tamaño caracteriza algunas de sus

propiedades físicas. La forma normalmente se define a través de la redondez, esfericidad y factor de forma. La redondez se puede definir por la relación entre el radio medio de curvatura de las aristas de la partícula y el radio de la circunferencia inscrita en el perímetro de área máxima de proyección de la partícula.

3. La determinación de la esfericidad y de la redondez requieren métodos con una rigurosa técnica se trabajó y una gran dedicación y también pérdida de tiempo. Un parámetro simplificado de uso frecuente en el factor de forma F.F. definido por la relación.

$$F.F. = \frac{a^2 + b^2 + c^2}{3d^2}$$

Donde a, b y c son las longitudes de los ejes previamente mencionados. Se ha encontrado que la velocidad de caída de las partículas se puede expresar en función del diámetro nominal, del número de Reynolds de la partícula y de su factor de forma F.F.

Peso específico de las partículas de sedimento: Cuando el material se hace fino, por efecto del desgaste y la abrasión, los minerales menos estables tienden a desgastarse más rápidamente y a ser transportados con mayor facilidad como partículas finas o en suspensión, dejando al mineral más estable. La mayor gama de componentes debe encontrarse, así, en el material fino. El material grueso tal como los peñones y cantos rodados pueden tener la misma composición que el material madre.

El líquido que corre sobre una superficie compuesta por partículas sueltas que genera fuerzas al tener suficiente magnitud las cuales producen movimiento. El principal problema que causa el sedimento cuando es transportado por el agua, es su acción abrasiva en altas velocidades; esto obliga a su eliminación de estructuras

hidráulicas, como canales revestidos y plantas hidroeléctricas, por medio de toma especial y tanques desarenadores.

El movimiento de los sedimentos en las corrientes y ríos presenta dos formas:

1. Los sedimentos en suspensión están constituidos por las partículas más finas mantenidas en suspensión por los remolinos de la corriente y sólo se asientan cuando la velocidad de la corriente disminuye, o cuando el lecho se hace más liso o la corriente descarga en un pozo o lago.

Las partículas que son transportadas en suspensión por efectos de un flujo, están sometidas a la acción turbulenta que genera fuerzas hidrodinámicas que deberán contrarrestarse con las fuerzas de gravedad que actúan sobre ellas. Generalmente las partículas que son transportadas en suspensión se confunden con las partículas que constituyen la carga de fondo ya que pueden desplazarse mediante saltos de longitud. La velocidad de asentamiento de las partículas en suspensión en agua tranquila está aproximadamente dada por la ley de Stokes como:

Donde:

ρ_p : Son las densidades de las partículas y del fluido respectivamente.

r : Radio de las partículas

ρ_a absoluta del agua.

Esta ecuación suele utilizarse para partículas que oscilan entre 0,0002 y 0,02 mm de diámetro, en donde la cantidad de material en suspensión es constante. Se considera que dichas partículas son rígidas y esféricas y que su asentamiento no influye en el choque entre partículas.

1. Las partículas sólidas de mayor tamaño son arrastradas a lo largo del lecho de la corriente y se designan con el nombre de arrastre de fondo. El caudal sólido

que transporta un río comprende a las partículas que ruedan y deslizan sobre el fondo.

Al transporte del material presente en el fondo se le denomina descarga de material del fondo y es igual a la capacidad de transporte del flujo. Normalmente no se puede determinar una relación entre el transporte de material por el fondo y el transporte de material en suspensión, sin embargo, el gasto sólido en suspensión es mayor que el gasto sólido en el fondo.

El transporte del material sólido no es uniforme a lo largo del año, frecuentemente se producen grandes transportes de sólidos en coincidencia con los grandes caudales. Puede ser determinado mediante mediciones o puede ser estimado mediante cálculos. Para los ríos de pocas pendientes se han diseñado muestreadores que permiten captar el material de fondo, pero en los torrentes de montaña resulta ser dificultoso los resultados de medición.

Las fórmulas que permite estimar el transporte del material sólido producen resultados que representan la capacidad de transporte de un determinado río, pero no su transporte real.

Existe un tipo intermedio de movimiento en el que las partículas se mueven aguas abajo dando rebotes o saltos, a veces tocando el fondo y a veces avanzando en suspensión hasta que vuelven a caer al fondo. A este movimiento se le denomina saltación y es una parte muy importante del proceso de transporte por el flujo; en la corriente líquida la altura de los saltos es tan reducida que no se distinguen realmente del arrastre de fondo.

En ríos con pendientes altas, donde los sedimentos presentes en el lecho en general varían, las simplificaciones que llevan implícitas las formulaciones tradicionales, son una limitación importante para su aplicación. La dinámica morfológica de este tipo de ríos está condicionada por una serie de fenómenos asociados al transporte de la mezcla de sedimentos del lecho.

La mayor movilidad intrínseca de las partículas finas, que hace que los sedimentos del lecho sean más gruesos en relación a la composición del material transportado (Ver Figura 24). Cuando la tensión de corte en el fondo comienza a exceder el valor crítico de inicio de movimiento, las partículas empiezan a moverse rotando o deslizándose en continuo contacto con el fondo del lecho. Para valores crecientes de la tensión de corte, las partículas.

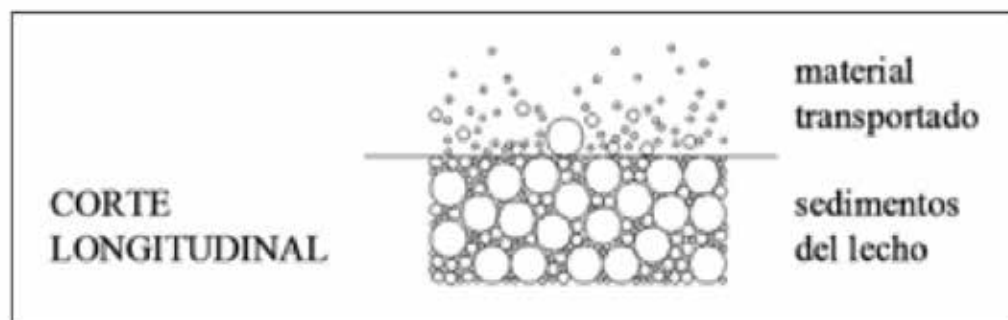


Figura 24. Esquema del transporte de sedimentos.

Fuente: Proceso de erosión – sedimentación en cauces y cuencas. Volumen 1. José D Brea, Francisco Balocchi (2010)

Debido a la imposibilidad de tener en cuenta todos estos fenómenos en forma conjunta en el análisis de la evolución morfológica de estos ríos, deben hacerse algunas simplificaciones para su estudio, por lo que se realiza una serie de hipótesis significativas:

La dificultad para cuantificar la posición y tamaño de las partículas debajo de la superficie del fondo, ha motivado la adopción del concepto de capa de mezcla o capa activa, que se define como una capa del fondo que contiene partículas susceptibles al arrastre debido a un aumento o disminución en el esfuerzo cortante local. Se supone

que la totalidad de las partículas de determinado tamaño dentro de la capa activa están propensas a moverse independientemente de su localización.

