



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ACTUALIZACIÓN DE UNA GUÍA DE DISEÑO DE PEQUEÑAS CENTRALES  
HIDROELÉCTRICAS EN COLOMBIA EN LAS ÁREAS DE HIDROLOGÍA,  
HIDRÁULICA, ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS Y EQUIPOS  
ELECTROMECAÓNICOS**

**PRESENTADO POR:**

**DERLY KATHERINE CORREA JURADO CÓDIGO: 504027**

**DOCENTE ASESOR:**

**ING. CIVIL MSC JESÚS ERNESTO TORRES QUINTERO**

**BOGOTÁ D. C., 23 DE NOVIEMBRE DE 2018**

**PERIODO. 2020**

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

PRESIDENTE DEL JURADO

---

JURADO

---

JURADO

Bogotá, mayo, 2020



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

## CONTENIDO

1) INTRODUCCIÓN.....	11
2) GENERALIDADES .....	13
2.1) ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN .....	13
3) PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	16
3.1) DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	16
3.2) FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	17
4) OBJETIVOS.....	19
4.1) OBJETIVO GENERAL.....	19
4.2) OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
5) ALCANCE.....	21
6) LIMITACIONES .....	22
7) MARCO DE REFERENCIA .....	23
7.1) MARCO TEÓRICO.....	23
7.1.1) Pequeña central Hidroeléctrica. ....	23
7.2) CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	23
7.2.1) Nano o pico centrales.....	23
7.2.2) Micro centrales.....	24
7.2.3) Mini centrales.....	24
7.2.4) Pequeñas centrales.....	24
7.3) PARTES QUE COMPONEN LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	25
7.3.1) Turbinas. ....	25
7.3.2) Generadores. ....	26
7.3.3) Bocatoma. ....	26
7.3.4) Canal de conducción. ....	26
7.3.5) Cámara de carga.....	26
7.3.6) Tubería de presión. ....	26
7.3.7) Casa de máquinas.....	26
8) ESTADO DEL ARTE.....	28
9) METODOLOGÍA.....	32

9.1) FASE I.....	32
9.2) FASE II.....	33
9.3) FASE III.....	33
10) DISEÑO METODOLÓGICO .....	35
11) HIDROLOGÍA PARA PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS .....	37
11.1) ÁREA DE LA CUENCA .....	37
11.2) PERÍMETRO DE LA CUENCA.....	37
11.3) LONGITUD MAYOR DEL RIO.....	37
11.4) LONGITUD MÁXIMA AXIAL DEL RÍO .....	38
11.5) ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA.....	38
12) MÉTODOS PARA DETERMINAR EL CAUDAL .....	39
12.1) MÉTODO MOLINETE HIDROMÉTRICO.....	39
12.2) MÉTODO DEL FLOTADOR .....	42
12.3) MÉTODO DE DILUCIÓN.....	43
12.4) MÉTODO CON LIMNÍGRAFO.....	44
13) OBRAS HIDRAULICAS PARA PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS .....	46
13.1) BOCATOMA.....	46
13.2) CANAL DE ADUCCIÓN.....	47
13.3) DESARENADOR.....	48
13.4) CÁMARA DE CARGA .....	49
13.5) TUBERÍA DE PRESIÓN .....	50
13.6) ANCLAJES Y APOYOS SIMPLES .....	51
13.7) CASA DE MÁQUINAS.....	52
14) CÁLCULO DE LA CAPTACIÓN DE AGUA.....	53
14.1) TOMA DE AGUA .....	53
14.2) VELOCIDAD DEL AGUA.....	54
14.3) CANAL COLECTOR.....	54
14.4) CÁLCULO DE LA TUBERÍA.....	55
15) EQUIPOS ELECTROMECHANICOS .....	56
15.1) TURBINAS HIDRÁULICAS .....	56
15.2) TURBINA PELTON .....	57

15.3) TURBINA FRANCIS .....	58
15.4) TURBINA KAPLAN.....	59
15.5) SELECCIÓN DE TURBINAS.....	60
15.6) GENERADORES.....	62
15.6.1) Generador síncrono. ....	63
15.6.2) Generador asíncrono.. ....	63
16) ESTUDIOS EN LA CUENCA DEL RÍO PASTO, NARIÑO.....	64
16.1) LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO DE LA FUENTE.....	64
16.2) CARTOGRAFÍA.....	65
17) HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO PASTO, NARIÑO.....	67
17.1) PARÁMETROS FISIOGRAFÍCOS. ....	67
17.1.1) Área de la cuenca (fuente Ideam).. ....	67
17.1.2) Perímetro de la cuenca (fuente Ideam). ....	67
17.1.3) Longitud mayor del río (fuente Ideam). ....	68
17.1.4) Longitud máxima axial del río (fuente Ideam). ....	68
17.1.5) Datos enviados por la topografía hasta el sitio de bocatoma pch. ....	68
17.1.6) Datos enviados por la topografía hasta estación providencia Ideam ..	68
17.2) ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN .....	69
17.3) ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA.....	70
17.4) ESTACIONES DEL IDEAM Y SUS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS .....	72
17.4.1) Estaciones bocatoma centenaria Ideam.. ....	74
17.4.2) Estación universidad.....	75
17.4.3) Grafica de caudales estación universidad. ....	76
17.4.4) Estación providencia. ....	77
17.5) BALANCE HÍDRICO.....	79
17.6) CALIDAD DE AGUA RIO PASTO .....	82
17.7) PRINCIPALES ECUACIONES UTILIZADAS.....	90
17.7.1) Procedimientos para estimar la ETP.....	90
17.7.2) Balance hídrico.....	92
17.8) Cálculo Curva de Duración de Caudales.....	93
17.8.1) Curva de duración de caudal.. ....	93

17.8.2) Aforo con molinete..	94
17.8.3) Caudales medios, curva de duración de caudales.....	97
17.8.4) Aforos.....	98
17.8.5) Relación área, y rendimientos de las cuencas. ....	104
17.8.6) Caudales medios multianual más bajos. ....	105
17.8.7) Caudal mínimo.....	106
17.8.8) Caudal máximo. ....	106
18) OBRAS HIDRAULICAS EN EL SECTOR DEL RÍO PASTO, NARIÑO.....	109
18.1) BOCATOMA.....	109
18.2) CANAL DE DERIVACIÓN O DE BAJA PRESIÓN.....	110
18.3) DESARENADOR.....	111
18.4) TANQUE DE CARGA.....	112
18.5) TUBERÍA DE PRESIÓN.....	113
18.6) CASA DE MÁQUINAS.....	113
19) SELECCIÓN DE TURBINAS.....	114
20) CONCLUSIONES.....	118
21) BIBLIOGRAFÍA.....	120
22) ANEXOS.....	123

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Central hidroeléctrica a filo de agua.....	25
<b>Figura 2.</b> Sección transversal.....	40
<b>Figura 3.</b> Molinete Gurley Tipo Price No. 622 .....	41
<b>Figura 4.</b> Flotador semisumergido de corcho lastrado .....	43
<b>Figura 5.</b> Sistemas automáticos de limnógrafo con flotador contrapeso y registrador electrónico.....	45
<b>Figura 6.</b> Bocatoma.....	47
<b>Figura 7.</b> Canal de aducción .....	48
<b>Figura 8.</b> Desarenador .....	49
<b>Figura 9.</b> Cámara de carga .....	50
<b>Figura 10.</b> Tubería de presión.....	51
<b>Figura 11.</b> Casa de máquinas .....	52
<b>Figura 12.</b> Turbina Pelton.....	57
<b>Figura 13.</b> Turbina Francis .....	58
<b>Figura 14.</b> Turbina Kaplan.....	59
<b>Figura 15.</b> Diagrama de selección de turbinas hidráulicas .....	62
<b>Figura 16</b> Nomograma de fábrica.....	114
<b>Figura 17</b> Dimensiones Turbina Francis.....	116
<b>Figura 18.</b> Localización general de la cuenca del río Pasto .....	64
<b>Figura 19.</b> Precipitación en mm Estación Antonio Nariño .....	69
<b>Figura 20.</b> Temperatura grados centígrados Estación Antonio Nariño.....	70
<b>Figura 21.</b> Mapa estaciones de caudal Río Pasto.....	72
<b>Figura 22.</b> Mapa estaciones de caudal Río Pasto.....	75
<b>Figura 23.</b> Correlación estaciones universidad-providencia.....	76
<b>Figura 24.</b> Caudales medios estación providencia.....	78
<b>Figura 25.</b> Caudales medios estación providencia.....	79
<b>Figura 26.</b> Caudales medios estación providencia.....	95
<b>Figura 27.</b> Curva Duración de Caudales.....	101



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Datos de temperatura MEDIA MULTIANUAL estación aeropuerto Antonio Nariño pasto.....	71
<b>Tabla 2.</b> Estaciones Ideam río pasto .....	73
<b>Tabla 3.</b> Caudales medios mensuales.....	74
<b>Tabla 4.</b> Estaciones Ideam rio pasto .....	75
<b>Tabla 5.</b> Caudales medios m <sup>3</sup> /s estación providencia.....	77
<b>Tabla 6.</b> Balance hídrico .....	80
<b>Tabla 7.</b> Calidad de agua dbo (Demanda Bioquímica de Oxígeno).....	82
<b>Tabla 8.</b> Calidad de agua sst (sólidos suspendidos totales).....	83
<b>Tabla 9.</b> Calidad de agua río Pasto parte 1 .....	84
<b>Tabla 10.</b> Calidad de agua río Pasto parte 2 .....	86
<b>Tabla 11.</b> Calidad de agua río Pasto parte 3 .....	88
<b>Tabla 12.</b> Caudales medios estaciones .....	98
<b>Tabla 13.</b> Aforos rio pasto estación PROVIDENCIA.....	99
<b>Tabla 14.</b> Curva duración de caudales estación providencia.....	100
<b>Tabla 15.</b> Datos principales de la curva duración de caudales estación providencia .....	101
<b>Tabla 16.</b> Curva de duración de potencias estación providencia.....	103
<b>Tabla 17.</b> Relación área, y rendimientos de las cuencas.....	105
<b>Tabla 18.</b> Caudales medios multianuales más bajos estación universidad .....	105
<b>Tabla 19.</b> Caudales medios multianuales más bajos estación providencia .....	106
<b>Tabla 20.</b> Caudales máximos en m <sup>3</sup> /s.....	107
<b>Tabla 21.</b> Caudales máximos estación providencia Nariño .....	108
<b>Tabla 22</b> Dimensiones de Turbina Francis .....	117

## LISTA DE IMÁGENES

<b>Imagen 1.</b> Potencial de pequeñas centrales hidroeléctricas identificado por país .....	124
<b>Imagen 2.</b> Capacidad instalada de las pequeñas centrales hidroeléctricas en el mundo .....	125
<b>Imagen 3.</b> Porcentaje de energías renovables a escala mundial .....	125
<b>Imagen 4.</b> Capacidad instalada en cada región .....	126
<b>Imagen 5.</b> Principales regiones .....	127
<b>Imagen 6.</b> Principales regiones .....	128
<b>Imagen 7.</b> Mapa subregiones .....	129
<b>Imagen 8.</b> Porcentaje .....	130
<b>Imagen 9.</b> Principales regiones .....	131

## 1) INTRODUCCIÓN

Las pequeñas centrales hidroeléctricas son un atractivo por su desarrollo tecnológico, estas son de gran importancia para cada país que desee implementarlas, como se puede notar en el Informe mundial sobre el desarrollo de la pequeña central hidroeléctrica de 2016, donde destacan su utilización en países como China, Estados Unidos, Japón, Chile, Noruega.

Las pequeñas centrales hidroeléctricas son una alternativa generadora de energía limpia y renovable, las cuales disminuyen el uso de combustibles evitando emisiones de gas que contaminan, cabe anotar que su construcción tiene menor costo que las centrales termoeléctricas y las plantas nucleares.

En Colombia las plantas hidroeléctricas representan el 68% de la oferta energética. Pero también existen zonas donde no se posee el recurso energético, ni siquiera con la red de energía nacional, por tal motivo surge la necesidad de actualizar los criterios técnicos de diseño para poder realizar la inversión en construcción de las pequeñas centrales hidroeléctricas.

Colombia es un país que cuenta con una topografía, pluviosidad y recursos hídricos, que se puede aprovechar para la producción de energía en la implementación de las pequeñas centrales hidroeléctricas.

En este proyecto se elaborará una guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas para otorgar una actualización de los pasos a seguir para su

respectivo diseño. Tomando como bases las guías existentes con las cuales se ha diseñado las pequeñas centrales hidroeléctricas ya existentes.

## **2) GENERALIDADES**

### **2.1) ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**

Actualmente Colombia produce energía con centrales hidroeléctricas y centrales térmicas, donde la quema de gas, carbón, fuel-oil, son los componentes para la producción de energía, pero al mismo tiempo son contaminantes para el medio ambiente, lo cual se puede observar en el informe realizado por endesa en la explicación del funcionamiento de termoeléctricas convencionales.

Para evitar la utilización de estos componentes se está buscando la manera de generar energía limpia para el ambiente y poder disminuir la contaminación, esto lleva al diseño y construcción de las pequeñas centrales hidroeléctricas.

Adicional se busca la manera de aplicar esta generación de energía en lugares en donde aún ha sido difícil llegar con la red nacional de energía, para poder implementar las pequeñas centrales hidroeléctricas.

Se ha revisado base de datos y se ha notado que no hay ninguna guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas actualizada, las que se han encontrado son la guía de diseño de obras civiles de pequeñas centrales hidroeléctricas del año de 1985 de la ciudad de Bucaramanga, también la guía de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas del ministerio de minas del año de 1997.

Se realiza esta investigación para poder tener actualización de criterios técnicos de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas, aumentando su utilización para generar energía limpia y renovable.

Hacer un aporte al medio ambiente disminuyendo la contaminación del planeta y aplicar dichos criterios en una zona para generar energía que aún no está siendo atendida por la red de energía nacional.

Aportar a los ingenieros, consultores y estudiantes, dicha guía con especificaciones técnicas del paso a paso del diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas, para ser utilizadas en la construcción de dichas centrales.

Se utilizará como base las guías encontradas, pues con ellas tendremos pautas de lo que se requiere actualizar para conformar las guías de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas.

Son varios años los que han pasado desde la creación de las guías existentes en Colombia, por lo cual se ve la necesidad de crear una guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas actualizada para ser utilizada en la construcción de estas.

En la guía de base que se está manejando que es la guía de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas del ministerio de minas del año de 1997, hay varios conceptos y procesos que aplican en la actualidad, pero requiere actualización debido a los cambios que se han presentado en las diferentes fuentes hídricas y en los espacios que se pueden destinar para su construcción, adicional actualmente

se manejan muchas más normas para la protección del medio ambiente las cuales deben cumplir para ser aprobada su construcción.

### **3) PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **3.1) DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

En Colombia no se tiene una guía actualizada de criterios técnicos de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. Actualmente se tienen programas o sistemas digitales que se pueden aplicar a cartografía, GHMS para cálculo de caudales máximos y otras herramientas que pueden contribuir para una mejor guía de diseño actualizada de pequeñas centrales hidroeléctricas.

Colombia solo ha utilizado el 1% de las alternativas de energía limpia y renovable, por lo anteriormente dicho se requiere de dicha guía para poder utilizar la ventaja que se tiene en el país con los recursos hídricos para generar energía.

Las guías de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas que se han utilizado son documentos desactualizados, de esta manera se pretende realizar una guía actualizada para su uso en los diseños de estas pequeñas centrales hidroeléctricas, pues de lo contrario las normas, equipos y herramientas necesarias para su construcción y utilización estarán en un ámbito antiguo y no se aprovechará el avance de los años en maquinaria y equipos.

Esta guía contribuirá a que se nombren mas las pequeñas centrales hidroeléctricas, que no sea un tema desconocido, del cual no se quiera abordar para su



conversación y aplicación, pues es de gran ayuda para un mejoramiento en la adquisición de energía renovable.

En los anexos encontrarán información sobre las pequeñas centrales hidroeléctricas que hay en el mundo, las regiones más importantes y el porcentaje de su utilización. Observarán que Colombia se encuentra en este listado, por lo tanto, es bueno tener una guía actualizada para ser consultada a nivel nacional e internacional.

### **3.2) FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El problema que tiene el diseño y la construcción de las pequeñas centrales hidroeléctricas es no tener adecuadas guías de diseño que se puedan implementar desde la universidad hasta las empresas, pues como se ha mencionado las que se encuentran son de hace más de 30 años.

¿La guía de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas podrá cumplir con su objetivo de ser una herramienta de diseño actualizada para uso de ingenieros y consultores, teniendo en cuenta que estas pequeñas centrales hidroeléctricas son generadoras de energía limpia y renovable?

A esta pregunta cabe anotar que el énfasis es actualizar la guía dando pautas de los nuevos equipos, herramientas y normas que se requieren actualmente para el diseño y construcción de las pequeñas centrales hidroeléctricas, para no omitir

detalles que puedan atentar contra el medio ambiente y la comunidad; al contrario, lo que se requiere es satisfacer las necesidades que pueda tener la población por falta de energía.

Adoptar por las diferentes regiones del país varias de estas infraestructuras, para otorgar un afianzamiento en este tema que no es tan nombrado y conocido.

## **4) OBJETIVOS**

### **4.1) OBJETIVO GENERAL**

Realizar la actualización de una Guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia en las áreas de hidrología, hidráulica, estructuras hidráulicas y equipos electromecánicos.

### **4.2) OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Consultar sobre criterios de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas a nivel nacional e internacional en las áreas de topografía, hidráulica y equipos electromecánicos.
- Realizar visitas técnicas para seleccionar y aplicar los criterios técnicos de diseño en diferentes regiones de Colombia, para poder comparar con otros países.

- Destacar la importancia de criterios de diseños de pequeñas centrales hidroeléctricas en otros países e incorporarlos en la actualización de la guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas en las áreas de hidrología, hidráulica, estructuras hidráulicas y equipos electromecánicos.

## **5) ALCANCE**

Lograr adquirir toda la información necesaria para poder generar la actualización de una guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia en las áreas de topografía, hidrología, hidráulica, estructuras hidráulicas y equipos electromecánicos.

Afianzar el reconocimiento de que las pequeñas centrales hidroeléctricas contribuyen a evitar la contaminación del medio ambiente, generando energía limpia y renovable disminuyendo la emisión de gases y la utilización de combustibles.

Se tendrá en cuenta algunas de las pequeñas centrales hidroeléctricas construidas en otros países, como son Guatemala, China y Canadá. Se tomarán conceptos y buenas prácticas en su diseño.

## 6) LIMITACIONES

Las pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia han dejado de ser nombradas en las diferentes regiones del país, tal vez por falta de información, o por prejuicios en cuanto a su utilización.