Si se considera un volumen elemental finito de espesor igual al de la capa activa, siempre que las partículas sean adicionadas o removidas de la superficie dentro del volumen elemental, su distribución granulométrica cambia. Este estrato consta de partículas que se encuentran totalmente mezcladas y en promedio igualmente expuestas a ser movidas por el flujo.

Uno de los puntos esenciales es la estimación del espesor de la capa activa. Los criterios para su definición suelen variar entre los diversos autores, e incluso las diferencias en el comportamiento del lecho frente a la erosión y la sedimentación hace que algunos investigadores definan el estrato de mezcla y su espesor, de distintas maneras en ambos casos.

Como es imposible estudiar de manera diferenciada las trayectorias de las partículas del fondo, se considera el movimiento del fondo como continuo, que sugiere que en cada instante pueden verse partículas que empiezan a moverse, otras en movimiento y otras que se detienen, cambiando de esta manera la elevación y la distribución granulométrica del lecho.

Si se cumple que la longitud del volumen elemental del fondo es mayor que la máxima longitud de salto de las partículas, el transporte "T" representa el intercambio de partículas entre dos volúmenes adyacentes.

La mezcla de sedimentos está representada por un cierto número de fracciones o clases granulométricas. El número de intervalos de clase necesarios para el cálculo implica un compromiso entre tiempos de simulación y errores, pero debe representar

adecuadamente la mezcla. Hay las granulometrías (desvío estándar geométrico y asimetría adimensional).

La utilización de formulaciones adaptadas en las que las ecuaciones de transporte se aplican a cada clase granulométrica, incorporándose también un término que tiene en cuenta el efecto de protección-exposición.

Para el cálculo del transporte de sedimentos por clases o fracciones granulométricas, pueden utilizarse ecuaciones adaptadas para su uso con materiales heterogéneos.

Para predecir los volúmenes de sedimentos a acumularse en el sitio en el que se construye un embalse se requiere tener registros de transporte de sedimentos en los ríos que confluyen hacia el lugar. Sin embargo, no siempre se dispone de los registros mínimos correspondientes a un período de 10 años y menos aún de los registros correspondientes a un período de 30 años. Por lo tanto, se recurre a procedimientos que permiten estimar los aportes de sedimentos en base a criterios comparativos y a experiencias previas ajustadas mediante recursos analíticos y empíricos.

Se puede estimar el volumen de sedimentos en base a inspecciones de campo en la cuenca y por comparación con otras cuencas. Se debe apreciar la erosión de la cuenca, diferenciada en cuanto a su origen, es decir la erosión laminar, la de cárcavas y los cauces. Para ello es necesario realizar un reconocimiento detallado con el propósito de determinar los elementos erosionables tales como canales, deslizamientos, topografía general y uso de la tierra así como los métodos de cultivo. Las condiciones climáticas, el estado de conservación de la cuenca y su evolución histórica pueden permitir algunas extrapolaciones tendientes a cuantificar la producción de sedimentos.

La teoría del transporte de sedimentos establece que las variables que controlan el movimiento de sedimentos en un cauce natural son la capacidad de transporte del cauce y la disponibilidad de sedimento. La capacidad de transporte es la máxima carga que puede transportar un flujo y la disponibilidad de sedimentos es la existencia de material lo suficientemente fino para ser movilizado por un flujo. Los procesos que controlan la disponibilidad y el almacenamiento de sedimentos, al igual que el transporte, son altamente dependientes de la escala, como lo mencionaron.

Cuando el sedimento se transporta por el flujo se diferencian dos grupos de sedimentos:

Sedimento de Lavado: Son partículas muy finas como limos y arcillas, se transporta en él algo en suspensión.

Sedimento de Fondo: Son partículas mayores de 0,062 mm, pueden ir dentro de la capa de fondo (arrastre) o en suspensión. El transporte de fondo depende de las características hidráulicas de la corriente, ya que un río puede transportar tanto material en suspensión como llegue a él, independientemente de sus características hidráulicas.

Se conocen varias ecuaciones para calcular los sedimentos de arrastre de fondo, una muy común es la MEYER – PETER Y MULLER:

$$q_s = 8 \tau_{*c}^3 \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} \omega$$

Dónde:

q_s : Transporte unitario de sedimentos expresado en volumen (—)

ω : Diámetro medio, m.

—————

Peso específico de las partículas y del agua

-
— ; Número de manning.

R: Radio Hidráulico.

S: Pendiente hidráulica del escurrimiento

: Diámetro de la curva granulométrica tal que el 90% de las partículas son menos a ese diámetro.

Los principales fundamentos de la ecuación de Meyer-Peter y Muller incluyen:

La capacidad de una corriente para transportar sedimentos a lo largo de su lecho varía directamente con la diferencia entre el esfuerzo hidráulico que actúa sobre las partículas y el esfuerzo cortante crítico que determina el inicio del movimiento de dichas partículas.

La pérdida de energía, debida a la resistencia de las partículas, mantiene el arrastre de fondo.

La porción del flujo que actúa sobre el lecho o sobre formas del lecho (dunas) reduce la fuerza de tracción disponible para el transporte de sedimentos.

El diámetro medio de la distribución de tamaños de partícula es adecuado para representar el espectro de partículas en la descarga de sedimentos.

El transporte de material no consolidado ocurre en la vecindad del lecho del cauce en condiciones de flujo que originan dunas y otras formas, pero que excluyen o reducen el transporte de sedimento en suspensión.

Existe similitud entre los parámetros que sostienen el transporte de sedimentos y aquellos que controlan el inicio del desplazamiento.

Todas las partículas con diámetros mayores que 0.4 mm se transportan como sedimento de fondo.

Los sedimentos, en cuanto contaminantes físicos, producen en las aguas receptoras los siguientes efectos principales:

Los altos niveles de turbidez limitan la penetración de la luz solar en la columna de agua, lo que limita o impide el crecimiento de las algas y de las plantas acuáticas enraizadas. En los ríos que son zonas de desove, los lechos de grava están cubiertos por sedimentos finos que impiden o dificultan el desove de los peces. En ambos casos, el resultado es la perturbación del ecosistema acuático debido a la destrucción del hábitat.

Los altos niveles de sedimentación en los ríos dan lugar a la perturbación física de las características hidráulicas del cauce. Ello puede tener graves efectos en la navegación, por la reducción de la profundidad, y favorecer las inundaciones, por la reducción de la capacidad del flujo de agua en la cuenca de drenaje. Por ejemplo. Los sedimentos proceden en gran parte de la rápida erosión de las subcuencas como consecuencia de prácticas agrícolas poco acertadas.

Las cantidades relativas que avanzan en suspensión y el arrastre de fondo varían considerablemente. En un extremo, cuando el sedimento procede de un suelo de grano fino como el limo depositado por el viento, o una arcilla aluvial, el sedimento puede estar casi totalmente en suspensión. En el otro extremo, una corriente de montaña limpia y rápida puede tener cantidades insignificantes de materia en suspensión y casi la totalidad del movimiento de la grava, los guijarros y las piedras se produce en el lecho de la corriente. Concentraciones elevadas de sedimento como las que se dan en algunos ríos, como el río Amarillo de China y el Mississippi de los Estados Unidos, pueden causar cambios significativos en las propiedades de resistencia del agua. La viscosidad será mayor y la velocidad de asentamiento de las partículas inferior, por lo que el umbral entre el sedimento en suspensión y el arrastre del fondo resulta confuso.

El cálculo de la carga en suspensión por muestreo es relativamente sencillo, pero tomar una muestra representativa del arrastre de fondo resulta difícil. A continuación, se examinan brevemente ambos tipos de muestreo, al igual que el cálculo del

movimiento total de sedimentos y las estimaciones basadas en mediciones de la cantidad de los depósitos en los pozos o los lagos.

En primer lugar, pueden existir cantidades importantes del material erosionado que no contribuyen al sedimento en la corriente debido a que se deposita antes de que llegue a ellas. La proporción de sedimento que llega a la corriente en comparación con el movimiento bruto de los sedimentos dentro de la cuenca se denomina relación de distribución. Esta puede ser apenas de 1% si existen depresiones o zonas con una espesa vegetación en las que se retiene la mayor parte del suelo. En un estudio de campo de 105 regiones de producción agrícola de los Estados Unidos, Wade y Heady (1978) descubrieron que las relaciones de distribución variaban entre el 0,1% y el 37,8% de la erosión bruta.

Una segunda causa posible de error es el factor tiempo. En una cuenca mayor el sedimento puede erosionarse y depositarse y sucesivamente volverse a erosionar y volverse a depositar cierto número de veces antes de que el sedimento llegue a la corriente. Una muestra de este sedimento podría incluir material erosionado en su origen varios años antes.

La tercera dificultad radica en que el sedimento de la corriente incluye materiales que proceden de diferentes fuentes con relaciones de distribución muy distintas. El sedimento procedente del derrumbe de las orillas de las zanjas o de las riberas de los ríos pasa inmediatamente al caudal de la corriente, mientras que la pérdida de suelo de una pequeña superficie cultivada y dentro de una cuenca en la que predominan los bosques podría tener tasas de erosión local elevadas, pero contribuir poco a la carga total de sedimentos.

Los cálculos de la descarga total de sedimentos en las corrientes pueden efectuarse mediante estimaciones de la concentración de los sedimentos y de la velocidad de la corriente. En la sección Método velocidad/superficie, en el Capítulo 4, se explicó cómo varía la velocidad en diferentes lugares de la corriente y cómo se puede calcular

una velocidad media a partir de una serie de mediciones (Figura 22). La concentración de sedimentos varía asimismo, siendo normalmente mayor en el fondo, por lo que la cuantía de la descarga total de sedimentos es el producto de esas dos variables.

Para (Morgan, 1997), define que el proceso de erosión se desarrolla como consecuencia de condiciones naturales tales como la lluvia y el viento o por condiciones inducidas por el hombre. El inicio de la erosión es el proceso que ocasiona la degradación del suelo, toda la cantidad de material que es desprendida y transportada llega a un punto de deposición cuya localización depende de la velocidad del flujo y el tamaño de las partículas que son transportadas. La erosión puede ser analizada comenzando por:

1-. El despegue de las partículas de suelo debido al impacto de las gotas de lluvia. La energía cinética de las gotas puede lanzar las partículas del suelo al aire durante el impacto. En suelos a nivel, las partículas se dispersan más o menos uniformemente en todas las direcciones, pero en un terreno con pendiente habrá un transporte neto hacia abajo.

El flujo superficial es predominantemente laminar y en general no puede despegar partículas de la masa de suelo; sin embargo, sí puede mover partículas ya sueltas en la superficie. Debido a la suficiente acumulación de flujo superficial puede causar una pequeña socavación, y si la turbulencia del flujo en las vecindades de esta perturbación es suficiente para sacar partículas del fondo y las bancas del pequeño canal formado, se iniciará un proceso de erosión en cárcava. A medida que la socavación se hace más profunda, su perfil se hace más pendiente cerca de la sección de aguas arriba.

2-. El movimiento de masas de suelo, que puede tomar la forma de un lento movimiento de arrastre, o de un colapso masivo rápido, como un deslizamiento.

Algunos deslizamientos pueden ocurrir directamente sobre un canal natural llevando un volumen considerable de material sedimentario al canal.

La erosión superficial en una cuenca puede ser responsable del arrastre de miles de toneladas de suelo fértil, desde las zonas altas, hacia los ríos y luego hacia el mar. Una parte insignificante se deposita en las planicies de inundación, fertilizándolas. Sin embargo, en ocasiones esta deposición puede ser perjudicial. Cuando un río tiene poca velocidad existe una mayor deposición de sedimentos trayendo como consecuencia que éste eleve su cauce.

La erosión causa un desgaste permanente en las cuencas y una elevación en el fondo del mar. El producto de la erosión que llega a los ríos consiste en partículas sueltas de mayor o menor finura que, dependiendo del modo de transporte en las corrientes fluviales, se llama material en suspensión y material de fondo.

Debido a la importante influencia de las características de las partículas, o sedimentos, en la descarga y sobre el transporte de sedimentos, así como sobre las posibilidades de su deposición, se debe investigar en detalle, en base a los estudios más recientes, no sólo la cantidad de sedimentos transportados sino también su composición y tipo de movimiento. Particularmente, cuando se trata de regular un río se trata de diseñar canales que no solo transportan el agua sino también el sedimento sin que se produzca obstrucciones ni socavaciones en los taludes laterales y el fondo.

Hay un gran número de factores que controlan las tasas de erosión. Los más importantes son: el régimen de lluvias, la cobertura vegetal, el tipo de suelos y la pendiente del terreno.

La importancia del régimen de lluvias ha sido analizada en la sección anterior. La vegetación da una protección muy significativa absorbiendo la energía de las gotas que caen y reduciendo en general el tamaño de las gotas que alcanzan el suelo, puede también dar protección mecánica contra la erosión en cárcava del suelo, y

adicionalmente puede mejorar la capacidad de infiltración del suelo por el aumento en el contenido natural de materia orgánica del mismo. Una mayor infiltración significa menor flujo superficial y menor erosión.

Un suelo bien cementado resistirá la erosión causada por el impacto de las gotas de lluvia más fácilmente que un suelo suelto. En general la erosión por impacto de la lluvia aumenta con el contenido de arena de un suelo debido a la pérdida de cohesión. La erosión por impacto disminuye con el aumento en el contenido de agregados estables en el agua. Un suelo cuyos granos individuales no tienden a formar agregados será erosionado más fácilmente que uno que se aglutina fácilmente.

Las tasas de erosión son mayores en pendientes altas que en pendientes suaves. Entre más pendiente sea un talud, más efectiva será la acción del agua lluvia en erodar y transportar el sedimento pendiente abajo. Las velocidades del flujo superficial son también superiores en taludes muy pendientes, y los movimientos masivos del suelo son igualmente más frecuentes en terrenos de gran talud. La longitud de la pendiente también es importante; entre más corta sea la pendiente, más pronto llegarán los sedimentos al cauce natural. Este fenómeno se compensa por la mayor velocidad y descarga que puede alcanzar el flujo superficial en una pendiente más larga.