Pues en muchos casos se piensa que estas construcciones pueden llegar a afectar al medio ambiente y sus ecosistemas; es claro aceptar que se tendrá un impacto ambiental, pero los estudios y los procesos, están para disminuir ese impacto y beneficiar a una comunidad, una ciudad, un país. Para aportar a las regiones que tienen dificultad con obtener energía, y las cuales no se pueden conectar con la red nacional que maneja el país.

Tal vez el mayor obstáculo es la desinformación y la falta de recursos económicos para llevar a cabo el desarrollo del proyecto de una pequeña central hidroeléctrica.

## 7) MARCO DE REFERENCIA

### 7.1) MARCO TEÓRICO

**7.1.1) Pequeña central Hidroeléctrica.** Son aquellas utilizadas para generar energía renovable de una forma respetuosa para con el medio ambiente, estas tienen una potencia menor a 20MW. Una de las ventajas de esta tecnología es la eliminación de combustibles.

### 7.2) CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

**7.2.1) Nano o pico centrales.** Estas corresponden a centrales cuya potencia de generación es inferior a 1 kW, son utilizadas para suministro familiar y aplicaciones mecánicas.

**7.2.2) Micro centrales.** La potencia de generación de energía se encuentra entre 1kW y 100Kw, con estas se abastece de energía a sectores aislados.

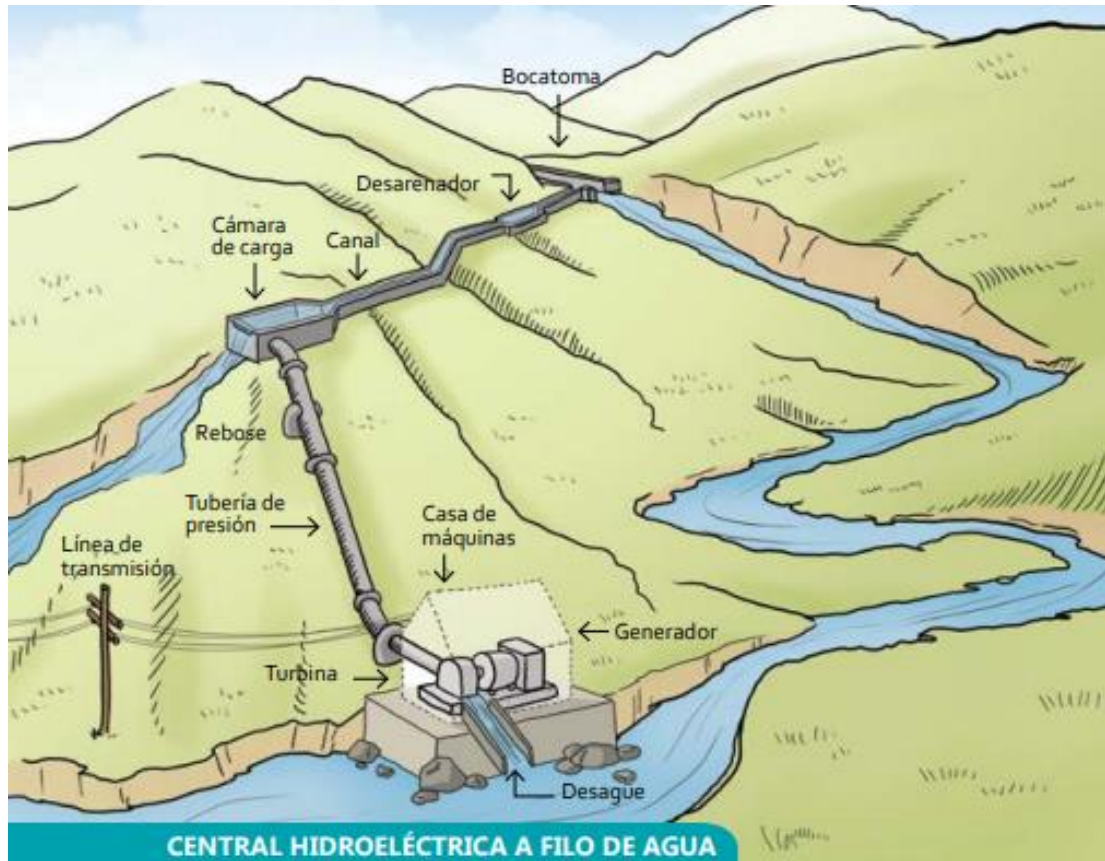
**7.2.3) Mini centrales.** Poseen una potencia generadora de energía entre 100kW y 1000kW, se han utilizado para abastecer varias comunidades y conectarlas con la red de energía nacional.

**7.2.4) Pequeñas centrales.** A estas corresponde la potencia de generación de energía en un rango de 1MWy 5MW, son utilizadas para dar energía a pequeñas ciudades y conectarlas a la red de energía nacional.

El sistema de captación utilizado es el denominado " a filo de agua ", donde se desvía un porcentaje de agua del cauce del rio hacia una tubería o canal y poder llevarlo a una central donde se encuentran las turbinas para seguir el proceso y generar la energía.



**Figura 1** Central hidroeléctrica a filo de agua



*Fuente: <https://www.undp.org/content/dam/guatemala/06%20Centrales%20Hidroel%C3%A9ctricas%20peque%C3%B1a%20escala.pdf>*

### **7.3) PARTES QUE COMPONEN LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS**

**7.3.1) Turbinas.** Son máquinas que, al ser accionadas por la energía del agua, produce energía mecánica que es transformada en eléctrica.

**7.3.2) Generadores.** Se encarga de producir energía eléctrica.

**7.3.3) Bocatoma.** Obra civil que se construye a la orilla de un río para realizar el desvío del agua y llevarla al canal de conducción.

**7.3.4) Canal de conducción.** Esta obra es utilizada para llevar el agua desde la bocatoma hasta la cámara de carga.

**7.3.5) Cámara de carga.** Es una obra civil en forma de caja que se encarga de acumular agua en un alto, para luego ser enviada, por medio de tubería de acero hacia la casa de máquinas.

**7.3.6) Tubería de presión.** Su objetivo es conducir el agua desde la cámara de carga hasta la casa de máquinas donde se encuentran las turbinas.

**7.3.7) Casa de máquinas.** Obra civil que resguarda la turbina hidráulica, el generador y otros dispositivos que generan la energía.

Esta parte de conceptos fue tomada de la guía de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas del ministerio de minas del año de 1997 y de la guía de diseño de obras civiles de pequeñas centrales hidroeléctricas del año de 1985 de la ciudad de Bucaramanga.

Para poder tener conocimiento de los diferentes conceptos que se pueden manejar en la guía y las pautas que se deben tener en cuenta para seguir su proceso de diseño y llegar a su construcción.

En los anexos observaremos información sobre las pequeñas centrales hidroeléctricas a nivel mundial, la instalación en cinco regiones y las instaladas en América.

## 8) ESTADO DEL ARTE

Se ha encontrado información de diferentes universidades donde se ha trabajado temas relacionados con las pequeñas centrales hidroeléctricas, los cuales se nombrarán a continuación:

- Diseño conceptual y evaluación financiera de centrales hidroeléctricas de pasada, para valorizar el beneficio de clasificación ernc, de la Universidad Andrés Bello, del año 2017
- Estudio de prefactibilidad para la construcción de una pequeña central hidroeléctrica ubicada en la cuenca del río Teusaca - vereda San Rafael - sector la toga - la calera . Cundinamarca, de la Universidad Libre, del año 2016
- Políticas para el Aprovechamiento del Potencial Hidro energético en Colombia Mediante Pequeñas Centrales, de la Universidad Nacional, del año 2015

- Diseño de una pico central hidroeléctrica en la localidad de Usme, Bogotá., de la Universidad Católica de Colombia, del año 2017
- Diseño de una pequeña central hidroeléctrica para el municipio de Pisba, Boyacá, de la Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, del año 2017
- Diseño eco hidrológico de pequeñas centrales hidrológicas: evaluación de caudales ecológicos, de la universidad nacional de Colombia, del año 2008
- Pico Centrales Hidroeléctricas (pch): una alternativa energética en zonas no interconectadas de Colombia, de la escuela tecnológica Instituto Técnico Central, del año 2011

En cada uno de estos trabajos se refleja información adecuada para utilizar en la guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas que se quiere realizar, la información que se requiere es aquella donde se especifique la importancia de las pequeñas centrales hidroeléctricas, la topografía que se requiere para su

construcción, los recursos hídricos necesarios, las zonas que no tienen este recurso energético.

De estos documentos que se están mencionando se tomara diferente información para poder tener apoyo en la actualización de la guía que se quiere obtener como resultado.

Se puede hablar por ahora del trabajo de grado Políticas para el Aprovechamiento del Potencial Hidro energético en Colombia Mediante Pequeñas Centrales, de la Universidad Nacional, del año 2015, donde mencionan la clasificación de centrales hidroeléctricas, el potencial que tiene Colombia en sus recursos hídricos para poder desarrollar su utilización al máximo.

Explica la clasificación de las pequeñas centrales hidroeléctricas según el mecanismo a utilizar para su buen aprovechamiento, por lo tanto, es parte importante de la información que se requiere para la actualización de la guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia.

También se tiene en cuenta los costos que se pueden generar para el estudio, diseño y construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas, lo cual debe ir en la guía de diseño que se actualizara.

En el trabajo realizado sobre Diseño de una pequeña central hidroeléctrica para el municipio de Pisba, Boyacá, de la Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, del año 2017, se analizará el proceso de diseño realizado y se utilizará como base información sobre la medición de caudales y algunos procesos para

poder aportar información a la actualización de la guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas.

## **9) METODOLOGÍA**

Para poder realizar el desarrollo de la actualización de guías de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia, se indaga en las guías de diseños ya existentes tanto en Colombia como las utilizadas en Guatemala, Canadá y China, para poder tener una base de investigación y llegar a nuestro objetivo.

Adicional se realizarán lecturas donde se observe como se encuentra Colombia en cuanto a la instalación y remanente de las pequeñas centrales hidroeléctricas.

### **9.1) FASE I**

Realizar investigación sobre criterios de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas a nivel nacional e internacional en las áreas de topografía, hidráulica y equipos electromecánicos.

- Se analizan guías de diseño que se tiene en Colombia y otros países, para poder recopilar los requisitos necesarios para la actualización el diseño en cuanto a la topografía, hidráulica y equipos electromecánicos.



- Se debe buscar esta información en países como Canadá, China, Guatemala, entre otros, donde se aplica esta tecnología como generadora de energía renovable.

## **9.2) FASE II**

Analizar diseños existentes de pequeñas centrales hidroeléctricas realizando las visitas técnicas, para observar su funcionamiento y su infraestructura.

- Se buscará información sobre algunas de las pequeñas centrales hidroeléctricas existentes en Colombia para analizarlas, adicional se realizará visita como mínimo a dos pequeñas centrales para su estudio.

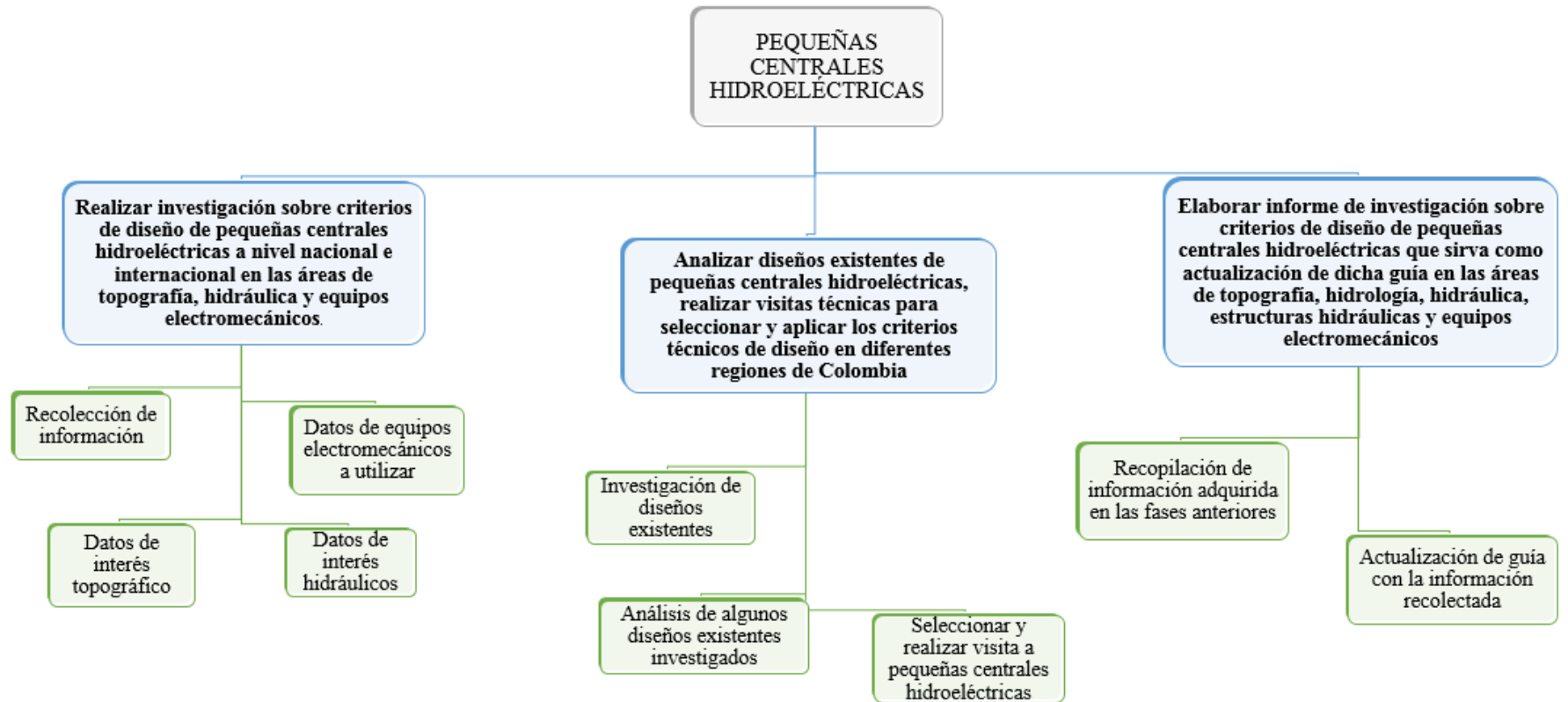
## **9.3) FASE III**

Elaborar informe de la actualización de la guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas en las áreas de hidrología, hidráulica, estructuras hidráulicas y equipos electromecánicos

- Se recopilará la información obtenida por la investigación para poder actualizar la guía de diseño sobre pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia en las áreas de topografía, hidrología, hidráulica, estructuras hidráulicas y equipos electromecánicos.

## **10) DISEÑO METODOLÓGICO**

Se representará el mapa del trabajo a realizar para que tengan claridad de los pasos a seguir y de la metodología que se tendrá. También se presenta el cronograma donde se identificará las actividades a realizar.



## **11) HIDROLOGÍA PARA PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS**

Para el estudio hidrológico que se requiere para el diseño de las pequeñas centrales hidroeléctricas se debe tener en cuenta los siguientes temas a tratar.

### **11.1) ÁREA DE LA CUENCA**

La definición del área de la cuenca se toma de la cartografía que está en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, también se realiza por proyectos de zonificación y codificación de cuencas hidrográficas.

### **11.2) PERÍMETRO DE LA CUENCA**

Es la longitud de la cuenca de la zona a intervenir.

### **11.3) LONGITUD MAYOR DEL RÍO**

Es el mayor recorrido del río desde el punto final hasta la desembocadura.

#### **11.4) LONGITUD MÁXIMA AXIAL DEL RÍO**

Distancia entre un punto fijo, que es la estación del aforo, hasta el cauce más alejado.

#### **11.5) ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA**

Se debe analizar el comportamiento de las lluvias, para determinar cuan abundante es dependiendo los meses del año y graficar también la temperatura.

Con la recopilación de los datos anteriores se tiene bastante información de la cuenca de la zona donde se va a trabajar el diseño de la pequeña central hidroeléctrica. Por lo tanto, se continua con la determinación del caudal.

## 12) MÉTODOS PARA DETERMINAR EL CAUDAL

Para determinar el caudal lo más conveniente es realizar mediciones a diario, pero cuando se torna un poco compleja esta medición, se puede realizar mediciones semanales o mensuales. Para realizar mediciones de caudal se pueden utilizar los siguientes métodos:

- Método Molinete hidrométrico
- Método del flotador
- Método de dilución
- Método con limnígrafo

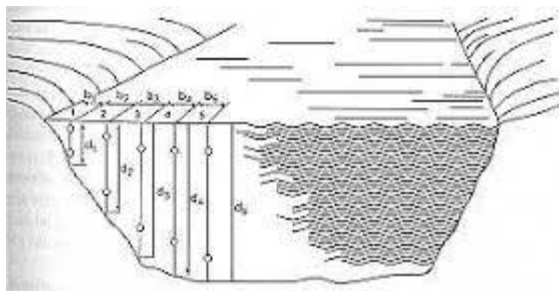
### 12.1) MÉTODO MOLINETE HIDROMÉTRICO

Esta es una medición de área-velocidad. La profundidad del río en la sección transversal se mide en verticales con una barra o sonda. Al mismo tiempo se mide la profundidad, se realizan mediciones de la velocidad con el molinete en uno o más puntos de la vertical. La medición del ancho, de la profundidad y de la velocidad permiten calcular el caudal en cada tramo, y la suma de estos dará como resultado el caudal total. <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Manual medición de caudales, capítulo 11, IDEAM

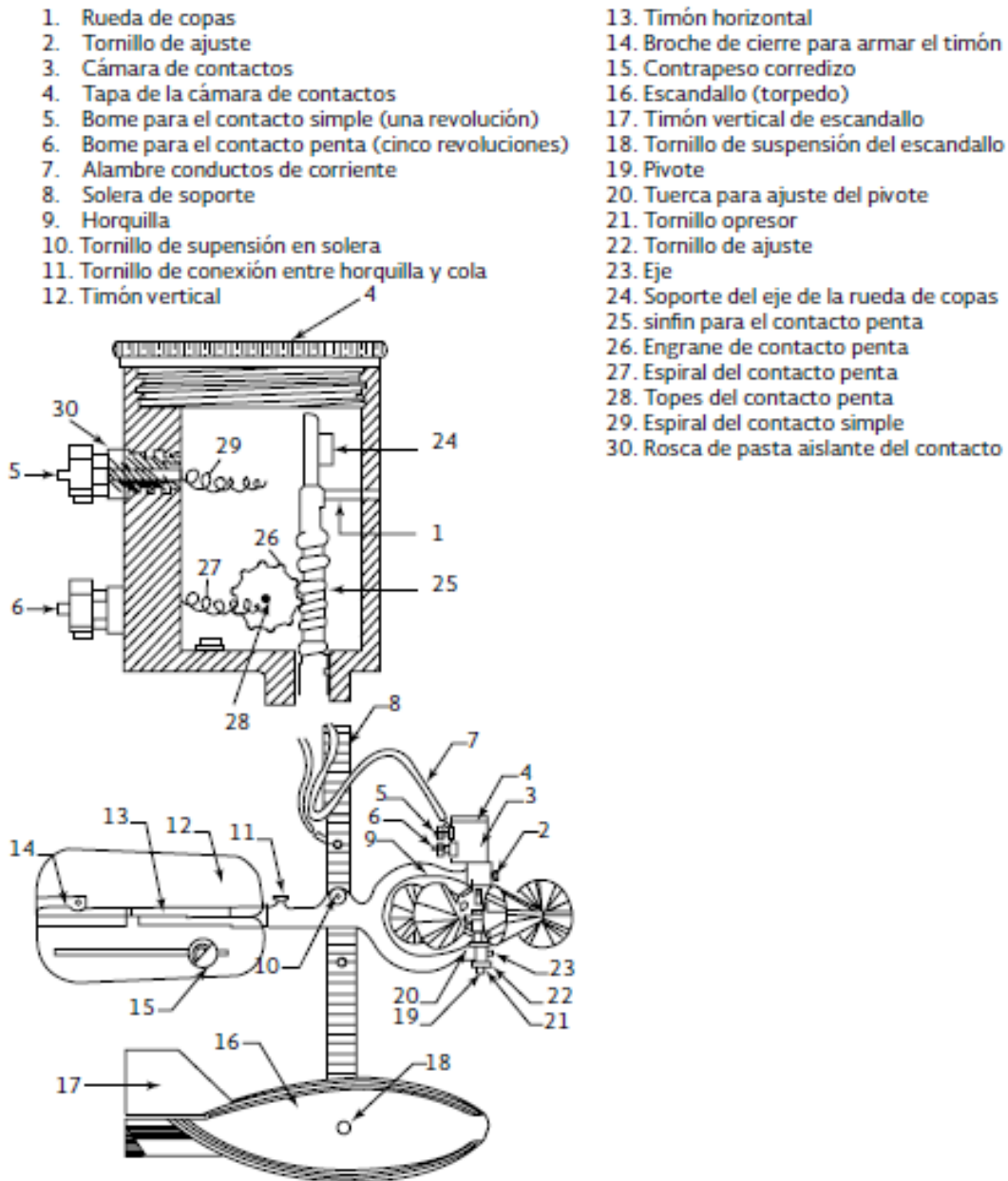
**Figura 2.** Sección transversal



*Fuente. Manual medición de caudales, capítulo 11, IDEAM*



**Figura 3.** Molinete Gurley Tipo Price No. 622



*Fuente. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Sistemas de Medición del Agua: Producción, Operación y consumo, Comisión nacional del agua, México*

## 12.2) MÉTODO DEL FLOTADOR

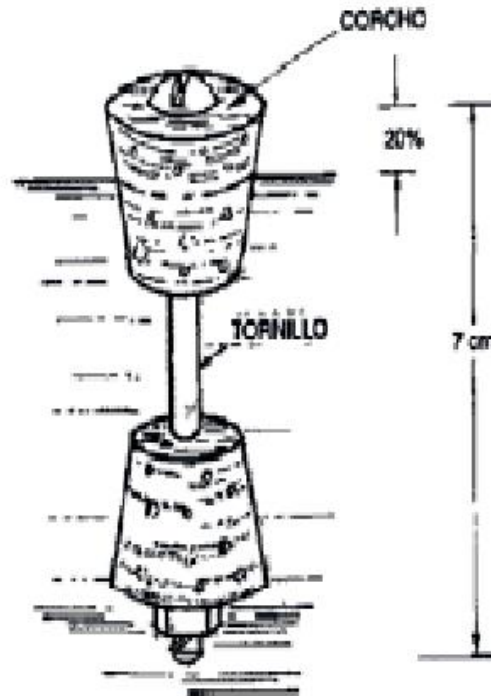
Este método es utilizado cuando las velocidades y profundidades son inadecuadas, la presencia del material en suspensión no permita que se utilice el molinete o por que el caudal se deba realizar en un período de tiempo corto.

Para realizar esta medición se debe seleccionar tres secciones transversales en un tramo recto del curso del agua. Estas secciones transversales deben estar lo suficientemente espaciadas entre sí para medir con exactitud el tiempo necesario para que el flotador pase de una sección transversal a la siguiente. Se recomienda un lapso de tiempo de 20 segundos.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Manual medición de caudales, capítulo 11, IDEAM

**Figura 4.** Flotador semisumergido de corcho lastrado



*Fuente. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Sistemas de Medición del Agua: Producción, Operación y consumo, Comisión nacional del agua, México*

### 12.3) MÉTODO DE DILUCIÓN

Este método depende de la determinación del grado de dilución en el río de una solución trazadora que se añade. Este se recomienda en lugares donde no se pueda utilizar los métodos tradicionales, debido a la poca profundidad de la corriente, grandes velocidades, turbulencia excesiva o presencia de sedimentos.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Manual medición de caudales, capítulo 11, IDEAM

Los dos métodos que utilizan sustancias trazadoras son:

- Método de inyección a ritmo constante.
- Método de inyección instantánea.

Se vierte en la corriente una sustancia trazadora; para hallar el caudal se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Cantidad total de solución vertida
- Concentración del trazador en la solución inyectada
- Concentración del trazador en la corriente después de que se haya diluido completamente en toda la sección transversal.

#### **12.4) MÉTODO CON LIMNÍGRAFO**

Miden el nivel guardando un registro gráfico o digital del mismo a lo largo del tiempo. Este evita la presencia diaria de un operario y permite apreciar la evolución del caudal de un modo continuo.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Departamento Geología Universidad de Salamanca, España

**Figura 5.** Sistemas automáticos de limnógrafo con flotador contrapeso y registrador electrónico



*Fuente. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Sistemas de Medición del Agua: Producción, Operación y consumo, Comisión nacional del agua, México*

## **13) OBRAS HIDRAULICAS PARA PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS**

La captación de agua sobre el cauce de un río es realizada por medio de una estructura hidráulica, que ayuda a impedir que el caudal de diseño sea excedido durante las crecientes y evitar que entren materiales sólidos. La mejor ubicación de estas estructuras es en la parte recta del río o en una curva en dado caso.

### **13.1) BOCATOMA**

Para el diseño de esta estructura se debe tener en cuenta la topografía, geología, comportamiento de los suelos y las variaciones hidrológicas. También se debe tener en cuenta la altura del nivel de agua. <sup>5</sup>

Esta debe garantizar la captación del agua para mantener un caudal constante y evitar captar el mínimo de sólidos y material flotante.

Presentar aguas abajo suficiente capacidad de transporte para evitar la sedimentación.

---

<sup>5</sup> Recomendaciones para el diseño, construcción e instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas, Costa Rica

**Figura 6. Bocatoma**



*Fuente. Laboratorio de hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales*

### **13.2) CANAL DE ADUCCIÓN**

El canal de aducción cumple la función de conducir el caudal de diseño desde la bocatoma hasta la cámara de carga pasando por el desarenador.

Los canales tienen forma rectangular, trapezoidal y circular, pueden ser abiertos o cerrados. Después de determinar la forma del canal se continúa con su diseño y definición de las dimensiones y la pendiente que debe llevar desde el inicio hasta el final.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Recomendaciones para el diseño, construcción e instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas, Costa Rica

**Figura 7.** Canal de aducción



*Fuente. Informe mejoramiento del sistema de captación-aducción*

### **13.3) DESARENADOR**

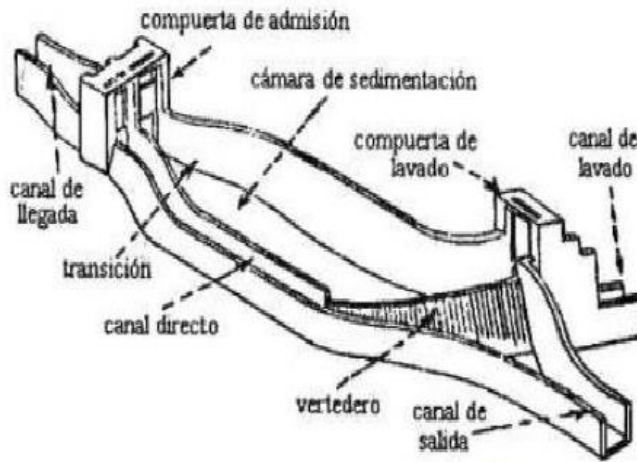
Su función es sedimentar las partículas de arena que lleva el agua a través del canal de conducción. El diseño del desarenador depende del tipo y del tamaño de las partículas que transporta el agua; se determina que cerca de la bocatoma debe construirse un desarenador y dependiendo de la longitud que exista hasta la cámara de carga se puede llegar a necesitar otro desarenador.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Recomendaciones para el diseño, construcción e instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas, Costa Rica



**Figura 8.** Desarenador



*Fuente. Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*

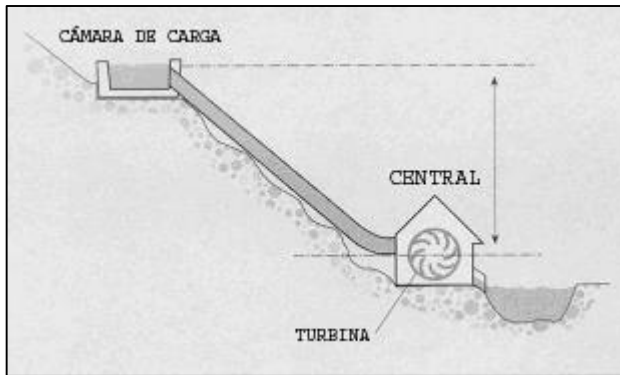
### **13.4) CÁMARA DE CARGA**

La cámara de carga actúa como reserva de agua adicional para mantener la presión de caída de la tubería. Esta requiere de una entrada de agua continua para mantener su nivel máximo.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Recomendaciones para el diseño, construcción e instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas, Costa Rica

**Figura 9.** Cámara de carga

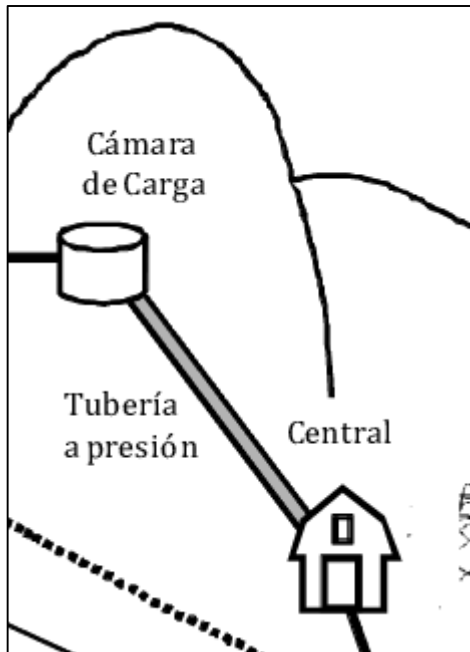


*Fuente. Guía minihidráulica*

### **13.5) TUBERÍA DE PRESIÓN**

La tubería de presión es la que transporta el agua desde la cámara de carga hasta las turbinas.

**Figura 10.** Tubería de presión



*Fuente. Esquema de un aprovechamiento hidroeléctrico fluyente*

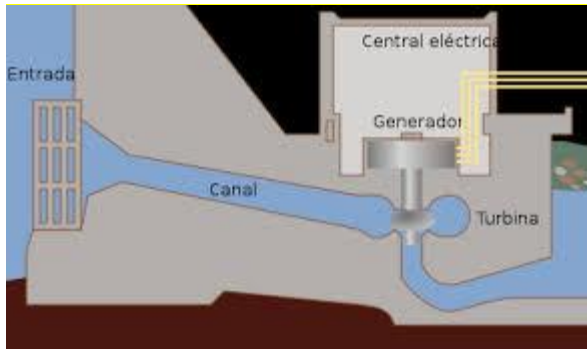
### **13.6) ANCLAJES Y APOYOS SIMPLES**

La tubería que está dispuesta desde la captación hasta la casa de máquinas para conducir el agua a presión debe estar soportada por unos apoyos, que son bloques en concreto.

### 13.7) CASA DE MÁQUINAS

La casa de máquinas de una pequeña central hidroeléctrica está compuesta por una turbina, un generador y el tablero de controles.

**Figura 11.** Casa de máquinas



*Fuente. Estudio de prefactibilidad para la construcción de una pequeña central hidroeléctrica*

Para el desarrollo de estos conceptos se anexa un estudio realizado en el departamento de Nariño por la empresa Gamma Ingenieros S.A.S.

## 14) CÁLCULO DE LA CAPTACIÓN DE AGUA

### 14.1) TOMA DE AGUA

Para realizar estos cálculos se tendrán en cuenta los siguientes datos:

- Ancho de quebrada de 4m
- Caudal mínimo (Qm) 0,7m<sup>3</sup>/s
- Toma de agua un día (24horas)
- Ancho efectiva bocatoma 2,0m

$$H_b = \frac{Q_m^{\frac{2}{3}}}{1,84 * L}$$

H<sub>b</sub> = Altura de la bocatoma

L = Ancho efectiva bocatoma

$$H_b = \frac{0,7^{\frac{2}{3}}}{1,84 * 2}$$

$$H_b = 0,33$$

H<sub>b</sub> se realiza una aproximación a 0.40m

La cantidad de almacenamiento de agua en un día (24 horas) es de 60.480m<sup>3</sup>

## 14.2) VELOCIDAD DEL AGUA

$$V_b = \frac{Q}{2 * B * H}$$

V<sub>b</sub> = Velocidad del agua en la bocatoma

$$V_b = \frac{0,7}{2 * 0,40}$$

$$V_b = 0,88 \text{ m/s}$$

La velocidad obtenida es superior a 0,3 m/s e inferior a 3m/s, es caracterizado como un diseño aceptable.

## 14.3) CANAL COLECTOR

$$X_s = \frac{2}{3} H + 0,6 H^{\frac{4}{7}}$$

$$X_i = \frac{4}{7} H + 0,6 H^{\frac{3}{4}}$$

$$B = X_s + 0,1$$

X<sub>s</sub> = Alcance filo superior (m)

X<sub>i</sub> = Alcance filo inferior (m)

H = Profundidad de la lámina de agua sobre la presa (m)

B = Ancho del canal colector (m)

Se reemplazan las ecuaciones,

$$Q_2 = 0,88^{\frac{2}{3}} + 0,6 * 0,4^{\frac{4}{7}}$$

$$Q_2 = 1,27$$

$$Q_1 = 0,88^{\frac{4}{7}} + 0,6 * 0,4^{\frac{3}{4}}$$

$$Q_1 = 1,23$$

$$Q = 1,27 + 0,1$$

$$Q = 1,37$$

Se realiza aproximación para un medida justa y B sería 1,50m

#### 14.4) CÁLCULO DE LA TUBERÍA

Cálculo del diámetro de la tubería (d)

$$d = 0,52 * Q^{\frac{-1}{7}} * \frac{P^{\frac{3}{7}}}{H}$$

P = Potencia estimada en KW

H= Altura del sistema

$$d = 0,52 * 150^{\frac{-1}{7}} * \frac{1176^{\frac{3}{7}}}{150}$$

$$d = 0,614 = 614,3 \text{ mm}$$

## 15) EQUIPOS ELECTROMECHANICOS

### 15.1) TURBINAS HIDRÁULICAS

Las turbinas hidráulicas son el mecanismo que actúan en el proceso de transformar la energía de un fluido en energía eléctrica. Para seleccionar el tipo de turbina a utilizar se debe tener en cuenta la relación existente entre el salto de agua, es decir, diferencia de altura entre la laguna y la turbina, y la cantidad de agua que recibe la turbina. Otros criterios que se deben tener en cuenta para la selección de la turbina es su eficiencia, capacidad, facilidad de conseguir repuestos, velocidad de embalaje, cavitación y costo.<sup>9</sup>

Se pueden encontrar 3 tipos de turbinas hidráulicas:

- Turbina Pelton
- Turbina Francis
- Turbina Kaplan

---

<sup>9</sup> Recomendaciones para el diseño, construcción e instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas, Costa Rica



## 15.2) TURBINA PELTON

En este tipo de turbinas el agua cae desde una altura determinada por una galería hasta llegar al distribuidor, está formado por una o varias entradas al rodete. El rodete es el anillo formado por alabes llamados en este caso cangilones. En estas turbinas coinciden el sentido de proyección del chorro de agua con el sentido de giro del rodete. La velocidad del agua a la entrada y salida del rodete es prácticamente la misma, siendo poco apreciable las pérdidas de carga.

**Figura 12.** Turbina Pelton

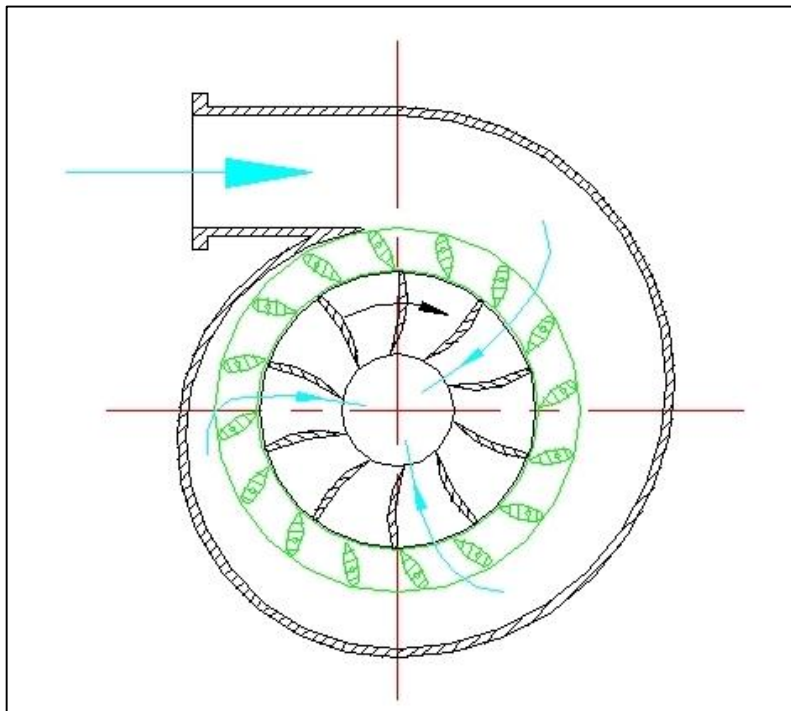


*Fuente. Tipos y características de turbinas*

### 15.3) TURBINA FRANCIS

La turbina Francis es una de las más utilizadas por su versatilidad. El distribuidor de esta turbina está compuesto por alabes directrices móviles que regulan el caudal de agua que se dirige al rodete. El agua de la tubería a presión entra perpendicularmente al eje de la turbina y sale paralelamente a él.