Según (Morgan, 2005), manifiesta que no todos los suelos son iguales en términos de su resistencia a la erosión. La erodabilidad de un suelo en particular está en función de variables como textura, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad. La textura de un suelo es importante para definir su nivel de erodabilidad, pues no todas las clases texturales se erosionan con la misma facilidad. La velocidad límite de un flujo de agua, para la cual se desprenderá una partícula de tamaño dado.

La topografía es una variable muy importante al momento de predecir la erosión y sedimentación en un sitio dado. Factores como inclinación y largo de la pendiente determinan la cantidad y velocidad del escurrimiento superficial que se generarán

producto de una tormenta dada. La distancia horizontal en la que viaja una partícula de suelo desprendida por el impacto de una gota de lluvia, está en directa relación con la inclinación de la pendiente. Por otro lado, la longitud de la pendiente influye en la profundidad y, por ende, el poder erosivo del flujo superficial que se genere, siendo estas variables mayores en las secciones más bajas de la ladera, debido a una mayor área de contribución.

Ocurre por la degradación de material del suelo producto del impacto de las gotas de lluvias en el suelo, flujo no concentrado y flujo concentrado, toda la cantidad de material que es desprendida y transportada llega a un punto de deposición cuya localización depende de la velocidad del flujo y el tamaño de las partículas que son transportadas.

Se han formulado diversas ecuaciones que determinan la cantidad de material que es erodado, transportado y depositado a lo largo de toda la cuenca, sin embargo, muchas de estas ecuaciones presentan limitaciones para su aplicabilidad en diferentes zonas de estudios ya que son relaciones empíricas y estadísticas que no representan el proceso físico que se está desarrollando y están sujetas a las condiciones bajo las cuales fueron definidas.

Dependiendo de las características físicas y geométricas del canal, existe equilibrio si la cantidad de sedimentos que ingresa es igual a la cantidad de sedimentos que sale, ocasionando un desequilibrio que se ve reflejado en la variación del perímetro mojado del canal. Cuando se evalúa estabilidad en los canales naturales, se desarrolla un análisis de la dinámica de sedimentos asociada a los procesos de erosión, transporte y deposición.

Esto permite establecer relaciones entre las diferentes variables involucradas en los procesos de sedimentos, evolución morfológica de los canales y el

comportamiento del flujo combinado de agua y sedimentos. Aunque se deben diferenciar las condiciones naturales de los procesos en los canales ya que los procesos de agradación y degradación pueden ocurrir por condiciones naturales como la erosión causada en las curvas de los cauces en el borde exterior y la deposición en el borde interior.

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE), desarrollada en los años 70 por Wischmeier y Smith (1978), es largamente utilizada en el mundo, calcula la pérdida de suelo promedio anual en laderas bajo usos y manejos de suelo específicos, es una ecuación estocástica, dado por el producto de seis factores independientes.

Según (González del Tánago, 1991; Chaves, 1996), define la USLE como la ecuación con buena precisión en la estimación de la pérdida de suelo promedio anual, como su sencillez de aplicación y la relativa disponibilidad de datos en distintas regiones, permiten una utilización prácticamente universal.

La pérdida de suelo promedio anual por área unitaria es dada por la ecuación (Wischmeier y Smith, 1978):

Donde:

A: pérdida de suelo promedio anual ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$).

R: erodabilidad de la lluvia y escorrentía ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$).

K: erodabilidad del suelo ($t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$).

L: factor de longitud de vertiente (adimensional).

S: factor de gradiente de la vertiente (adimensional).

C: factor de uso y manejo del suelo (adimensional).

P: factor de prácticas conservacionistas (adimensional).

Para la erodabilidad de la lluvia (R), utiliza datos de precipitación mensual y anual. Este tipo de ecuación permite la utilización de datos de pluviómetros locales, de una estación ubicada a 4 km del terreno analizado, disminuyendo el error potencial en la estimación de R. La ecuación según (Val et al., 1986; Silva, 2004) es la siguiente:

Donde:

R: erodabilidad anual de la lluvia y escorrentía ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$).

Mi: precipitación mensual (mm).

Pa: precipitación anual (mm).

Es necesario tener registro de precipitación mediante pluviógrafos (Ver figura 25), ya sea del tipo mecánico (utilizando cintas), a través de almacenadores de datos en memorias (Loggers).



Figura 25. Pluviógrafo y cinta de registro.

Fuente: Uso de la ecuación universal de suelo (USLE) en el campo Forestal (2008)

Para la erodabilidad del suelo (K), la ecuación usada para la estimación de la erodabilidad de los suelos del terreno según (Chaves, 1996) es la siguiente:

Donde:

K: erodabilidad del suelo ($t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$).

AF: % de arena fina en el horizonte A del suelo.

SIL: % de limo del horizonte A del suelo.

CO: % de carbono orgánico del horizonte A del suelo.

AR: % de arena total del suelo.

Si el perfil topográfico de la vertiente es uniforme y sin áreas de deposición, la erodabilidad promedio del terreno es el promedio ponderado usando las respectivas áreas (Wischmeier y Smith, 1978), o sea:

Donde:

K_i: erodabilidad del suelo i.

A_i: área del suelo i.

A_t: área total del terreno.

El factor de longitud de la vertiente, L, es calculado de acuerdo con la siguiente ecuación (Wischmeier y Smith, 1978):

Donde:

L: longitud de la vertiente, definida como el punto de inicio de la escorrentía hasta el punto donde inicia la deposición de sedimento (m).

M: exponente proporcional al gradiente de la vertiente (0,1 – 0,5).

El factor de gradiente de la vertiente, S, es calculado de acuerdo con la ecuación (Wischmeier y Smith, 1978):

Donde:

S: gradiente promedio de la vertiente (%).

Si la vertiente es cóncava, convexa o compleja, el producto de los factores L y S debe ser corregido por la subdivisión de la vertiente en segmentos de gradientes uniformes.

El factor C de la es definido como la razón entre la pérdida de suelo en las condiciones específicas del terreno con suelo desnudo y con labranza bajo la pendiente. En los trópicos, este factor varía de 0 a 1, una vez que C depende de la distribución erosiva de la lluvia y de los tipos y manejo de cultivos, que en los trópicos son generalmente distintos de aquellos de regiones templadas.

El factor P, por su vez, es definido como la razón entre la pérdida de suelo bajo una práctica de manejo específica, y aquella bajo labranza ladera abajo.

4.7 El proceso de la socavación

La socavación consiste en la profundización del nivel del fondo del cauce de una corriente causada por el aumento del nivel de agua en las avenidas, modificaciones en la morfología del cauce o por la construcción de estructuras en el cauce. Es la remoción de materiales del lecho y de las bancas de un cauce debido a la acción erosiva del flujo de agua alrededor de una estructura hidráulica. Los materiales se socavan en diferentes formas: suelos granulares sueltos se erosionan rápidamente mientras que los suelos arcillosos son más resistentes a la erosión. Sin embargo, la socavación final de suelos cohesivos o cementados puede ser tan profunda como la socavación en suelos arenosos, variando el tiempo en el cual se produce.

Las formas de socavación se presentan en un cauce según que haya o no haya movimiento de sedimentos desde aguas arriba: socavación en lecho móvil y socavación en agua clara.

: Se presenta cuando hay transporte de sedimentos del lecho desde aguas arriba y por lo tanto parte de este sedimento queda atrapado en

el hueco de socavación. En este caso, la socavación alcanza equilibrio cuando la cantidad de material que es transportado iguala la cantidad de material que es removido. Se le conoce también como socavación en lecho vivo.

Se presenta cuando no hay transporte de sedimentos del lecho desde aguas arriba, por lo tanto no hay reabastecimiento del hueco socavado. En este caso, la socavación alcanza equilibrio cuando el esfuerzo cortante en el lecho es menor que el requerido para el inicio del movimiento de las partículas, o sea cuando el flujo no puede remover más partículas del hueco formado.

La socavación local es producida por el paso de crecientes y la correspondiente a la construcción de obras civiles. Para calcular la primera existe un sinnúmero de fórmulas, que son modificadas continuamente por sus autores, a medida que se avanza en la experimentación de campo.

culo de socavación

La socavación puede definirse como la excavación y remoción de material del lecho y bancos de un curso de agua como resultado de la acción erosiva del agua, la socavación total potencial se puede subdividir en tres componentes principales:

1. Degradación o agradación de largo plazo.
2. Socavación general (socavación por contracción).
3. Socavación local en pilas o bastiones.

Estos tres aspectos de la socavación son aditivos, por lo que los tres componentes se deben calcular y su suma será la socavación potencial total esperada en cada sitio.

4.7.2 Socavación en materiales granulares aluviales

Cuando en el cauce de un río existen materiales aluviales que pueden ser transportados por el flujo, se pueden identificar dos condiciones en las que puede ocurrir la socavación: socavación de aguas claras y socavación de lecho vivo. Esta división se basa en la relación entre la velocidad del flujo aguas arriba de la sección aguas arriba (v) y la velocidad crítica de transporte de los sedimentos presentes en la sección (v_c). Si la velocidad del flujo es mayor que la velocidad crítica para transporte

($v > v_c$), existe un movimiento generalizado de material del lecho, condición denominada de lecho vivo. En ese caso el flujo de aproximación trae consigo un suministro continuo de sedimento hacia la zona de socavación, la cual es causada no por el movimiento del material por el fondo sino por la existencia de contracciones u obstrucciones al flujo. Si por el contrario la velocidad del flujo es menor que la velocidad crítica v_c para el tamaño medio de partícula (d_{50}) del material de fondo se puede utilizar la siguiente ecuación:

- -

Dónde:

V_c : Velocidad crítica (m/s).

K_u : 6,19 adimensional.

Y : Profundidad media aguas arriba (m).

d_{50} : Diámetro de la partícula para v_c (m).

4.7.3 Degradación o agradación de largo plazo

El término degradación se refiere a la pérdida de material en un tramo de río, mientras que agradación se refiere al aumento del lecho de la quebrada producto de la deposición de sedimentos. Ambos procesos son fenómenos que ocurren en tramos largos de los ríos y en lapsos de tiempo relativamente extensos, por lo que no son efectos locales ni inmediatos.

Pueden ser producto de procesos naturales o de cambios producidos por actividades humanas en los ríos. Extracción de agua, construcción de una presa, extracción de material de los cauces de los ríos, rectificación de cauces pueden ser algunas de las causas antropogénicas de la degradación o agradación a largo plazo. La ruptura del equilibrio entre el caudal sólido, el caudal líquido y el tamaño de partícula en un cauce causan ajustes en la pendiente longitudinal del mismo, los cuales se manifiestan en cambios en los procesos de transporte y por lo tanto en la erosión y deposición de material en el fondo de la quebrada.

4.7.4 Socavación general (por contracción)

Es un proceso mediante el cual el cauce de la quebrada se profundiza debido a la remoción de material de fondo producto del aumento de la velocidad ante la ocurrencia de una contracción en el flujo. Estas condiciones de flujo pueden ser naturales (contracción natural, flujos secundarios debidos a una curva). Para estos casos, la socavación por contracción puede evaluarse con dos ecuaciones básicas: socavación de lecho vivo, y socavación de aguas claras. Para el cálculo de la socavación por contracción en condiciones de lecho vivo se recomienda el uso de la ecuación modificada de Laursen que con ciertas consideraciones se puede escribir como:

$$\frac{y_2 - y_1}{W_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^{k_1}$$

Dónde:

y_2 : Profundidad media de socavación (m).

y_1 : Profundidad media aguas arriba de la sección contraída (m).

y_0 : Profundidad media en la sección contraída, después de la socavación (m).

y_0 : Profundidad media en la sección contraída, antes de la socavación (m).

Q_1 : Caudal aguas arriba en el canal principal y que transporta sedimentos (m³/s).

Q_2 : Caudal en sección contraída (m³/s).

W_1 : Ancho del fondo del canal principal aguas arriba (m).

W_2 : Ancho del canal principal en la sección contraída menos ancho de las pilas (m).

k_1 : Exponente que depende de las condiciones de arrastre de fondo y que varía entre 0,59 y 0,69.

Para el cálculo de la contracción local en condiciones de aguas claras se recomienda el uso de la ecuación modificada de Laursen, Richardson y Davis que se escribe como:

Dónde:

Ys: Profundidad media de socavación (m).

y0: Profundidad media en la sección contraída, antes de la socavación (m).

Q: Caudal en sección contraída (m³/s).

W: Ancho del canal principal en la sección contraída menos ancho de las pilas (m).

Dm: Diámetro medio efectivo de las partículas del lecho (1,25 d50).

4.7.5 Socavación local

4.7.5.1 Socavación al pie de estribos y bastiones

Se debe a la formación de vórtices horizontales que empiezan aguas arriba, que se movilizan al pie del bastión y que forman vórtices verticales aguas abajo, generando la remoción del material del lecho. Existen varias relaciones empíricas para determinar la socavación en bastiones. Se detallan a continuación dos de estas ecuaciones:

Dónde:

Ys: Profundidad media de socavación (m).

K1: Factor de corrección por la forma del estribo (1,0 para estribos verticales a 0.55 para estribos en talud con flujo por encima).

L': Longitud del estribo proyectada normal al flujo (m).

Ya: Profundidad media en la planicie de inundación en la sección de aproximación (m).

Fr: Número de Froude en la planicie de inundación en la sección de aproximación.

Esta ecuación se recomienda para una razón L/y_1 menor o igual a 25, donde L es la longitud del estribo en contacto con el agua y y_1 la profundidad en el pie del estribo inmediatamente aguas arriba. Puede utilizarse tanto para condiciones de lecho vivo como de aguas claras. Para efectos del diseño, se recomienda adicionarle a y_s el valor de y_a , como factor de seguridad.

HIRE:

—

Dónde:

Y_s : Profundidad media de socavación (m).

y_1 : Profundidad en el pie del estribo inmediatamente aguas arriba (m).