**Figura 13.** Turbina Francis



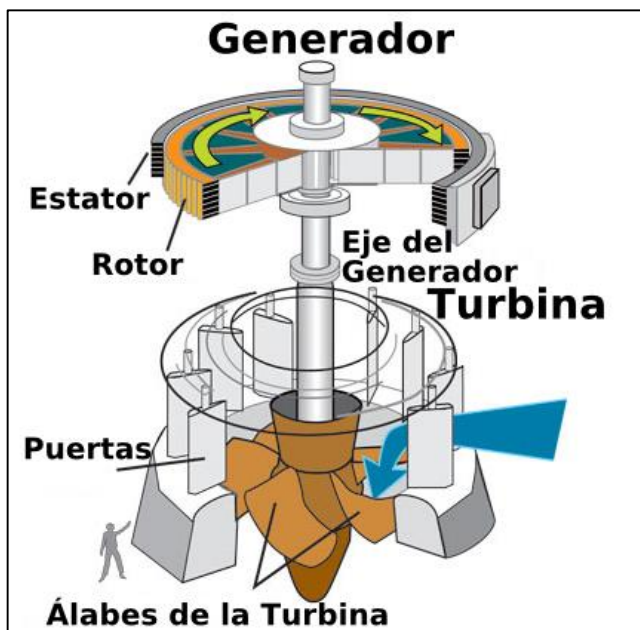
*Fuente. Tipos y características de turbinas*

En estas turbinas la dirección de entrada y salida del agua no coincide con el sentido de giro del rodete, pues, al pasar por el rodete cambia de dirección, velocidad y presión. La potencia producida irá en función de la carga perdida por el agua en su desplazamiento.

#### 15.4) TURBINA KAPLAN

La turbina Kaplan, también conocida como, turbina de reacción. El distribuidor de agua está formado por álabes fijos o regulables.

Figura 14. Turbina Kaplan



*Fuente. Tipos y características de turbinas*

Estas emplean el mismo sistema que las Turbinas Francis, es decir, utilizan energía cinética y de presión para mover el rodete y la presión del agua a la salida es inferior a la de la entrada. Antes de llegar el agua al rodete, parte de la energía de presión que trae el agua en su caída se transforma en energía cinética en el distribuidor generando, de esta manera, energía eléctrica mediante un generador.<sup>10</sup>

### **15.5) SELECCIÓN DE TURBINAS**

Las turbinas hidráulicas más utilizadas en pequeñas centrales hidroeléctricas deben ser seleccionadas de modo que se obtenga facilidad de operación y mantenimiento, donde su gran importancia se debe a su robustez.

Así mismo para escoger una turbina se debe analizar:

- Su precio, las garantías ofrecidas por el fabricante en cuanto a atención inmediata en caso de presentarse problemas de operación en la máquina, y un pronto cambio de los elementos dañados.
- También deben permitir el aprovechamiento de cualquier salto, cualesquiera que sean la altura y el caudal disponible.

---

<sup>10</sup> Tipos y características de turbinas

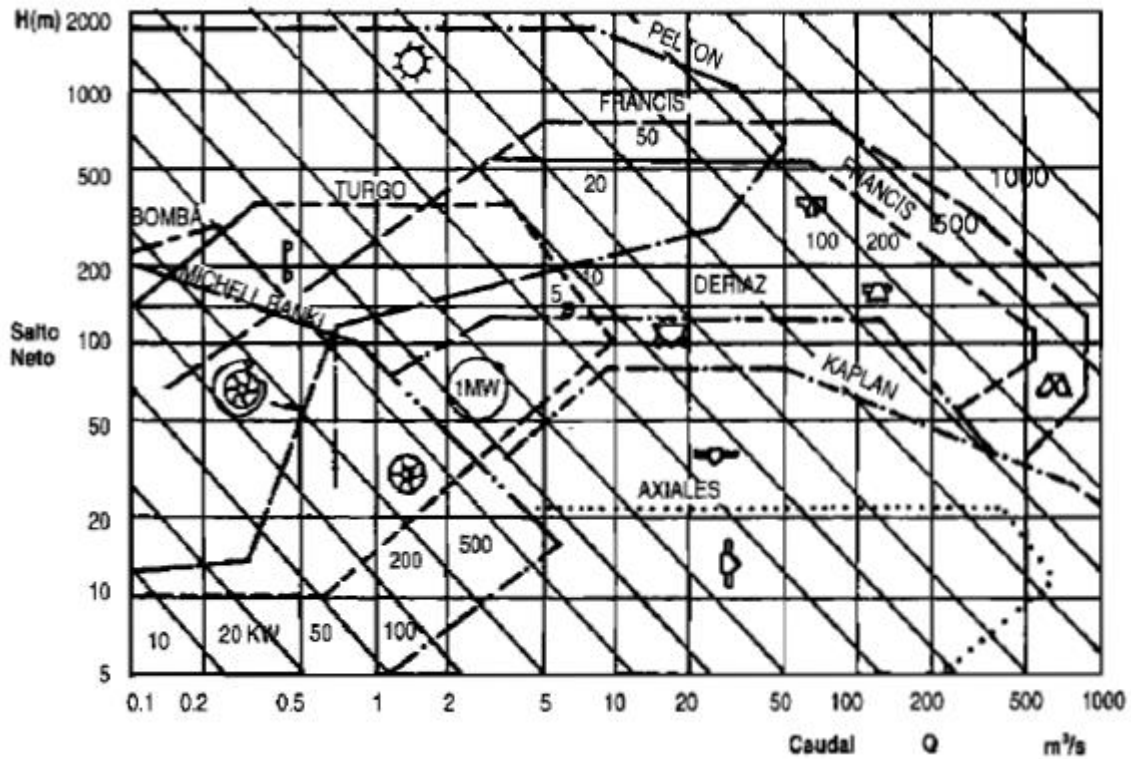
- El aprovechamiento ha de efectuarse con rendimiento elevado, aunque sean variables las condiciones de salto (nivel y caudal) para que la instalación sea rentable en todos los casos.
- El eje podrá disponerse vertical u horizontal según lo exija el acoplamiento directo a las transmisiones o a los alternadores.
- La velocidad angular debe ser lo más alta posible para conseguir de este modo transmisiones mucho más ligeras.
- Deben poderse regular bien, a fin de que sean adecuadas para pequeñas centrales hidroeléctricas y otros usos.

Una vez obtenida la caída en metros y la descarga en metros cúbicos por segundo se puede encontrar el tipo de turbina recomendado para el aprovechamiento en estudio, para esto se puede acudir al siguiente diagrama, donde están representadas en carácter orientativo los rangos de utilización de cada turbina.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> Guía de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas, Bogotá, Colombia, 1997

**Figura 15.** Diagrama de selección de turbinas hidráulicas



*Fuente. Manual de mini y micro centrales hidráulicas*

## 15.6) GENERADORES

Para seleccionar el generador que se debe tener en cuenta la estabilidad del voltaje y la frecuencia que brinde.

Tenemos dos tipos de generadores:

- Generador síncrono
- Generador asíncrono

**15.6.1) Generador síncrono.** El generador síncrono suministra a la red tanta más potencia, cuanto con más fuerza es accionado. Conectado a una red estable, es decir, cuya frecuencia es fija, al aumentar la carga la rueda polar mantiene su velocidad, pero aumenta el adelanto o ángulo de carga respecto al campo rotativo.

Los generadores acoplados a la red actúan como condensadores si están sobreexcitados y como inductancia en caso contrario.

Un generador síncrono se puede conectar en paralelo con otros generadores síncronos o bien con una red, si los valores instantáneos de las tensiones en bornes de los dos generadores a acoplar son permanentemente iguales. Por lo tanto, son necesarias igualdad de sucesión de fases, igualdad de fase, igualdad de frecuencia e igualdad de valor efectivo de las tensiones.<sup>12</sup>

**15.6.2) Generador asíncrono.** El generador asíncrono debe ser excitado por la red, pues de no serlo no podría haber campo rotativo rotórico. No es posible, pues, un control de la potencia reactiva, como en los generadores síncronos.

Luego los generadores asíncronos toman de la red potencia reactiva y suministran potencia activa y su velocidad de giro es siempre superior a la del campo rotativo.

Los generadores asíncronos se emplean en pequeñas centrales.<sup>13</sup>

---

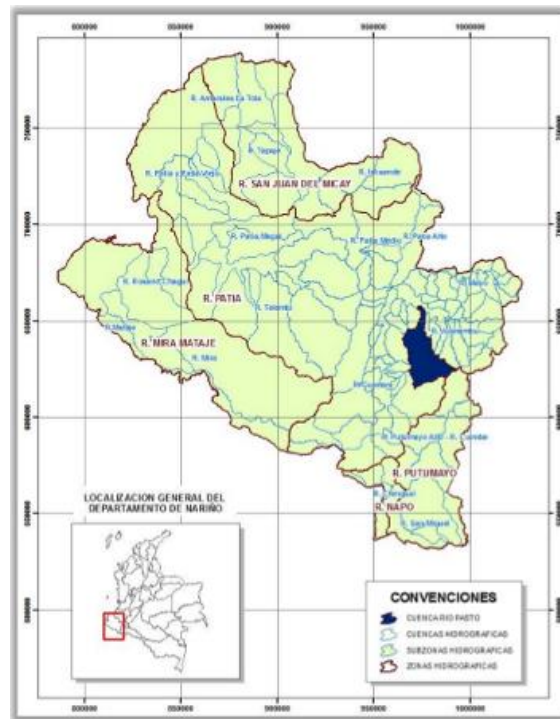
<sup>12</sup> Guía de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas, Bogotá, Colombia, 1997

<sup>13</sup> Guía de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas, Bogotá, Colombia, 1997

## 16) ESTUDIOS EN LA CUENCA DEL RÍO PASTO, NARIÑO

### 16.1) LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO DE LA FUENTE

**Figura 16.** Localización general de la cuenca del río Pasto



*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

COORDENADAS

N 10 21´36,72+

W 770 ´17,03.01+

El proyecto está ubicado en el Municipio de CHACHAGUI a 43 kilómetros al norte de la capital del Departamento de Nariño. El municipio limita por el norte con Taminango y San



Lorenzo, por el sur con la ciudad de Pasto, occidente con El Tambo y la Florida y por el oriente con Buesaco. Su altura sobre el nivel del mar es de 1.950 m.s.n.m. la temperatura media es de 20 grados, su precipitación media anual es de 2.072 milímetros y el área municipal es de 152 kilómetros cuadrados. El municipio es bañado por ríos como: RÍO PASTO, JUANAMBU, BERMUDEZ y otras quebradas menores.

## **16.2) CARTOGRAFÍA**

Después de la visita a la zona del estudio en mención, se adquirió la cartografía existente de la zona, mapas topográficos, restituciones aerofotogrametrías, imágenes satelitales y en general toda la información que se requería para la identificación de la posible fuente hídrica, el RIO PASTO. Se realizaron las siguientes actividades:

- Consulta y digitalización de las planchas 410 IV a, d, c, 429 II a, b, c, d, 429 I a, c, 429 III b, 429 IV a, b, a escala 1: 25.000 las cuales se realizaron en el software AUTO DESK MAP 2012, en formato DWG.
- Georreferenciar las planchas en el datum MAGNA COLOMBIA OESTE.
- Procesar información satelital SPOT 5 del año 2011
- Procesar información de modelo digital de terreno MDT SRTM y ASTGTM2 de la NASA de 30 y 10 m X pixel

- Homologar el datum de las planchas con la información de sensores remotos para conservar la misma área de trabajo.
- Exploración del área topográfica.
- Ubicación de puntos para la materialización de placas geodésicas.

Toda la información anteriormente relacionada se encuentra corregida y orto rectificada y migrada al sistema de coordenadas MAGNA SIRGAS de datum MAGNA COLOMBIA OESTE.

## **17) HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO PASTO, NARIÑO**

### **17.1) PARÁMETROS FISIAGRÁFICOS.**

**17.1.1) Área de la cuenca (fuente Ideam).** La delimitación de la cuenca del Río Pasto fue retomada de los resultados cartográficos generados por el proyecto de zonificación y codificación de cuencas hidrográficas del Departamento de Nariño (2007), el cuál fue manejado de acuerdo a las disposiciones vigentes frente al tema, establecidas por el IDEAM y es liderado por la Subdirección para la Intervención y Sostenibilidad Ambiental de Corponariño. La base cartográfica digital utilizada es del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, desarrollado con planchas número 429 y 410 a escala 1:100.000, que abarcan la cuenca del río Pasto.

**17.1.2) Perímetro de la cuenca (fuente Ideam).** La longitud del contorno del área de la cuenca del río Pasto, es de 134,13 Km.

**17.1.3)** Longitud mayor del río (fuente Ideam). Es el mayor recorrido que realiza el río desde el punto final de la quebrada las tiendas hasta su desembocadura y presenta una longitud de 64,89 Km.

**17.1.4)** Longitud máxima axial del río (fuente Ideam). Se denomina a la distancia entre un punto fijo (estación de aforo) hasta el cauce más alejado que se encuentra en el divisor topográfico. Se considera el 90% de la longitud del río principal y su valor es de 58,39 Km.

**17.1.5)** Datos enviados por la topografía hasta el sitio de bocatoma pch.

Área: 468.6 Km<sup>2</sup>

Perímetro: 120.35 km

Longitud Axial: 38.13 km

Longitud Cauce Principal: 57.12 Km

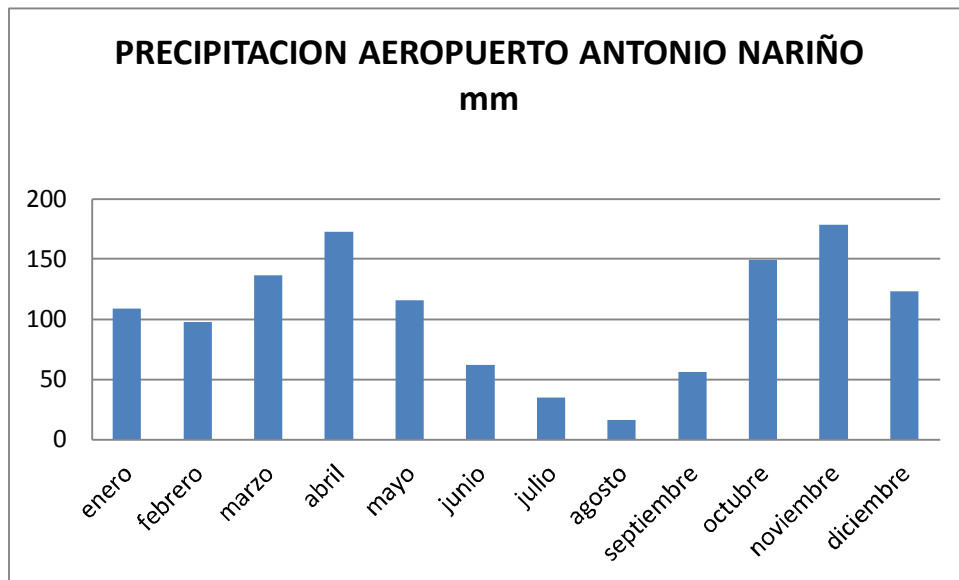
**17.1.6)** Datos enviados por la topografía hasta estación providencia Ideam

Área: 457.3 Km<sup>2</sup>

## 17.2) ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN

El comportamiento de las lluvias es de tipo bimodal, con períodos de precipitación entre los meses de Marzo a Mayo y Octubre a Diciembre con épocas intermedias de menos precipitación, especialmente entre Junio y Septiembre. Respecto a la distribución de las lluvias muestra en los alrededores de la ciudad de Pasto (Parte alta de la cuenca) precipitaciones de 800 mm/añual, con un incremento en la cantidad de las lluvias caídas hacia el páramo de Bordoncillo al suroriente de la cuenca (1500 mm/añual) y en el volcán de Galeras al suroccidente (1000 . 1200mm/añual).

**Figura 17.** Precipitación en mm Estación Antonio Nariño



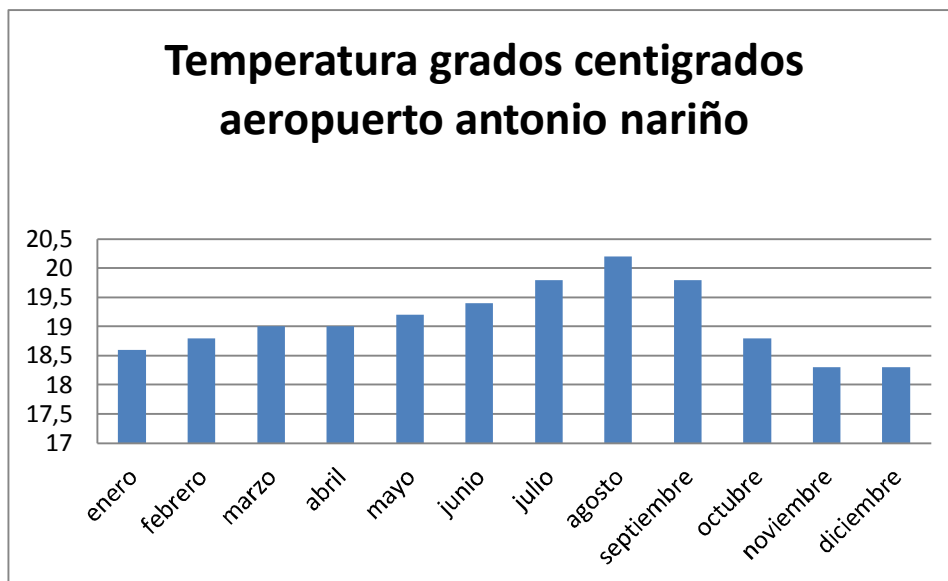
Fuente.Datos IDEAM

De acuerdo con los datos de la estación Antonio Nariño, estación más cercana al proyecto se puede definir que es de régimen bimodal, teniendo los meses más lluviosos Abril y Noviembre y los meses más secos, Julio y Agosto.

### 17.3) ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA

Con datos del IDEAM se grafica la distribución de la temperatura estación aeropuerto Antonio Nariño.

**Figura 18.** Temperatura grados centígrados Estación Antonio Nariño



*Fuente. Datos IDEAM*

De acuerdo con la Estación Antonio Nariño, se observa grafica mono modal con temperaturas máximas en el mes de agosto.