K_1 : Factor de corrección por la forma del estribo (1,0 para estribos verticales a 0.55 para estribos en talud con flujo por encima).

Fr1: Número de Froude en el pie del estribo inmediatamente aguas arriba.

Esta ecuación se recomienda para una razón L/y_1 mayor a 25, puede utilizarse tanto para condiciones de lecho vivo como de aguas claras.

CAPÍTULO V

USO DE HERRAMIENTAS DIGITALES

El desarrollo de la tecnología a través del tiempo ha permitido crear softwares gratuitos que nos sirven de gran ayuda en el sector de los recursos hídricos. Esto se debe a que la mayoría han sido desarrollados por prestigiosas instituciones dedicadas a la investigación, así como organismos internacionales que buscan mejorar las posibilidades de aprendizaje para la solución de problemas sociales, económicos y ambientales.

La ingeniería hidráulica ha tenido un gran avance, son muchas las ventajas al usar un software libre si se conocen bien sus potencialidades y limitaciones, así como también son muchas las oportunidades que obtiene el estudiante, profesional y el investigador permitiendo encontrar recursos que son viables, y por efecto económicamente más aceptables. El empleo de un software hidráulico adecuado al caso que estemos estudiando nos permite reducir los tiempos de resolución de ecuaciones permitiendo destinar más tiempo al diseño y, por tanto, al estudio de alternativas dado que mediante los diferentes tipos de software existentes en la actualidad podemos simular las condiciones de contorno lo más parecido a la realidad variando diversas variables.

El manejo de estos programas permite ser más competitivo en la obtención de soluciones para un mismo problema, constituyendo uno de los factores a tener en cuenta para la selección de personal en una empresa o incluso para ascender dentro de una. Una vez dado a conocer la importancia en el uso de dichos programas, se procederá a mencionar algunos de los más usados por ingenieros civiles e hidráulicos.

5.1.1 HEC HMS 4.2

Este software está diseñado para simular los procesos hidrológicos de sistemas de cuencas hidrográficas detríticas, incluye muchos procedimientos tradicionales de

análisis hidrológico, como son la infiltración, hidrogramas unitarios, simulación continua que incluye la evapotranspiración, la contabilidad humedad del suelo. Proporciona capacidades sobre la simulación de la escorrentía usando el escurrimiento generador Método de Clark. Las herramientas de análisis ofrecen optimización para el cálculo del caudal, reducción de la profundidad del área, el transporte de sedimentos y erosión y la calidad del agua.

Dispone de un sistema integral que incluye una base de datos, servicio de entradas de datos, motor de cálculo y los resultados de las herramientas de reporte, los resultados de simulación se almacenan en HEC-DSS (Sistema de almacenamiento de datos) y se pueden utilizar en combinación con otros programas para los estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, la previsión de flujo, impacto futuro urbanización, el diseño del depósito vertedero, la reducción de daños por inundaciones, la regulación de inundación, y operación de los sistemas.

Estimación de caudales de diseño por modelo precipitación-escorrentía

Son el método indirecto más usual a ser aplicado en los casos en que no existe información directa de caudales de avenida en una cuenca. (El modelo HEC-HMS, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, es probablemente el modelo de simulación hidrológica más ampliamente utilizado y está diseñado para simular la escorrentía superficial que resulta de un evento de precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema de componentes interconectados. El modelo HEC-HMS permite estimar, de manera agregada, los hidrogramas de crecientes resultantes de eventos de precipitación sobre la cuenca (“tormenta de diseño”) asociados a una recurrencia determinada. El proceso de simulación en HEC-HMS se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Análisis probabilístico del comportamiento de las precipitaciones extremas en la cuenca y estimación de la tormenta de diseño media sobre la cuenca, para los períodos de retorno de interés
2. Definición del modelo de cuenca

3. Definición del modelo de abstracciones de precipitación
4. Definición del modelo de transformación precipitación-escorrentía
5. Corrida de las simulaciones del modelo y obtención de los hidrogramas de crecientes para los períodos de retorno de interés)

5.1.2 HECRAS 5.0

Es una aplicación que se utilizar como herramienta de modelación en el área de la ingeniería hidráulica, su uso está orientado a la modelación hidráulica unidimensional y bidimensional del flujo en lámina libre en cauces naturales y canales artificiales. Un software muy utilizado a nivel mundial. Cuenta con las siguientes características:

1. Modela sistemas de cauces fluviales y redes de canales
2. Simula efectos provocados por la presencia de estructuras en el cauce sobre la llanura de inundación, determina las velocidades de corriente a la entrada y salida de obras de drenaje y puentes.
3. Modelos de rotura de presas, balsas y diques.
4. Transporte de sedimentos
5. Análisis de la calidad del agua
6. Modelación de estaciones de bombeo.
7. Modelación de embalsamiento de agua.

5.1.3 IBER 2.4

Es un software de modelos de cálculos matemáticos bidimensional acoplados entre sí para la simulación del flujo en lámina libre y proceso de transporte en ríos y estuarios, su versión más reciente incluye un módulo hidrodinámico, de turbulencia y de transporte de sedimentos por carga de fondo y por carga en suspensión. Entre las líneas prioritarias de desarrollo de Iber a corto plazo se encuentran los modelos de transporte

de mezclas de sedimento, los modelos de hábitat fluvial y los modelos de calidad de aguas.

Es desarrollado en colaboración por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC) y el Instituto FLUMEN (Universitat Politècnica de Catalunya, UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE), en el marco de un Convenio de Colaboración suscrito entre el CEDEX y la Dirección General del Agua.

Cuando no se tiene mediciones ni registros continuos de caudal, por lo que no se dispone de información directa para estimar los caudales de diseño, se toma en cuenta las características de la cuenca, se decide emplear diferentes metodologías con el fin de estimar caudales máximos instantáneos:

1. Modelado precipitación-escorrentía mediante el modelo HEC-HMS (modelo agregado de análisis de crecientes), para estimación de caudales máximos instantáneos a partir de tormentas de diseño, derivadas de la información intensidad-duración-período de retorno de la estación a definir.
2. Estimación de caudales máximos instantáneos para el sitio del puente aplicando un método de envolventes regionales de caudales máximos instantáneos. Se consideraron períodos de retorno de entre 1 y 100 años para efectos de obtener caudales de diseño para los posteriores análisis hidráulicos.

5.2. Estimación de tormentas de diseño

Para la definición de tormentas de diseño como insumo del modelo hidrológico de precipitación - escorrentía, es indispensable contar con información sobre los patrones temporales, magnitudes y frecuencias de los eventos extremos de precipitación que se presentan en la cuenca.

5.3 Modelo de abstracciones de la precipitación

Todo modelo de precipitación-escorrentía requiere, para el cálculo de caudales, la estimación del exceso de precipitación o precipitación efectiva, es decir, de la fracción de la lluvia que va a llegar a escurrir sobre la superficie de la cuenca. La diferencia

entre la precipitación total producto de una tormenta y la precipitación efectiva corresponde a las denominadas abstracciones o pérdidas de precipitación, las cuales ocurren mediante los procesos hidrológicos fundamentales: la infiltración en el subsuelo y la intercepción por parte de la vegetación y las superficies.

5.4 Modelo de transformación precipitación-escorrentía

En los modelos de precipitación-escorrentía, después del cálculo de las abstracciones de precipitación, se procede a aplicarle a la precipitación efectiva una transformación para el cálculo de los caudales de escorrentía. Uno de los modelos de transformación más utilizados en la hidrología es el del hidrograma unitario, que es un modelo empírico originalmente propuesto por Sherman en 1932. El modelo del hidrograma unitario es un modelo hidrológico lineal que representa la función de respuesta de pulso unitario para un sistema hidrológico. Mediante este modelo es posible deducir el hidrograma resultante de cualquier cantidad de exceso de precipitación (Chow et.al., 1994). Existen diferentes modelos de hidrograma unitario. Dentro de los modelos disponibles está el hidrograma unitario adimensional del SCS, el cual es un hidrograma unitario sintético en el cual el caudal se expresa como la razón del caudal unitario U al caudal unitario, pico U_p y el tiempo como la razón del tiempo al tiempo al pico t/T_p .

5.5 Estimación de niveles de creciente

5.5.1 Metodología del análisis hidráulico

5.5.1.1 Modelación hidráulica en HEC-RAS

(El modelo para la simulación hidráulica denominado, programa HEC-RAS (River Analysis System del Hydrologic Engineering Center del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos), es un modelo unidimensional que se basa en el cálculo de Flujo Gradualmente Variado (FGV) mediante la solución de la ecuación de energía en una dimensión. Considera las pérdidas de energía producto de la fricción a lo largo del cauce y de procesos de expansión y contracción del flujo. Para casos de Flujo Rápidamente Variado (FRV), como saltos hidráulicos, confluencias y flujo en puentes el modelo incorpora la solución de la ecuación de momento del flujo.

Las características específicas del modelo, su fundamento hidráulico y sus formulaciones y métodos de solución numéricos son tratados ampliamente en USACE (2010), documento que puede utilizarse como referencia hidráulica del modelo. El modelo HEC-RAS requiere la inclusión de la geometría de las secciones transversales, a partir de las cuales se obtienen los parámetros hidráulicos de las secciones para el cálculo de las condiciones de flujo analizadas.

El modelo también requiere de la fijación de condiciones de frontera, las cuales se pueden especificar como condiciones de profundidad crítica o profundidad normal, como un nivel de agua conocido o como una curva de descarga, tanto aguas arriba como aguas abajo del tramo correspondiente. El modelo supone que las secciones de la quebrada (tanto transversal como longitudinalmente) son fronteras rígidas y de esta forma distribuye la totalidad del caudal llenando horizontalmente la sección de la quebrada hasta alcanzar la capacidad hidráulica necesaria para la avenida que se está simulando. Estos cálculos los puede realizar en régimen supercrítico, régimen subcrítico o en un régimen mixto que evalúa las condiciones hidráulicas sección por sección.)

5.5.1.2 Estimación del coeficiente n de Manning

Los modelos hidráulicos en general, incluido el HEC-RAS, incluyen dentro de sus formulaciones numéricas un término que representa la resistencia al flujo en canales. Este término incluye a su vez un coeficiente de rugosidad, el cual representa el efecto de resistencia al flujo de las superficies del fondo y de las paredes del canal. Una de las ecuaciones de resistencia más utilizadas en la hidráulica fluvial es la ecuación de Manning, la cual se puede escribir como:

$$v = \frac{1.49 R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

Dónde:

v: Es la velocidad media en la sección transversal.

n: Es el coeficiente de rugosidad de Manning.

s: Es la pendiente de la línea de energía del flujo.

RH: Es el radio hidráulico de la sección transversal de flujo.

En el caso de la ecuación de Manning, el parámetro n es el coeficiente de rugosidad utilizado, el cual representa las condiciones imperantes en la sección transversal y el cual depende de una cantidad de factores, como la rugosidad absoluta de los materiales en el lecho y los bancos del cauce, de las irregularidades del mismo, de la presencia de obstrucciones y vegetación, del régimen de transporte de sedimentos y del régimen de flujo.

Algunas de las fórmulas analíticas más comunes utilizadas para este fin tienen la forma y concepto de las ecuaciones de Strickler, Hey y Limerinos (Chang 1992, USACE 1994, USACE 2010, García 2007, entre otros):

Strickler:

-

Donde

K_s (en metros): Está correlacionado con el tamaño de la partícula, usualmente con el d_{50} . Supone condiciones de lecho rígido y una variación de n sólo con la rugosidad absoluta del lecho.

Limerinos:

-

—

Donde

RH: Es el radio hidráulico del flujo.

d_{84} : Es el tamaño de partícula (para el que el 84% del sedimento es más fino).

Esta ecuación está derivada para fondos móviles y materiales relativamente gruesos (arenas gruesas y gravas) y es aplicable sólo en la ausencia de formas de fondo y en el régimen alto de transporte de sedimentos.

Existen asimismo otro tipo de metodologías, en donde el n base para un cauce se escoge empíricamente a través de tablas y fotografías que describen y muestran las características más relevantes de los cauces. Esta es una metodología muy generalizada y práctica, desarrollada inicialmente por Chow en 1959 y posteriormente desarrollada por Arcement y Schneider en su texto “Guide for selecting Manning’s Roughness Coefficients for natural Channels and FloodPlains” (1989). Según estos autores, el valor de n de Manning para el cauce principal se obtiene de la siguiente fórmula, propuesta originalmente por Cowan (Chow, 1994):

Dónde:

n_b : Es el valor de base para un canal recto, uniforme y liso conformado por materiales naturales.

n_1 : Factor de corrección por irregularidades presentes en la superficie.

n_2 : Valor para variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal.

n_3 : Valor para obstrucciones presentes.

n_4 : Valor para presencia de vegetación y condiciones de flujo.

m : Factor de corrección por el efecto de la sinuosidad a lo largo del cauce.

CAPÍTULO VI

SUSTENTABILIDAD

El tema del cuidado del medio ambiente se ha vuelto de vital importancia en nuestros días, pues el deterioro ambiental se hace más evidente y la búsqueda de soluciones para revertirlo más importante. La ingeniería civil y su íntima relación con el medio ambiente se ve en la necesidad de buscar y aplicar nuevas estrategias en las construcciones, en la mayoría de ellas se ve apoyado por las nuevas tecnologías para el cuidado del medio ambiente, todo con la finalidad de llevar a cabo una relación Humano-ambiente más pacífica, es decir en la que el hombre no dañe al medio ambiente y que se dé cuenta de que es un sujeto perteneciente al medio ambiente.

En la ingeniería civil es muy importante a la hora de diseñar y ejecutar una obra, tomar en cuenta todas las posibles variables que puedan afectarla, ya que de no hacerlo se pone en riesgos las vidas de las personas que interactúen directa o indirectamente con la obra ya sea en la etapa constructiva o ya terminada la obra como tal. En hidrología se estudia la importante relación que tiene el agua con respecto al diseño y ejecución de una obra civil ya sea para garantizar la seguridad o para cuidar el agua de que pueda ser contaminada.