**Tabla 1.** Datos de temperatura MEDIA MULTIANUAL estación aeropuerto Antonio Nariño pasto

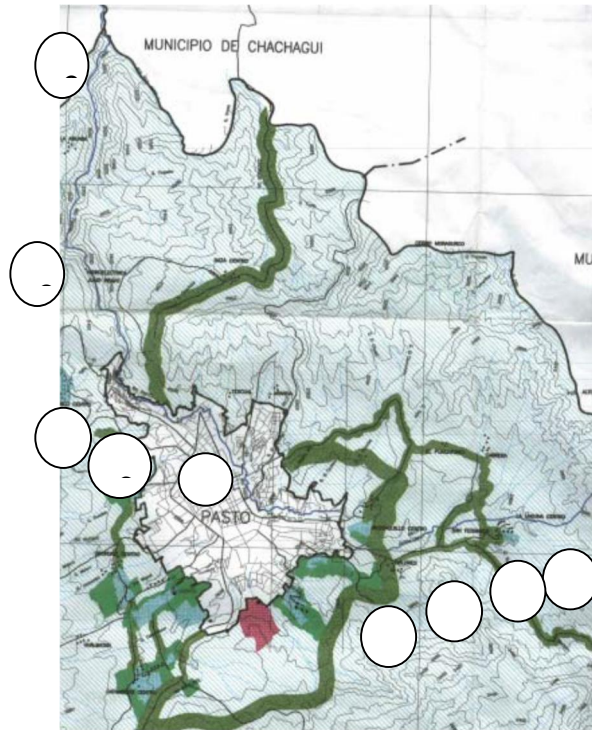
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUNIO	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC
TEMP	18.6	18.6	19	19	19.2	19.4	19.8	20.2	19.8	18.8	18.3	18.3

*Fuente. Datos IDEAM*

La temperatura máxima es en Agosto con 20.2 grados en promedio.

## 17.4) ESTACIONES DEL IDEAM Y SUS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

**Figura 19.** Mapa estaciones de caudal Río Pasto



*Fuente. estudio para la implementación de la tasa retributiva por vertimientos en la cuenca del río pasto Mauricio Hernando Bastidas Bedoya, universidad nacional Corponariño, 2002*

Luego de analizar las 10 estaciones de caudales en el río Pasto del estudio de tasas retributivas Ver tabla 3 y teniendo en cuenta que de esas estaciones solo 3 estaciones el IDEAM registra y publica caudales desde el año 1990 ver (tabla No 2).

Teniendo en cuenta que 3 estaciones, la estación más cercana a la BOCATOMA PCH NARIÑO 1, es la estación Providencia, se selecciona esta estación PROVIDENCIA, por



ser la más representativa, cercana y de igual rendimiento en (L/S/KM2) al sitio de bocatoma del proyecto PCH NARIÑO I.

**Tabla 2.** Estaciones Ideam río pasto

código	Estaciones	Área km2
5204701	Universidad	177
5204703	Bocatoma centenario	81
5204704	Providencia	457,3
Proyecto PCH	Bocatoma PCH Taminango	468,6

*Fuente. Datos IDEAM*

De las estaciones del IDEAM ubicadas en el río Pasto se tienen 3 las cuales se encuentran enunciadas en la tabla 4

**17.4.1) Estaciones bocatoma centenaria Ideam.** La estación que está ubicada aguas arriba es la estación bocatoma centenario, la cual tiene un caudal medio 1.54 m<sup>3</sup>/s, esta instrumentada desde el año 1989 a 2011, los resultados de estos caudales se muestran en el anexo, en la tabla se muestra los datos de caudal en m<sup>3</sup>/s y en grafica se muestra grafica elaborada por la consultoría con datos del IDEAM.

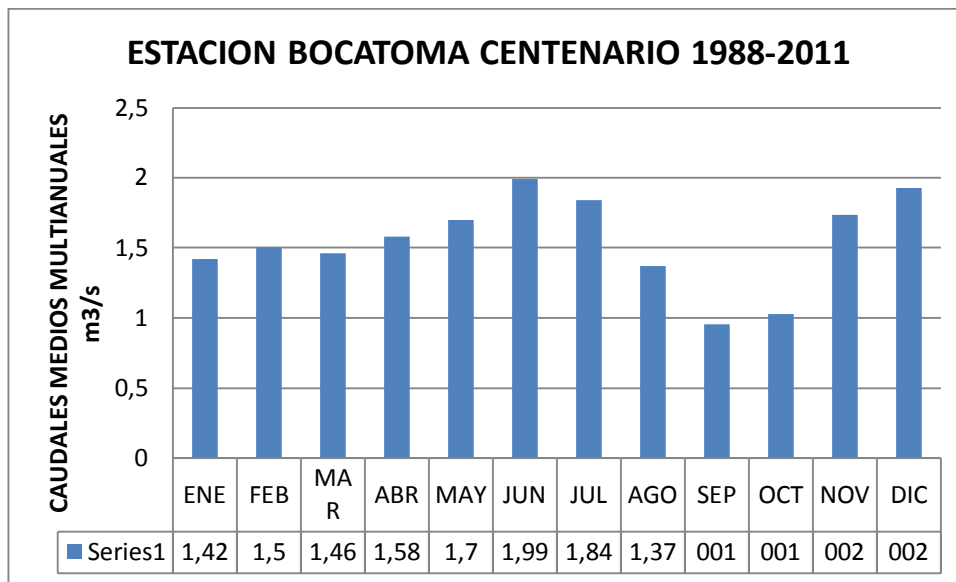
**Tabla 3.** Caudales medios mensuales

CAUDALES MENSUALES MEDIOS MULTIANUALES ESTACION BOCATOMA CENTENARIO m <sup>3</sup> /s											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1,42	1,5	1,46	1,58	1,7	1,99	1,84	1,37	0,96	1,03	1,74	1,93

*Fuente. Datos IDEAM*

En la tabla y en la figura se observa, que los caudales más altos se presentan en los meses Junio y Diciembre y los meses con valores más bajos son septiembre y octubre, adicionalmente es de régimen bimodal y coinciden el régimen bimodal de la precipitación.

**Figura 20.** Mapa estaciones de caudal Río Pasto



*Fuente. Datos IDEAM*

**17.4.2) Estación universidad.** La estación universidad está identificada por el código 5204701, un área tributaria de 177 km<sup>2</sup>, el caudal medio es 3.39 m<sup>3</sup>/s, tiene un rendimiento medio de 19.3 L/s/km<sup>2</sup> (1965-2011), la elevación media es 2590 msnm.

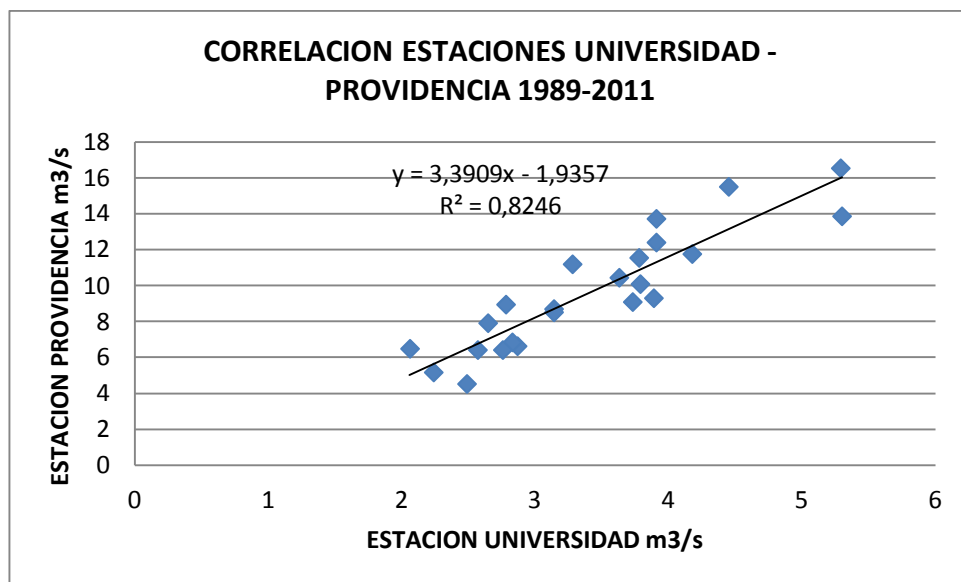
**Tabla 4.** Estaciones Ideam rio pasto

CAUDALES MENSUALES MEDIOS MULTIANUALES ESTACION UNIVERSIDAD m <sup>3</sup> /s											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
3,36	3,45	3,52	4,01	3,45	3,47	3,56	2,63	0,96	2,28	3,91	4,08

*Fuente. Datos IDEAM*

**17.4.3)** Grafica de caudales estación universidad. En la tabla anterior y en la gráfica se puede observar que es régimen bimodal teniendo los valores más altos de caudal en abril y diciembre y los valores más bajos en agosto y septiembre se realizó correlación ortogonal entre la estación Universidad y la estación Providencia, observándose una aceptable correlación.

**Figura 21.** Correlación estaciones universidad-providencia



Fuente. Datos IDEAM

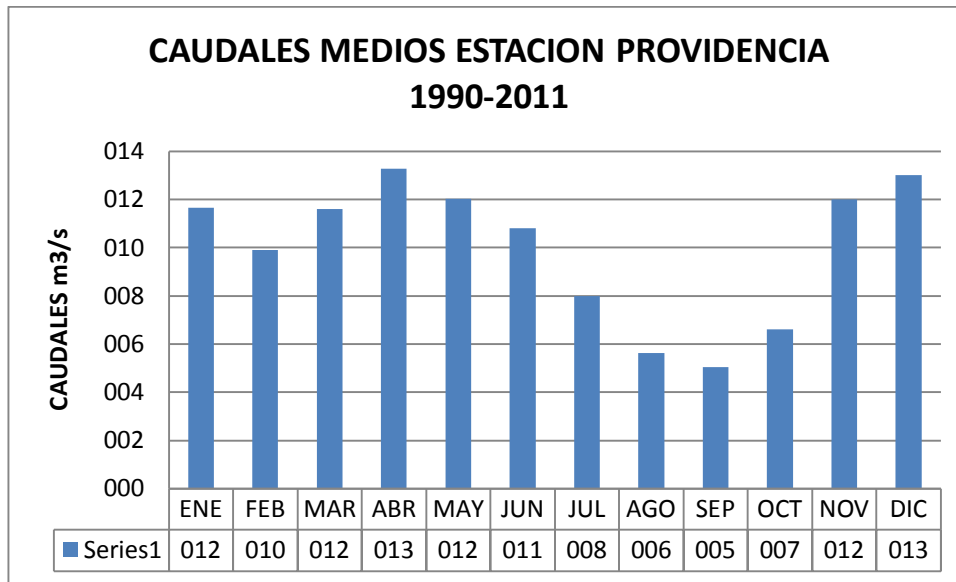
**17.4.4) Estación providencia.** La estación providencia está identificada por el código 5204704, un área tributaria de 457.3, el caudal medio es 9.2 m<sup>3</sup>/s (1990-2011), tiene un rendimiento medio de 20.1 L/s/km<sup>2</sup> (1990-2011), la elevación media es 1200 msnm.

**Tabla 5.** Caudales medios m<sup>3</sup>/s estación providencia

enero	11,65
febrero	9,91
marzo	11,59
abril	13,27
mayo	12,03
junio	10,81
julio	8,00
agosto	5,62
septiembre	5,03
octubre	6,62
noviembre	12,00
diciembre	13,00

*Fuente. Datos IDEAM*

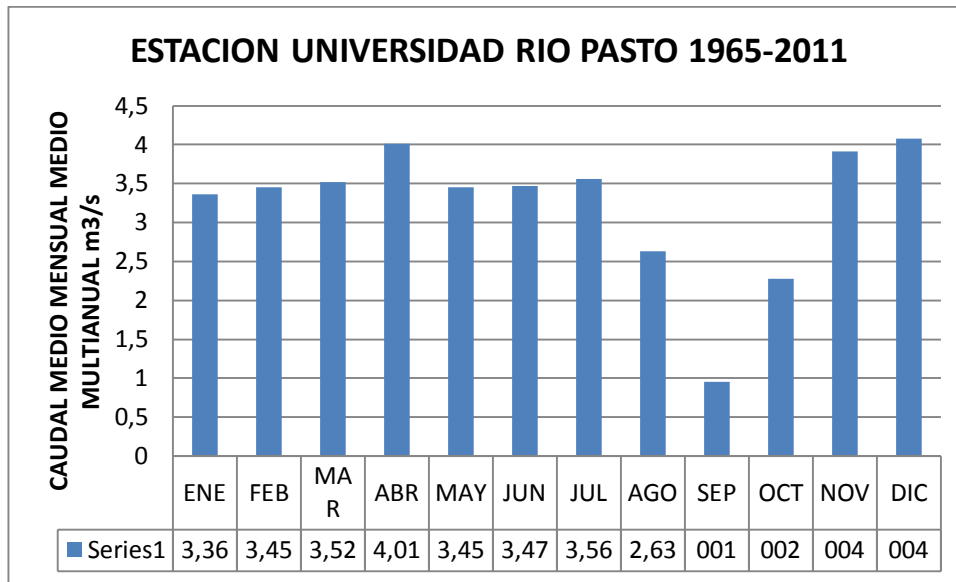
**Figura 22.** Caudales medios estación providencia



*Fuente. Datos IDEAM*

La variación de caudales estación providencia es bimodal, donde el caudal máximo se presenta en abril con 13.27 m<sup>3</sup>/s, y el valor más bajo medio mensual es de 5.03 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 23.** Caudales medios estación providencia



Fuente. Datos IDEAM

### 17.5) BALANCE HÍDRICO

De acuerdo a los términos de referencia se presenta el balance hídrico, el cual se utiliza exclusivamente para riego, se determinó con la precipitación estación aeropuerto, y se calculó evapotranspiración método thorthwaite, se observa que tiene exceso desde mayo a octubre y déficit (necesidad de riego entre junio a septiembre, para el caso de cálculo para pequeña central hidroeléctrica se utiliza directamente el caudal que pasa por la bocatoma deducido de la estación providencia, en este punto ya se tiene el balance hídrico referente a la precipitación media de la cuenca, la evaporación y la infiltración el resultado es el caudal.

**Tabla 6.** Balance hídrico

✓ **BALANCE HIDRICO (METODO DIRECTO)**, este

P Media ETP Thorthwaite Rmax= 100 mm

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
P	149,2	178,6	123	108,6	97,8	136,6	172,4	115,9	62,2	34,8	16,1	55,9
ET	99,98	89,81	92,53	75	70	76	70	70	68	68	71	71
P-ET	49,22	88,79	30,47	33,6	27,8	60,6	102,4	45,9	-5,8	-33,2	-54,9	-15,1
R	100	100	100	133,6	161,4	100	100	100	100	100	100	100
VR	100	0	0	33,6	27,8	-61,4	0	0	0	0	0	0
ETR	99,98	89,81	92,53	22	70	76	70	70	68	68	71	71
F	0	0	0	53	0	0	0	0	0	0	0	0
Ex	-50,78	88,79	30,47	0	0	122	102,4	45,9	-5,8	-33,2	-54,9	-15,1

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

P : precipitación media o mediana mensual

ET : evapotranspiración (potencial o de referencia)

P-ET : diferencia entre la P y la ET

R : reserva

VR : variación de la reserva

ETR : evapotranspiración real

F :falta

$Ex_i = [P_i - ET_i - VR_i]$  si  $(P_i - ET_i) > 0$

$Ex_i = 0$  si  $(P_i - ET_i) \leq 0$



$$F_i = E_{Ti} - E_{TRi}$$

b) para el caso de balance hídrico promedio anual se utiliza la fórmula:

Formula de Balance Hídrico

Dónde:

P = Precipitación media de la cuenca

ETR = Evapotranspiración Real

Ed = Escurrimiento directo

I = Infiltración

Para este método el valor de la precipitación anual es de 1251 mm/año estación aeropuerto Antonio Nariño

Y el escurrimiento directo medido por más de 20 años por IDEAM, es de 9.2 m<sup>3</sup>/s promedio anual, en este caso incluyendo la precipitación y disminuyendo la Evapotranspiración real y la infiltración.

## 17.6) CALIDAD DE AGUA RIO PASTO

**Tabla 7.** Calidad de agua dbo (Demanda Bioquímica de Oxígeno)

DBO5 (mg/L) río pasto estudiados para tasas retributivas						
PUNTOS DE MUESTREO	KM	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	SEPT
1- ESTACION EL RETIRO	0	2.9	3.25	6	13.4	4.1
2- ESTACION EL TAMBOR	4	7.25	5.1	9.7	24	4.9
3- BOCATOMA EL CENTENARIO	8	8	5.5	11.9	39	4.4
4- ESTACION LA CAROLINA	10	363	67.5	152	192	43
5- ESTACION DOS PUENTES	13	324	270	342	384	398
6- ESTACION MORASURCO	15	259	439	375	576	330
7- ESTACION UNIVERSIDAD DE NARIÑO	16.5	252	225	405	768	191
8- ESTACION HIDROELECTRICA J.B	22.5	498	450	322	384	173
9- ESTACION PROVIDENCIA	38.5	189	120	165	218	113
10 - ESTACION LA ENSILLADA	52.5	351	113	121	192	47

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

En la calidad de agua analizada en las estaciones 1,2 y 3 se observa que el DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) es bajo, en las estaciones 4,5 y 6 se observan valores

más altos de DBO que indican mayor contaminación esto debido al paso del río Pasto por el municipio de Pasto., en las estaciones 7, 8 y 9 se disminuye el DBO por dispersión, la estación 9 corresponde a la estación Providencia cercana a la bocatoma del proyecto PCH NARIÑO I.

**Tabla 8.** Calidad de agua sst (sólidos suspendidos totales)

SST (mg/L) río pasto estudiados para tasas retributivas						
PUNTOS DE MUESTREO	KM	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	SEPT
1- ESTACION EL RETIRO	0	3.5	3	34	5	4.9
2- ESTACION EL TAMBOR	4	5.5	14	7	7	5.2
3- BOCATOMA EL CENTENARIO	8	9	18	2	13	2
4- ESTACION LA CAROLINA	10	10	23	42	9	6
5- ESTACION DOS PUENTES	13	222	238	140	68	272
6- ESTACION MORASURCO	15	90	226	163	49	182
7- ESTACION UNIVERSIDAD DE NARIÑO	16.5	160	170	330	33	70
8- ESTACION HIDROELECTRICA J.B	22.5	139	52	240	68	60
9- ESTACION PROVIDENCIA	38.5	40	80	263	30	20
10 - ESTACION LA ENSILLADA	52.5	76	72	241	85	24

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

En la calidad de agua analizada en las estaciones 1,2, 3 y 4 se observa que el SST (sólidos suspendidos totales) es bajo, en las estaciones 5 y 6 Se ve el agua mas contaminada esto debido al paso del río Pasto por el municipio de Pasto más contaminadas que pasan por el municipio de Pasto, en las estaciones 7, 8 y 9 se disminuye el SST por dispersión, la estación 9 corresponde la estación Providencia cercana a la bocatoma de la PCH NARIÑO 1.

**Tabla 9.** Calidad de agua río Pasto parte 1

MUNICIPIO	NOMBRE	Wº	Nº	m.s.n.m.	LUGAR	EPOCA
PASTO	Las Tiendas	986658	624634	2855	Aguas Arriba	
	Estación Centenario	981056	624636	2636	Aguas Arriba	
	Estación Carolina	979615	625178	2580	Punto medio	
	Estación Dos Puentes	977998	624416	2251	Punto medio	
	Estación UDENAR	976024	628262	2482	Punto medio	
	Hidroeléctrica Julio Bravo	974553	630417	2160	Aguas Abajo	
CHACHAGUI	Providencia	975194	649998	1116	Aguas Abajo	
	La Ensellada	973820	656553	*	Aguas Abajo	

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

Calidad de agua río Pasto parte 1(Continuación tabla 10)

PASTO	Estación Centenario	77° 14' 52.2"	01° 12' 6.2"	2672+/- 24	<b>Aguas Arriba</b>	Trans. Inv-Ver.
	Estación Carolina	77° 15' 38.7"	01° 12' 24.3"	2582+/- 26	<b>Punto medio</b>	Trans. Inv-Ver.
	Estación Dos Puentes	77° 16' 32.5"	01° 13' 6.4"	2578+/- 20	<b>Punto medio</b>	Trans. Inv-Ver.
	Estación UDENAR	77° 17' 35.4"	01° 14' 4.1"	2501+/- 63	<b>Punto medio</b>	Trans. Inv-Ver.
	<b>Hidroeléctrica Julio Bravo</b>	<b>77° 18' 21.4"</b>	<b>01° 15' 13.6"</b>	<b>2272 +/- 150</b>	<b>Aguas Abajo</b>	<b>Trans. Inv-Ver.</b>
	Providencia	77° 18' 15.1"	01° 25' 55"	2272 +/- 150	<b>Aguas Abajo</b>	Trans. Inv-Ver.
	La Ensilada	*	*	*	<b>Aguas Abajo</b>	Trans. Inv-Ver.
PASTO	El Tambor	77° 12' 55.4"	01° 12' 22.3"	2952+/- 150	<b>Aguas Arriba</b>	
	Estación Centenario	77° 14' 52.2"	01° 12' 6.2"	2672+/- 24	<b>Aguas Arriba</b>	
	Estación Carolina	77° 15' 38.7"	01° 12' 24.3"	2582+/- 26	<b>Punto medio</b>	
	Estación Dos Puentes	77° 16' 32.5"	01° 13' 6.4"	2578+/- 20	<b>Punto medio</b>	
	Estación Morasurco	77° 17' 25"	01° 14' 08"	2508+/- 56	<b>Punto medio</b>	
	Estación UDENAR	77° 17' 35.4"	01° 14' 4.1"	2501+/- 63	<b>Punto medio</b>	
	Hidroeléctrica Julio Bravo	77° 18' 21.4"	01° 15' 13.6"	2272 +/- 150	<b>Aguas Abajo</b>	
	Providencia	77° 18' 15.1"	01° 25' 55"	2272 +/- 150	<b>Aguas Abajo</b>	
	La Ensilada	*	*	*	<b>Aguas Abajo</b>	

Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros

**Tabla 10.** Calidad de agua río Pasto parte 2

MUNICIPIO	NOMBRE	FECHA	CAUDAL (L/S)	pH	TURBIEDAD NTU	OXIGENO DISUELTO (mg O <sub>2</sub> /L)
PASTO	Las Tiendas	30-07-09	504,6	7,75		5
	Estación Centenario	30-07-09	1096,1	7,65		7,05
	Estación Carolina	30-07-09	522,01	7,58		7,05
	Estación Dos Puentes	30-07-09	1788,7	7,33		2,15
	Estación UDENAR	30-07-09	2557,2	7,39		1,9
	Hidroeléctrica Julio Bravo	30-07-09	2480,4	7,65		7,2
CHACHAGUI	Providencia	30-07-09	*	7,29		7,4
	La Ensellada	30-07-09	*	7,49		7,65
PASTO	Estación Centenario	Jun. 26/08	893,6	7,34	7,65	7
	Estación Carolina	Jun. 26/08	672,28	7,3	29	7
	Estación Dos Puentes	Jun. 26/08	1961,8	7,19	178	3
	Estación UDENAR	Jun. 26/08	2812,5	7,36	121	2
	<b>Hidroeléctrica Julio Bravo</b>	<b>Jun. 26/08</b>	<b>3.480,20</b>	<b>7,75</b>	<b>50,3</b>	<b>7</b>

Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros

Calidad de agua río Pasto parte 2(Continuación tabla 11)

	Providencia	Sept. 16/08	*	7,44	50,4	**
	La Ensellada	Sept. 16/08	*	7,19	29,9	7
PASTO	El Tambor	17-02- 06	449,62	7,3	4,21	7,15
	Estación Centenario	17-02- 06	1040,38	7,36	13,8	6,3
	Estación Carolina	17-02- 06	534,53	7,31	12,3	4,9
	Estación Dos Puentes	17-02- 06	2028,79	7,15	75,9	1,35
	Estación Morasurco	17-02- 06	2257,04	7,17	62,8	1,25
	Estación UDENAR	17-02- 06	2882,15	7,1	90	1
	Hidroeléctrica Julio Bravo	16-02- 06	4461,85	7,087	36,4	6,75
	Providencia	16-02- 06	*	7,25	23,1	7,35
	La Ensellada	16-02- 06	10137,71	7,29	9,13	

Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros

**Tabla 11.** Calidad de agua río Pasto parte 3

MUNICIPIO	NOMBRE	SOLIDOS TOTALES (mg/L)	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L)	DBO5 A 20 °C (mg/L)	DQO (mg/L)
PASTO	Las Tiendas	72	< 4,5	2,7	< 15
	Estación Centenario	96	4,8	< 2	< 15
	Estación Carolina	128	11	6,03	43,52
	Estación Dos Puentes	346	90	97,5	145,92
	Estación UDENAR	354	92	110,25	145,92
	Hidroeléctrica Julio Bravo	276	26	22,5	66,56
CHACHAGUI	Providencia	249	32	3,15	35,84
	La Ensellada	260	42	5,71	20,48
PASTO	Estación Centenario		8	3	17
	Estación Carolina		36	9	50
	Estación Dos Puentes		120	94	198
	Estación UDENAR		136	73	243
	<b>Hidroeléctrica Julio Bravo</b>		<b>53</b>	<b>72</b>	<b>128</b>
	Providencia		72	*4	36
	La Ensellada		4	3	218

Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros



Calidad de agua río Pasto parte 3(Continuación tabla 12)

PASTO	El Tambor	52	8	15,65	16
	Estación Centenario	76	10,5	7,6	20,8
	Estación Carolina	115	22	168,75	256
	Estación Dos Puentes	286,7	108,3	228,75	288
	Estación Morasurco	281,7	73,3	243,75	256
	Estación UDENAR	348,35	93,3	240	304
	Hidroeléctrica Julio Bravo	270	76,65	87,5	160
	Providencia	153,3	43	7,8	48
	La Ensellada	156,65	23	18,3	88

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

En la Tabla 10, se anexan datos de calidad de agua Río Pasto desde el año 2006 al 2009, aportados por la interventoría recolectados en la etapa de prefactibilidad, se puede analizar que la DBO5 que nos puede deducir contaminación de agua sube en las estaciones DOS PUENTES y MORASURCO y en la estación PROVIDENCIA baja por la dispersión del río.

## 17.7) PRINCIPALES ECUACIONES UTILIZADAS

Se presentan las principales ecuaciones, la otras se encuentran como fórmulas básicas de hidrología.

**17.7.1) Procedimientos para estimar la ETP.** La pérdida de agua desde la tierra hacia la atmósfera, por medio de la transpiración de la vegetación y de la evaporación directa, constituye una parte importante del problema del balance de agua. Sin embargo, la medición directa de esos factores resulta ser extremadamente difícil, y es precisamente esta dificultad la que ha llevado a desarrollar un número de fórmulas tendientes a estimar la pérdida de agua, directamente de los datos meteorológicos. Así, numerosos científicos de todo el mundo han trabajado sobre este tema aportando un sinnúmero de fórmulas matemáticas:

Penman-Inglaterra-1948, Thornthwaite-EEUU-1948, Turk-Francia-1954, Sharov-Rusia-1959, Blaney y Criddle-1950, Papadakis-Argentina-1961, etc.

A pesar de las deficiencias, un número de trabajadores ha sostenido que estos métodos permiten al climatólogo estimar la ET total con una mayor exactitud que lo que pueden lograr los especialistas en suelos, midiéndola.

El método de Thornthwaite fue desarrollado a partir de datos de precipitación y escorrentía para diversas cuencas de drenaje. El resultado es básicamente una relación empírica entre la ETP y la temperatura del aire. A pesar de la simplicidad y las limitaciones

obvias del método, funciona bien para las regiones húmedas. No es necesariamente el método más exacto ni tampoco el que tiene las bases teóricas más profundas. Por el contrario, probablemente esas características corresponden a aquellas que involucran flujo de vapor y balance de calor. Entre las diferencias más notorias del método de Thornthwaite se encuentra la suposición de que existe una alta correlación entre la temperatura y algunos de los otros parámetros pertinentes tales como radiación, humedad atmosférica y viento. Mientras que tales limitaciones pueden ser poco importantes bajo ciertas condiciones, a veces pueden resultar relevantes.

Thornthwaite y Mather, quienes conocieran que la radiación solar y la turbulencia atmosférica son factores de importancia en la ETR, han establecido que el problema de desarrollar una fórmula para la ETP permanece aún sin resolver. Los métodos que incluyen flujo de vapor y balance de calor requieren datos meteorológicos que, o no son medidos o son observados en pocos puntos, muy espaciados. Por el contrario, la fórmula empírica de Thornthwaite puede ser usada para cualquier zona en la cual se registran la Temperatura máxima y Temperatura mínima diarias.

La formula de Thornthwaite es la siguiente:

$$ETP = 16 (10T/I)^a$$

Donde:

ETP: evapotranspiración en mm.

I: índice calórico, constante para la región dada y es la suma de 12 índices mensuales  $i$ , donde  $i$  es función de la temperatura media normal mensual [ $i: (t/5)^{1,514}$ ].

T: temperatura media mensual (no normal) en °C

a: exponente empírico, función de I

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49239$$

Cálculo del índice calórico I

En la Tabla 1 se encuentran tabulados los valores de i. Al entrar en la misma con la temperatura mensual media, se obtiene para cada mes un valor de i. La suma de dichos i representa el valor de I

$$I = i_{ene} + i_{feb} + i_{mar} + \dots + i_{dic}$$

**17.7.2) Balance hídrico.** El conocimiento de la evaporación potencial de un lugar, del que se tienen registros de precipitación, permite establecer su balance hídrico anual. En esta forma es posible conocer la cantidad de agua que realmente se evapora desde el suelo y transpiran las plantas en ese lugar, la cantidad de agua almacenada por el suelo y la que se pierde por derrame superficial y profundo.

Como la evapotranspiración y la precipitación son dos elementos climáticos independientes, su marcha anual difícilmente coincide en un mismo punto de la tierra, por lo que en algunos lugares existen períodos en los cuales la necesidad de agua está ampliamente satisfecha por las lluvias y otros en los que se carece de las cantidades de agua requerida. De esta manera, habrá meses con agua suficiente y meses en que se registre exceso o deficiencia de agua en forma manifiesta. También pueden ocurrir casos extremos en que durante todo el año las precipitaciones sobrepasen las necesidades de agua o viceversa, las fórmulas se encuentran en los cálculos realizados.

Formula de Balance Hídrico

Dónde:

P = Precipitación media de la cuenca

ETR = Evapotranspiración Real

Ed = Escurrimiento directo

I = Infiltración

## **17.8) Cálculo Curva de Duración de Caudales**

**17.8.1)** Curva de duración de caudal. La curva de duración es un procedimiento gráfico para el análisis de la frecuencia de los datos de caudales y representa la frecuencia acumulada de ocurrencia de un caudal determinado. Es una gráfica que tiene el caudal,  $Q$ , como ordenada y el número de días del año (generalmente expresados en % de tiempo) en que ese caudal,  $Q$ , es excedido o igualado, como abscisa. La ordenada  $Q$  para cualquier porcentaje de probabilidad, representa la magnitud del flujo en un año promedio, que espera que sea excedido o igualado un porcentaje,  $P$ , del tiempo.

Los datos de caudal medio anual, mensual o diario se pueden usar para construir la curva.

Los caudales se disponen en orden descendente, usando intervalos de clase si el número de valores es muy grande. Si N es el número de datos, la probabilidad de excedencia, P, de cualquier descarga( o valor de clase), Q,

es:

$$P = (n/M) \times 100$$

siendo m el número de veces que se presenta en ese tiempo el caudal. Si se dibuja el caudal contra el porcentaje de tiempo en que éste es excedido o

igualado se tiene una gráfica como la mostrada en la figura % Tiempo.

**17.8.2) Aforo con molinete.** Los correntómetros o molinetes son aparatos mecánicos que giran sobre un eje horizontal o vertical y miden la velocidad puntual de una corriente en una sección determinada; la velocidad angular de estos equipos depende de la velocidad lineal del agua en el punto donde se está midiendo.

Éstos son puestos para corrientes de agua medianas y grandes, donde la instalación de vertederos no es práctica, en este método se utiliza la medida de velocidad de la corriente para el cálculo de caudal.<sup>14</sup>

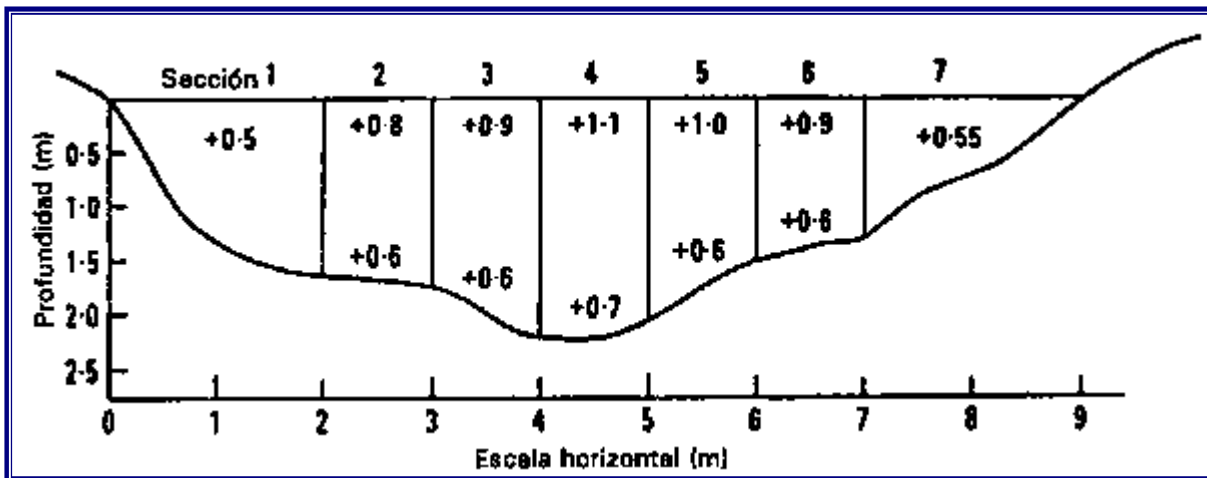
---

<sup>14</sup> Hidrología en la ingeniería, Germán Monsalve Sáenz.

Para realizar un aforo con molinete se debe proceder así:

- Se divide la sección transversal del río en franjas (f) como se muestra en la figura y el ancho de franja se determina de la siguiente forma.

**Figura 24.** Caudales medios estación providencia



*Fuente. Anchos de franja para el aforo del río Bogotá, método molinete.*

- El total del caudal que pasa por la sección que se está aforando es igual a la sumatoria de los caudales que pasan por cada franja.

$$Q_t = \sum_{i=1}^n q_i \quad (4.5)$$

Donde  $q_i$  representa el caudal que pasa por cada franja.

- A partir de la ecuación de continuidad se puede estimar el caudal parcial de cada franja, así:

$$q_i = v_i * a_i \quad (4.6)$$

Donde:

$q_i$  = caudal que pasa por la franja en m<sup>3</sup>/s.

$v_i$  = velocidad promedio del agua en esa franja en m/s.

$a_i$  = área de la franja en m<sup>2</sup>.

- La velocidad promedio del agua ( $v_i$ ), en cada franja, se determina de la siguiente manera:
  - En la franja se traza una vertical por el punto medio donde la profundidad es  $h_i$ .
  - Si la profundidad es menor que 60 cm se debe colocar el molinete a  $0.40h_i$  medido desde el fondo y se toma la velocidad, esa correspondería a ( $v_i$ ).
  - Cuando la profundidad sea mayor a 60 cm, se toman dos puntos sobre la vertical donde es leída ( $v_i$ ) a  $0.2h_i$  y  $0.8h_i$  y se aplica la siguiente ecuación:

$$v_i = \frac{1}{2} (v_{0.2h_i} + v_{0.8h_i}) \quad (4.7)$$



- El caudal total se determina mediante la sumatoria de los caudales parciales como se mencionó anteriormente.
- La velocidad en cualquier punto de una vertical se calcula mediante la ecuación:

$$v = a + b * N \quad (4.8)$$

Donde:

$V$  = velocidad media del agua en el punto de interés obtenida con el molinete y expresada en m/s.

$a$  y  $b$  = constantes propias del molinete suministradas por el fabricante en donde ( $a$ ) es el paso del molinete y ( $b$ ) es la velocidad mínima para que pase el molinete.

**17.8.3)** Caudales medios, curva de duración de caudales. Caudales medios m<sup>3</sup>/s, como ya se explicó, se analizaron los caudales disponibles en el IDEAM, estaciones Universidad desde 1965 a 2011, Bocatoma CENTENARIO 19988 a 2011 y providencia desde 1990 a 2011, series consistentes que estadísticamente son confiables debido a que recoge información de varios ciclos de periodo niña 2009 - 2010-2011 y niño 1990-1993.

**Tabla 12.** Caudales medios estaciones

código	Estaciones	Área km2	Qs medios m3/s
5204701	Universidad	177	3.39
5204703	Bocatoma centenario	81	1.54
5204704	Providencia	457,3	9.2
Proyecto PCH	Bocatoma PCH Taminango	468,6	9.2

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

**17.8.4) Aforos.** Se anexa tabal de resultados de aforos realizados por el IDEAM donde se presenta ancho de rio, caudal, velocidad, perímetro mojado y radio hidráulica, en estos aforos se evidencia un ancho promedio de 14 metros, velocidades que varían ente 1.2 y y 1.85 m/s, para caudales altos, la profundidad media del rio asciende a 1.2 m para caudal alto y un promedio de 1.0 de profundidad.

Se informa que, en el mes de junio de 2013, se realizó un aforo con toma de muestras de sedimentos en suspensión, los resultados se presentan en el anexo,

Los resultados aportan un caudal de 5.4 m<sup>3</sup>/s, lo que está en el rango de las estadísticas del IDEAM, velocidad de 0.58 m/s, ancho de sección de 13 m, área de sección 9.14 m<sup>2</sup> y profundidad variable entre 0.4 y 0.92 m

Adicionalmente en el mes de julio se realizará segundo y último aforo con toma de muestra para calidad de agua.