Como bien se explicó en los anteriores capítulos de la guía, en los cálculos sobre los métodos directos de estimación de caudales, hidrogramas, curva de gastos, hay ciertos factores que determinan dichos cálculos, y en base a estos factores se rigen los distintos modelos existentes para su resolución. Todas estas variables pertenecientes al ciclo hidrológico en gran parte, son factores que afectan directamente a la escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial y escorrentía subterránea, en una cuenca.

6.1 Aplicación de la sustentabilidad ambiental

La sustentabilidad ambiental con respecto a la hidrología explora a fondo todos los aspectos del proyecto relacionado con el agua que es un recurso imprescindible para la vida y para el funcionamiento de los ecosistemas. Los seres humanos utilizamos el agua de acuerdo a nuestras necesidades y en su aprovechamiento introducimos ciertos

cambios en el ciclo hidrológico. Estos cambios afectan tanto la disponibilidad como la calidad del agua.

En cada etapa del ciclo del agua hay muchos factores a considerar y tener en cuenta. Estos factores están interconectados de modo que cada aspecto afecta al otro, formando un todo para ser estudiado para diseñar la solución más adecuada. Tomando en cuenta que la ejecución de un proyecto se debe proyectar para que afecte en lo menos posible el ambiente; no solo porque se puede dañar la flora y fauna, la calidad del aire y el agua, la temperatura del ambiente, entre otros.

Cada vez más la aplicación de la sustentabilidad ambiental en proyectos de obras civiles es de mayor prioridad, lo cual se encuentra el impacto que generan sus actividades sobre el medio ambiente, no solo en cuanto al cumplimiento de la legislación. En su mayoría los ingenieros que la integran tratan de adquirir un compromiso para contribuir a la preservación del entorno.

Las grandes obras de ingeniería, como parte del progreso y la evolución, pueden transformar la superficie terrestre en algunos proyectos de ingeniería tales como túneles, presas, carreteras, canales, ríos artificiales, que provocan cambios considerables en el equilibrio del medio ambiente. Los factores que influyen sobre el medio ambiente son diversos, el crecimiento de la población, la urbanización, el desarrollo industrial, la mecanización de la agricultura y el uso irracional de los recursos naturales.

¿Por qué tener en cuenta el Impacto Ambiental en un proyecto de Ingeniería?

Después de las Leyes de Política Ambiental Nacional, los ingenieros elaboran estudios en los que se describen las consecuencias ambientales que producirá cada proyecto de ingeniería que se ponga en marcha, planificaciones económicas y técnicas a desarrollar. Para la realización de un Estudio de Impacto Medioambiental se requiere la participación de un equipo multidisciplinario, formado por numerosos especialistas además de Ingenieros de varias especialidades. Estudio que se debe realizar en las primeras fases de diseño ya que, si se elabora una vez que el proyecto técnico ha sido completamente desarrollado, el margen de maniobra estará totalmente limitado.

Las obras de ingeniería producen un impacto ambiental cuando:

1. Existe un riesgo para la salud de la población, debido a los efluentes, emisiones o residuos.
2. Se producen efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, el agua y el aire.
3. Es necesario un reasentamiento de comunidades humanas, o alteraciones significativas de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos.
4. Existen poblaciones, recursos y áreas protegidas susceptibles de ser afectadas, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar.
5. Existe una alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona. Se produce una alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.
6. Si eres ingenieros seguro que estás de acuerdo en que el desarrollo y el progreso no están reñidos con el cuidado de nuestro planeta y un compromiso corporativo y responsable con el medio ambiente, es posible.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldana Ángel, (2002) **Métodos de Estimación de Relaciones Nivel Caudal**. Disponible en: <http://ceh-flumen64.cedex.es/hidraulica/Archivos/CGasto.pdf>
- Aranda Campos, (1998) **Cuencas**. Disponible en: <https://es.slideshare.net/PaleCruz/cuencas-19312652>
- Castillo Ximena, (2016), **Guía Técnica para la Elaboración de Manuales de Procedimientos**. Disponibles en:
https://www.uv.mx/personal/fcastaneda/files/2010/10/guia_elab_manu_pro_c.pdf
- Delgado, (2006) **Tipos de Canales**. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/80271725/Tipo-de-canales>
- Delgado Mario, (2012) **Canales**. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/80271725/Tipo-de-canales>
- Eclesiastés, (1,7) **Crecientes de Aguas Superficiales**. Disponible en: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/alpr/Corrientes_superficiales.pdf
- García Antonio, (2011) **La cuenca hidrográfica transfronteriza Grijalva: la danza de politics-policy y el mapeo institucional en México y Guatemala**. Disponible en: http://www.unesco.org/uy/ci/fileadmin/phi/aqualac/pp_127-140.pdf
- Heras, (1972) **Características morfométricas de una cuenca**. Disponibles en: gaia.geologia.uson.mx/academicos/.../MORFOMETRIA%20DE%20CUENCAS.docx
- Manual N^a 5 Medición del agua (2014), elaborado por la Coordinación de Estudios de la DGIAR Desarrollo e Infraestructura Agraria y Riego Ministro de Agricultura, Participación de la Autoridad Nacional del Agua –ANA Primera Edición: 200 ejemplares, octubre 2014 Segunda Edición: 200 ejemplares, Setiembre 2015 por Ingenieros Caro, Gamarra Hurtado, Núñez y Rosales San Isidro – Lima.
- Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología civ-233 (2009), presentado por: Agustín Cahuana Andia, Weimar Yugar Morales. Trabajo Dirigido Por Adscripción, Presentado Para Optar al Diploma Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil, Cochabamba – Bolivia.

Estudio de la dinámica de sedimentos asociada al impacto de la explotación minera sobre cauces de ríos andinos en Medellín, Colombia. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/51158/1/1053784849.2015.pdf>.

Brea, J.D.; Spalletti, P.; Busquets, M. (1999). Generación y transporte de sedimentos en la Alta Cuenca del Río Bermejo. Impacto en el Sistema Paraguay-Paraná-Río de la Plata, y el Delta del Paraná. Programa Estratégico de Acción para el Desarrollo Sustentable de la Cuenca del Río Bermejo, Fondo para el Medio Ambiente Mundial - FMAM (Global Environmental Fund - GEF), OEA. Instituto Nacional del Agua.

Sabino Carlos, (1996) **El proceso de la investigación**. Disponible en: http://paginas.ufm.edu/sabino/ingles/book/proceso_investigacion.pdf

Sánchez Javier, (2013) **Medición de Caudales**. Disponible en: <http://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>

Sánchez Maria, (2015) **Medición de caudales Aforos**. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/105255484/MEDICION-DE-CAUDALES-AFOROS>

Edward J. Tarbuck, Frederick K. Lutgens, (2005) **Ciencias de la Tierra– Una Introducción a la Geología Física**. Octava edición

Unal, (1997) **Morfometría de Cuencas**. Disponible en: <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>

Zambrano Jeannette, (2015) **Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG**. Programa de Doctorado en Ingeniería Civil. Barcelona

Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/95706/TJZN1de1.pdf>