**Tabla 13.** Aforos rio pasto estación PROVIDENCIA

			AREA	PROFUNDIDA D	VELOCIDA D	CAUDA L	PERIMETR O	RADI O	
			SECCIO N	MEDIA	MEDIA	TOTAL	MOJADO	HIDR A	R(2/3)
aforo	NIVEL (m)	ANCH O (m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	
1	5,39	13,4	16,69	1,245	1,849	30,88	14,142	1,18	1,117
2	3,348	14,4	13,98	0,97	1,247	17,437	15,111	0,925	0,949
3	9,385	14	16,61	1,186	1,205	20,032	14,978	1,109	1,072
4	2,343	13,8	10,66	0,772	1,241	13,328	14,266	0,747	0,823

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

**Tabla 14.** Curva duración de caudales estación providencia

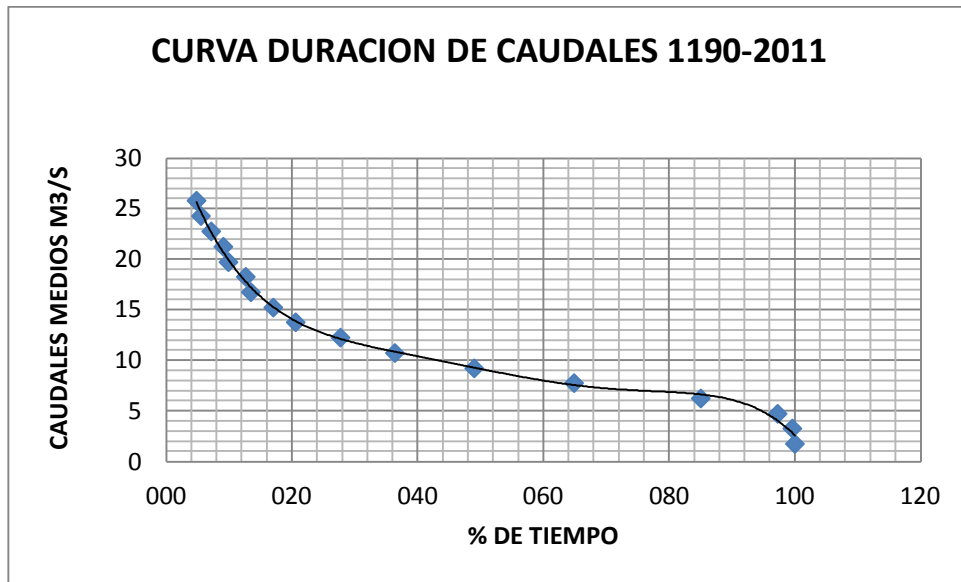
Curva duración de caudales estación providencia

1990 - 2011

Caudales		Promedio		Frecuencia	Acumulado	%
1	2,5	1,75	253	1	253	100,00
2,5	4	3,25	252	6	252	99,60
4	5,5	4,75	246	31	246	97,23
5,5	7	6,25	215	51	215	84,98
7	8,5	7,75	164	40	164	64,82
8,5	10	9,25	124	32	124	49,01
10	11,5	10,75	92	22	92	36,36
11,5	13	12,25	70	18	70	27,67
13	14,5	13,75	52	9	52	20,55
14,5	16	15,25	43	9	43	17,00
16	17,5	16,75	34	2	34	13,44
17,5	19	18,25	32	7	32	12,65
19	20,5	19,75	25	2	25	9,88
20,5	22	21,25	23	5	23	9,09
22	23,5	22,75	18	4	18	7,11
23,5	25	24,25	14	2	14	5,53
25	26,6	25,8	12	12	12	4,74

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

**Figura 25.** Curva Duración de Caudales



Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros

De acuerdo con esta curva los datos resultantes son:

**Tabla 15.** Datos principales de la curva duración de caudales estación providencia

%	M3/S	M3/S
10	19,0	19,5
20	14,0	14,3
30	11,6	11,9
40	10,6	10,9
50	9,0	9,2
60	8,0	8,2

Datos principales de la curva duración de caudales estación providencia (Continuación tabla 16)

70	7,4	7,6
80	7,0	7,2
90	6,0	6,1
100	1,8	1,8
AREA (km2)	457,3	468,58
	ESTACION	PROYECTO
	IDEAM	
RENDIMIENTO	19,9	19,8
L/S/KM2		

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

Con los datos de la curva de duración de caudales y la altura de 143 m se realizó la curva de duración de potencias, en la que se identifica que el caudal de diseño sería 6 m<sup>3</sup>/s, potencia 6.435 Kw.

**Tabla 16.** Curva de duración de potencias estación providencia

Qm	Potencia	Duración	Energía
m3/s	Kw		Kwhx10 <sup>5</sup>
1,75	1.802	100,00	157,83768
3,25	3.346	99,60	291,9685148
4,75	4.891	97,23	416,5631374
6,25	6.435	84,98	479,038696
7,75	7.979	64,82	453,1037635
9,25	9.524	49,01	408,8985183
10,75	11.068	36,36	352,57248
12,25	12.613	27,67	305,6935304
13,75	14.157	20,55	254,8931478
15,25	15.701	17,00	233,7708835
16,75	17.246	13,44	203,0232835
18,25	18.790	12,65	208,1924452

Curva de duración de potencias estación providencia (Continuación tabla 16)

19,75	20.335	9,88	176,0188696
21,25	21.879	9,09	174,2364
22,75	23.423	7,11	145,9842574
24,25	24.968	5,53	121,0296835
25,8	26.564	4,74	110,3705155

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

Partiendo de esta tabla se sugiere utilizar como el caudal de diseño el de 5 m<sup>3</sup>/s, se tuvo en cuenta el caudal ecológico.

**17.8.5) Relación área, y rendimientos de las cuencas.** Una de las relaciones importantes a tener en cuenta son los rendimientos y las áreas tributarias en la tabla siguiente se presentan las relaciones y parámetros a utilizar.



**Tabla 17.** Relación área, y rendimientos de las cuencas

código	Estaciones	Área km2	R (L/S/KM2)
5204701	Universidad	177	19
5204703	Bocatoma centenario	81	19
5204704	Providencia	457,3	19.9
Proyecto PCH	Bocatoma PCH Taminango	468,6	19.8

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

**17.8.6)** Caudales medios multianual más bajos. Se analizaron estadísticamente los caudales medios multianual más bajo de las estaciones universidad y providencia

**Tabla 18.** Caudales medios multianuales más bajos estación universidad

CAUDALES MENSUALES MINIMOS MULTIANUALES ESTACION UNIVERSIDAD m3/s											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0,8	1,27	1,57	1,9	1,65	1,73	1,43	1,42	1,23	1,52	1,77	1,41

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

**Tabla 19.** Caudales medios multianuales más bajos estación providencia

CAUDALES MEDIOS MENSUALES MAS BAJOS ESTACION PROVIDENCIA											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
4,58	4,09	4,33	5,63	6,04	4,99	2,66	1,44	4,15	4,15	6,50	5,22

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

**17.8.7)** Caudal mínimo. De acuerdo a la estación providencia que es la estación más cercana y representativa del sitio de bocatoma, se tiene el valor mínimo medio multianual 1.44 m<sup>3</sup>/s y el valor mínimo registrado en el río es 0.79 m/s, se adopta como valor mínimo 0.79 m<sup>3</sup>/s.

**17.8.8)** Caudal máximo. Se adoptó la serie estadística de los caudales máximos anuales de la estación providencia así:

**Tabla 20.** Caudales máximos en m<sup>3</sup>/s

años	Q máx.
1993	82.19
1994	145.20
1995	64.11
1996	113.60
1997	86.21
1998	72.24
1999	102.60
2000	114.50
2001	46.35
2002	61.84
2003	46.35
2004	43.75
2005	51.33
2006	52.75
2007	57.50
2008	57.50
2009	57.50
2010	57.50
2011	56.08

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

Se realizó modelación de caudales máximos del Río Pasto para el sitio del proyecto utilizando EL MODELO HYFA y la distribución GUMBEL, obteniéndose los siguientes resultados:

A Continuación, la Tabla caudales máximos con periodos de retorno:

**Tabla 21.** Caudales máximos estación providencia Nariño

TR - AÑOS	CAUDAL m <sup>3</sup> /s
5	93.5
10	110.3
25	118.8
50	131.6
100	163.1

*Fuente. Estudio elaborado por Gamma ingenieros*

## 18) OBRAS HIDRAULICAS EN EL SECTOR DEL RÍO PASTO, NARIÑO

### 18.1) BOCATOMA

La captación se hará por intermedio de una presa derivadora en concreto ciclópeo. Para la construcción de las obras es necesario diseñar la desviación del río (dos etapas) mediante dos ataguías que derive el caudal máximo para una creciente de 5 años. La presa derivadora tendrá un tirante ( $h = 2,5$  ms) el sitio donde se localizó la obra se corrobora con la topografía y la geología del sitio. Sobre la cresta de la presa debe pasar el caudal de riada para 100 años. La bocatoma es una estructura que dispondrá de los siguientes elementos:

- Una presa de derivación con compuerta de limpieza y vertedero lateral.
- Una pequeña presa sumergida.
- Un depósito de sedimentación con pendiente hacia la compuerta de limpieza.
- Alineadas paralelamente, se encuentran las compuertas de limpieza y de captación.
- Una ataguía y una rejilla ubicadas antes de la compuerta de captación.
- La compuerta de limpieza se abre en dirección del río.

Las anteriores obras están divididas por pilas o muros en concreto reforzado anclados a una placa de concreto reforzado que sirve de cimentación a las obras. A los costados contra los taludes del terreno existente se diseñó una presa, el núcleo de la misma está constituido por un muro en concreto reforzado que se ancla a los muros laterales por un

lado a la presa derivadora y por el otro costado a la estructura de la bocatoma, en el talud se ancla al terreno existente en una profundidad no menor a 1.50 ms para minimizar la permeabilidad. El muro aguas arriba y aguas abajo se recubre con material del cauce del río, este material se debe subir en ambos lados al mismo tiempo con el fin de evitar presiones diferenciales a los niveles indicados en los planos y por último utilizando un talud 1.2H:1.0V, se debe recubrir el material anterior con bloques o rocas de 50 Kg de peso, para garantizar la estabilidad de los taludes por crecientes o elementos que se transporten por este fenómeno. Como se puede palpar, se le dio preponderancia a utilizar primordialmente material del lecho del río para preparar concretos y rellenos en virtud de la dificultad de acceder al sitio de las obras, esto implica únicamente llevar cemento, acero de refuerzo y los elementos metálicos, con el fin de hacer lo más económico la obra.

## **18.2) CANAL DE DERIVACIÓN O DE BAJA PRESIÓN**

De acuerdo a la información topográfica y geológica se determinó el tipo de obra de conducción que más conviene es un canal revestido de 2,3 ms de ancho con una lámina de agua de 1,264 ms de alto, que adicionando el borde libre la altura útil del canal final es de 1,55 ms, con un espesor de 0,20 ms; se tomó esta alternativa en virtud a que la línea de conducción está conformada por 110 deltas (PI) que de utilizar tubería sería necesario construir 110 curvas diferentes tanto en longitud como en ángulo, además es

muy factible utilizar la arena y la gravilla del río para la producción del concreto, condición que bajaría de una manera ostensible los costos por la dificultad de acceder al sitio de las obras. Se determinó utilizar una velocidad de 1,7 ms/seg, relativamente alta, esto con el fin de reducir las dimensiones del canal para disminuir cargas y bajar los costos iniciales de excavación, concretos, hierro y mano de obra. El caudal a transportar es 5 mt<sup>3</sup>. La longitud total de conducción es de 4940,20 ml en función de la topografía y el diseño geométrico, se trazó con una pendiente de 0,00114. Con la visita y el replanteo del proyecto se determinarán las obras finales de los tramos con pasos verticales de gran dificultad y los diseños de los diferentes viaductos para pasar cauces secos existentes a lo largo de la conducción. Se propone una variante con una longitud de 4884.26 ml que incluye un paso en túnel desde K3+623 hasta K3+868, es decir en una longitud de 245 ms, para que lo analice el Contratista como alternativa.

### **18.3) DESARENADOR**

Después de la compuerta de captación se proyecta un desarenador en concreto reforzado de 26 ms de longitud con un ancho de 9 ms, una profundidad media de 2,5 ms y con un espesor de 0,30 ms, con compuerta de limpieza dirigida hacia el cauce del río, se dimensiono en función de la velocidad, la profundidad del desarenador y el tiempo de sedimentación de las partículas; se dispondrá de una tubería de purga para la limpieza, para culminar empalmado con el canal de aducción. Así mismo se proyectó un aliviadero

ubicado hacia el cauce del río que amortigüe o rebose los excedentes de caudal originados por crecientes.

#### **18.4) TANQUE DE CARGA**

La cota de lámina de agua máxima es 965.878 msnm, se diseñó el tanque de Carga en concreto reforzado con una longitud de 26 ms que garantiza el volumen de reserva que permita satisfacer las necesidades de las turbinas durante los cambios bruscos de demanda, mantener sobre la tubería de carga una altura de agua suficiente para evitar la entrada del aire a la misma; se dispondrá de un vertedero de excesos para evacuar el caudal sobrante cuando la cantidad consumida por las turbinas sea inferior al caudal de diseño, así mismo el volumen diseñado tendrá la capacidad de producir sedimentación y eliminación de materiales sólidos que vienen por la conducción. La estructura dispondrá de los elementos metálicos necesarios para su correcto funcionamiento, se instalarán las compuertas necesarias y una rejilla que controle la entrada de basura a la tubería de carga.



## **18.5) TUBERÍA DE PRESIÓN**

Tiene una caída de 120.578 ms de acuerdo a la topografía, se proyectó una tubería con un diámetro de 1,50 ms con una longitud de 187.50 ms y se bifurca en dos tubos de 1,06 ms de diámetro que suman una longitud de 53 ms aproximadamente que entran a las turbinas, se proyectaron dos codos para la tubería de 1,50 de diámetro, un codo para la tubería de 1,06 de diámetro y un elemento metálico para el cambio de sección. La posibilidad de instalar dos tuberías en paralelo se descartó ya que el desarrollo de dos tuberías de 1,06 ms de diámetro necesita una longitud de 6,66 ms/ml para un tubo de 1,50 ms de diámetro se necesita una longitud de 4,72 ms/ml e implica doble cantidad de apoyo, aunque son menores al sumar excede el de una sola tubería, el mismo caso con la mano de obra ya que se duplica la instalación de la tubería. Se diseñaron en concreto reforzado tres anclajes y veinte apoyos en función de las cargas y la presión de trabajo del terreno.

## **18.6) CASA DE MÁQUINAS**

Los espacios se diseñaron para un correcto funcionamiento, se proyectaron los espacios para dos unidades; turbinas, generadores, tableros de control, bodega, oficina, baños, cafetería, viga puente grúa, patio de conexiones y canal de aguas turbinadas. Las estructuras en su mayoría son en concreto reforzado.

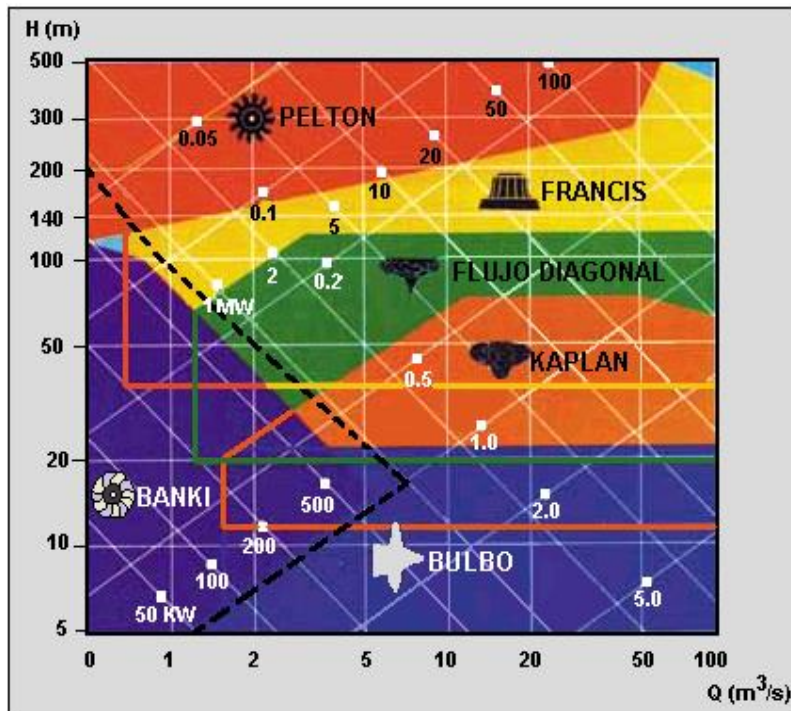
## 19) SELECCIÓN DE TURBINAS

Para realizar la sección de turbinas se dará un ejemplo de la siguiente manera.

Se tomará un caudal de  $5\text{ m}^3/\text{s}$  y un salto de  $120\text{ m}$ .

Con estos datos en el nomograma siguiente se puede determinar que la turbina a utilizar es Francis.

**Figura 26** Nomograma de fábrica



*Fuente. Fábrica*

Para el dimensionamiento de la Turbina Francis se realizarán los siguientes cálculos  
Se debe determinar la potencia

$$P = \rho * Q * g * H * \eta$$

g = Gravedad

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/s

=Eficiencia de turbina

Se continua con el número de revoluciones

$$N = \frac{900\sqrt{H}}{D^{0.25}}$$

Se halla el diámetro de rodete

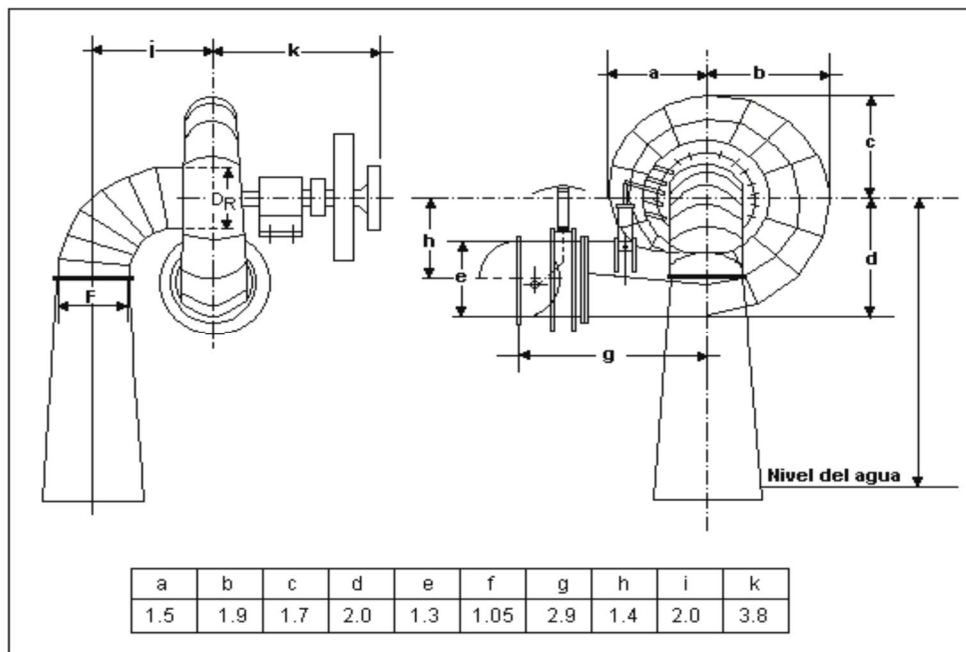
$$D = 0.293 + 0.0081 * \frac{Q^{0.25}}{N^{0.25}} * \frac{60}{N} * \sqrt{H}$$

N= revoluciones en rpm

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/s

H = salto en m

**Figura 27** Dimensiones Turbina Francis



*Fuente. Manual de mini y micro centrales hidráulicas*

Q=5m<sup>3</sup>/s

H=120m

Potencia

$$\eta \eta 9.81 * 5 * 120 * 0.80$$

$$\eta \eta 4708.8 \text{ Kw}$$

Revoluciones

$$\eta \eta \frac{900\sqrt{4708.8}}{120^{\eta.\eta\eta}}$$

$$\eta \eta 155 \eta\eta\eta$$

Diámetro de rodete

$$D_{1r} = 0.293 + 0.0081 * \frac{155\sqrt{5}}{120} * \frac{60}{155} * \sqrt{2 * 9.81 * 120}$$

$$D_{1r} = 0.75$$

Con el diámetro de rodete se hallan las dimensiones de la figura 27

**Tabla 22** Dimensiones de Turbina Francis

D1e	0.75	m
Dimensiones	Coeficientes	
a	1.5	1.13
b	1.9	1.43
c	1.7	1.28
d	2.0	1.5
e	1.3	0.98
f	1.05	0.79
g	2.9	2.18
h	1.4	1.05
i	2.0	1.5
k	3.8	2.85

*Fuente. Propia*

Para poder realizar una revisión y seguimiento del proceso que se debe tener en cuenta para el diseño de una pequeña central hidroeléctrica y los conceptos ya mencionados, se anexará el proceso que realizaron en la Cuenca del Río Pasto.

## 20) CONCLUSIONES

Se logra revisar y estudiar las guías existentes del diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas, donde se genera esta actualización de conceptos y procesos. Estos conceptos no solo fueron tomados de estudios realizados en Colombia, también en estudios realizados en otros países como son Guatemala y Perú. Con esta información se unificó conceptos para poder dar a conocer el proceso del diseño de las pequeñas centrales hidroeléctricas y de los requisitos necesarios que se deben tener en cuenta en la zona a intervenir.

Se da a conocer que en varios países se está implementando estos diseños y construcciones de pequeñas centrales hidroeléctricas para generar energía limpia y aportar al medio ambiente con su cuidado ante la contaminación.

Se aporta una nueva visual de los requerimientos necesarios para el diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas y para realizar una construcción limpia para su implementación. Esta actualización es un aporte para las universidades y diferentes ingenieros.

En esta actualización, se hace una referencia del proceso realizado para una pequeña central hidroeléctrica en la cuenca del Rio Pasto, donde se evidencia el proceso de la

recolección de datos, la información que se debe tener de las corporaciones que se encargan de realizar o llevar el control de las lluvias presentadas durante el año y cambios de temperatura, como lo es el Ideam. En la referencia que se está realizando también, se definen las obras hidráulicas que se deben diseñar, por lo tanto, se deben realizar los cálculos para su diseño.

El diseño de las tuberías de captación y de la infraestructura de la casa de máquinas, para a disposición de los equipos electromecánicos que se requieren.

En este informe que se relaciona de la cuenca del Río Pasto se da el paso a paso del proceso de diseño y de los datos que se deben recolectar para el diseño de la pequeña central hidroeléctrica y llegar a su construcción.

## 21) BIBLIOGRAFÍA

1. Bogotá, 2019. *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. 10 de noviembre de 2019, <http://www.gie.com.co/es/productos/energias-renovables/pequenas-centrales-hidroelectricas-pch-s>
2. Bogotá, 2019. *Filo de agua*. 10 de noviembre de 2019, <https://www.celsia.com/es/filo-de-agua>
3. Guatemala, 2019. *Centrales hidroeléctricas de pequeña escala, la experiencia de la fundación solar en Guatemala*. 10 de noviembre de 2019, <https://www.undp.org/content/dam/guatemala/06%20Centrales%20Hidroel%C3%A9ctricas%20peque%C3%B1a%20escala.pdf>
4. Bogotá, 2016. *Informe mundial sobre el desarrollo de la pequeña central hidroeléctrica 2016*, 10 de noviembre de 2019, [http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user\\_upload/pdf/2016/WSHPDR\\_Executive\\_Summary\\_Spanish\\_2016.pdf](http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user_upload/pdf/2016/WSHPDR_Executive_Summary_Spanish_2016.pdf)
5. Bucaramanga, *Guía de diseño de obras civiles de pequeñas centrales hidroeléctricas*, Olade, 1985, <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0125.pdf>
6. Bogotá, *Investigación de pequeñas centrales en Colombia*, <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-12/ar9.pdf>
7. Bogotá, *Diseño de una pico central hidroeléctrica en la localidad de Usme*, Bogotá,



- <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15273/1/Trabajo%20de%20Grado%20PCH.pdf>
8. Boyacá, *Diseño de una pequeña central hidroeléctrica para el municipio de Pisba, Boyacá*, <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2632>
  9. Bogotá, *Diseño eco hidrológico de pequeñas centrales hidroeléctricas, evaluación de caudales ecológicos*, <https://revistas.unal.edu.co/index.php/energetica/article/view/9405>
  10. Bogotá, *Pico centrales hidroeléctricas, una alternativa energética en zonas no interconectadas de Colombia*, <https://revistas.itc.edu.co/index.php/letras/article/view/90>
  11. [Guía de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas del ministerio de minas y energía de Colombia, 1997](#)
  12. Bogotá, *Dimensionamiento de pequeñas centrales hidroeléctricas*, Ramiro Ortiz *universidad del valle*, <http://shplab.univalle.edu.co/documentos/Dimensionamiento%20PCH.pdf>
  13. Small hydro, <http://www.gie.com.co/en/products/renewables/small-hydro>
  14. [Libro Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, Ramiro Ortiz](#)
  15. [Perú, Manual de mini y microcentrales hidraulicas, 1995 ITDG . PERÚ](#), [http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/archivos\\_grandes/002\\_microhidrocentrales.pdf](http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/archivos_grandes/002_microhidrocentrales.pdf)
  16. [Bogotá, Guide on how to develop a small hydropower plant, 2004](#), [https://energiatalgud.ee/img\\_auth.php/a/ab/Guide\\_on\\_How\\_to\\_Develop\\_a\\_Small\\_Hydropower\\_Plant.pdf](https://energiatalgud.ee/img_auth.php/a/ab/Guide_on_How_to_Develop_a_Small_Hydropower_Plant.pdf)

17. Bogotá, *Micro hydro power scout guide*, 2009,  
[https://energypedia.info/images/3/3b/Hydro\\_scout\\_guide\\_ET\\_may10.pdf](https://energypedia.info/images/3/3b/Hydro_scout_guide_ET_may10.pdf)
18. *Technical Specifications of Micro Hydropower System Design and its Implementation*, 2012,  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40230/Anil\\_Kunwor.pdf?sequence](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40230/Anil_Kunwor.pdf?sequence)  
≡
19. *Guideline and Manual for Hydropower Development Vol. 1 Conventional Hydropower and Pumped Storage Hydropower*, 2011 Japan International Cooperation Agency, [http://open\\_jicareport.jica.go.jp/pdf/12024881\\_01.pdf](http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/12024881_01.pdf)
20. *Guideline and Manual for Hydropower Development Vol. 2 Small Scale Hydropower*, 2011 Japan International Cooperation Agency,  
[http://open\\_jicareport.jica.go.jp/pdf/12024899.pdf](http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/12024899.pdf)
21. *Hydroelectric Power A Guide for Developers and Investors*, International Finance Corporation, [https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/906fa13c-2f47-4476-9476-75320e08e5f3/Hydropower\\_Report.pdf?MOD=AJPERES&CVID=kJQI35z](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/906fa13c-2f47-4476-9476-75320e08e5f3/Hydropower_Report.pdf?MOD=AJPERES&CVID=kJQI35z)
22. *Rural hydropower civil engineering*, 2017,  
[https://energypedia.info/images/9/94/Rural\\_Hydropower\\_Civil\\_Engineering-Training\\_Handbook- Nigeria\\_2017.pdf](https://energypedia.info/images/9/94/Rural_Hydropower_Civil_Engineering-Training_Handbook- Nigeria_2017.pdf)
23. *Central térmica convencional*, <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-electricas-convencionales/a201908-central-termica-convencional.html>
24. *Guía de recomendaciones para el diseño, construcción e instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas*, <http://www.bun-ca.org/wp-content/uploads/2018/04/Gui%CC%81a-Te%CC%81cnica-2-PCHs.pdf>

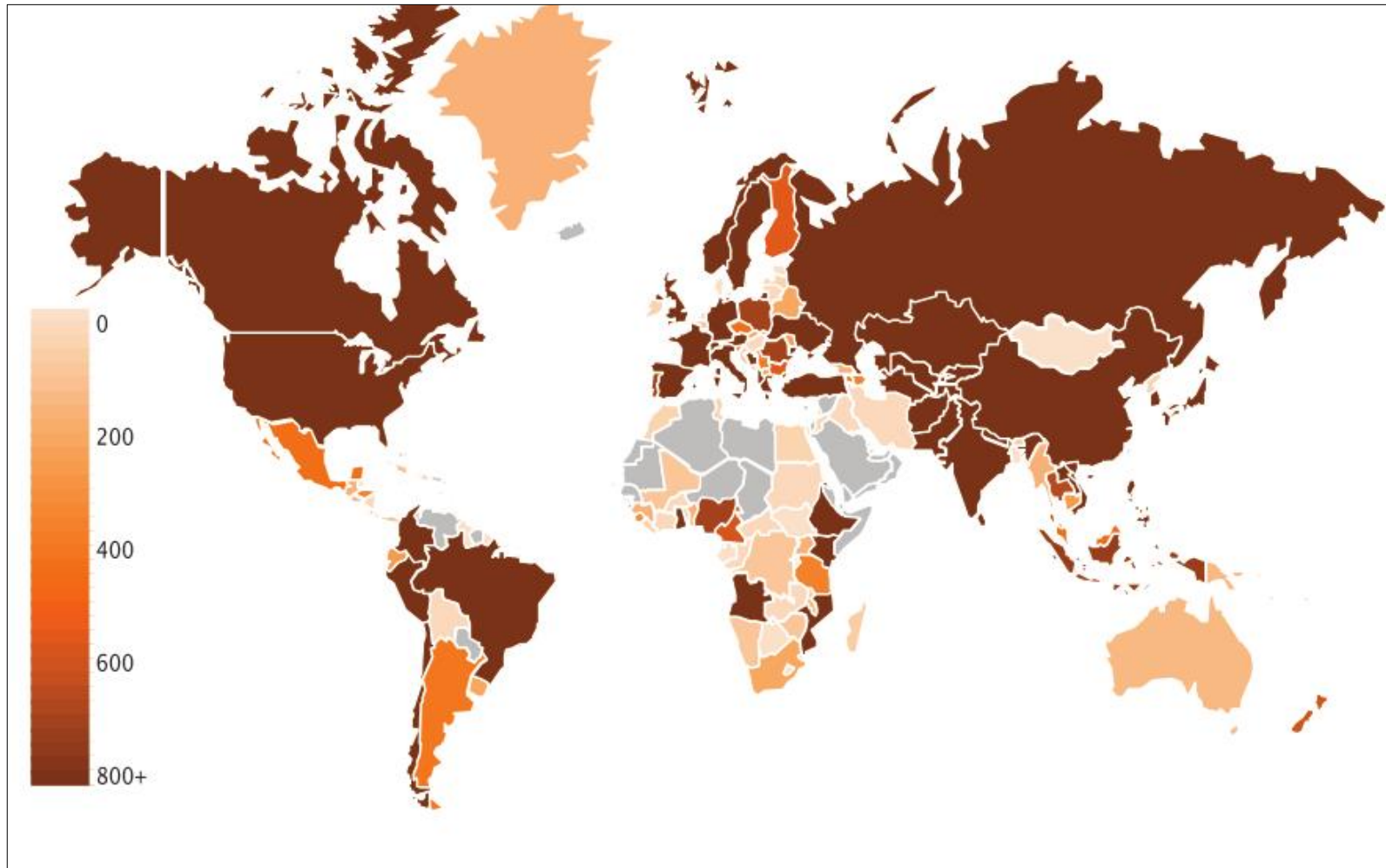
## **22) ANEXOS**

Se estima que la capacidad instalada de las pequeñas centrales hidroeléctricas a nivel global en 2016 alcanzó los 78GW, lo que representa un aumento de aproximadamente el 4 por ciento en comparación con los valores expuestos en el WSHPD 2013.

Las pequeñas centrales hidroeléctricas representan aproximadamente el 1,9 por ciento de la capacidad energética total a nivel mundial, el 7 por ciento de la capacidad total de energía renovable y el 6,5 por ciento de la capacidad hidroeléctrica total. Esta es una de las fuentes de energía renovable más importante del mundo, las pequeñas centrales hidroeléctricas ocupan el cuarto lugar en términos de desarrollo.

A. Potencial de pequeñas centrales hidroeléctricas identificado por país (MW).

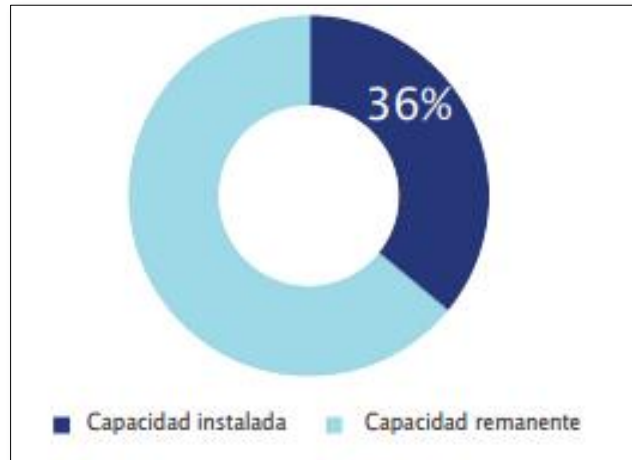
**Imagen 1.** Potencial de pequeñas centrales hidroeléctricas identificado por país



*Fuente: Banco mundial*

B. Capacidad instalada de las pequeñas centrales hidroeléctricas en el mundo.

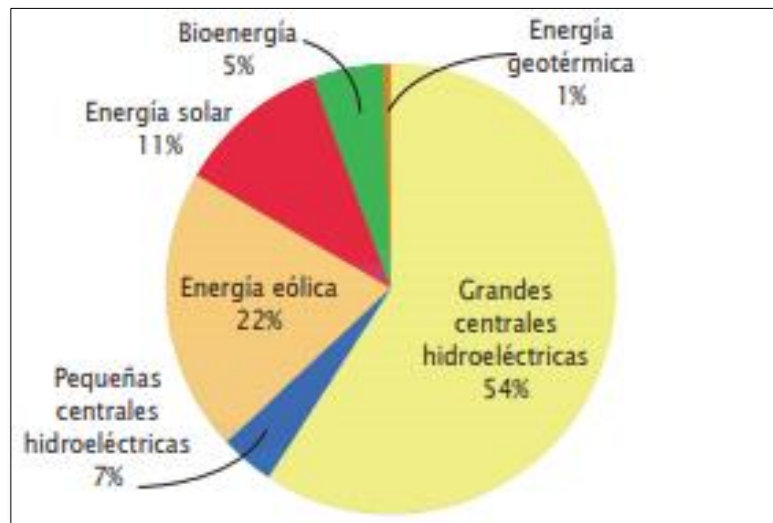
**Imagen 2.** Capacidad instalada de las pequeñas centrales hidroeléctricas en el mundo



*Fuente: Banco mundial*

C. Porcentaje de energías renovables a escala mundial.

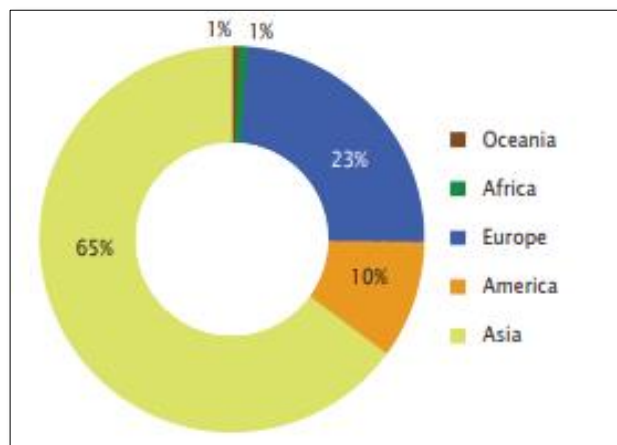
**Imagen 3.** Porcentaje de energías renovables a escala mundial



*Fuente: Banco mundial*

D. También se presenta la capacidad instalada de pequeñas centrales hidroeléctricas en cada región.

**Imagen 4.** Capacidad instalada en cada región



*Fuente: Banco mundial*

E. Las cinco principales regiones, subregiones y países involucrados en el desarrollo de las pequeñas centrales hidroeléctricas.

**Imagen 5. Principales regiones**

Regiones/ ranking	1	2	3	4	5
Por capacidad instalada (MW)	Asia	Europa	América	África	Oceanía
Por potencial total (MW)	Asia	América	Europa	África	Oceanía
Por potencial sin desarrollar (MW)	Asia	América	Europa	África	Oceanía
Por porcentaje de potencial desarrollado	Europa	Asia	Oceanía	América	África
<b>Subregiones</b>					
Por capacidad instalada (MW)	Asia oriental	Europa del Sur	Europa occidental	América del Norte	Europa del Norte
Por potencial total (MW)	Asia oriental	América del Sur	Asia del sur	Europa del Sur	Asia sudoriental
Por potencial sin desarrollar (MW)	América del Sur	Asia oriental	Asia del sur	Asia sudoriental	Europa del Sur
Por porcentaje desarrollado	Europa occidental	América del Norte	África del Norte	Asia oriental	América Central
<b>Países/ ranking</b>					
Por capacidad instalada (MW)	China	Estados Unidos de América	Japón	Italia	Noruega
Por potencial total (MW)	China	Colombia	India	Japón	Noruega
Por potencial sin desarrollar (MW)	Colombia	China	India	Chile	Japón

*Fuente:* [http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user\\_upload/pdf/2016/WSHPDR\\_Executive\\_Summary\\_Spanish\\_2016.pdf](http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user_upload/pdf/2016/WSHPDR_Executive_Summary_Spanish_2016.pdf)

F. En la siguiente tabla se muestra las pequeñas centrales hidroeléctricas que están instaladas y las que están en remanente.

**Imagen 6. Principales regiones**

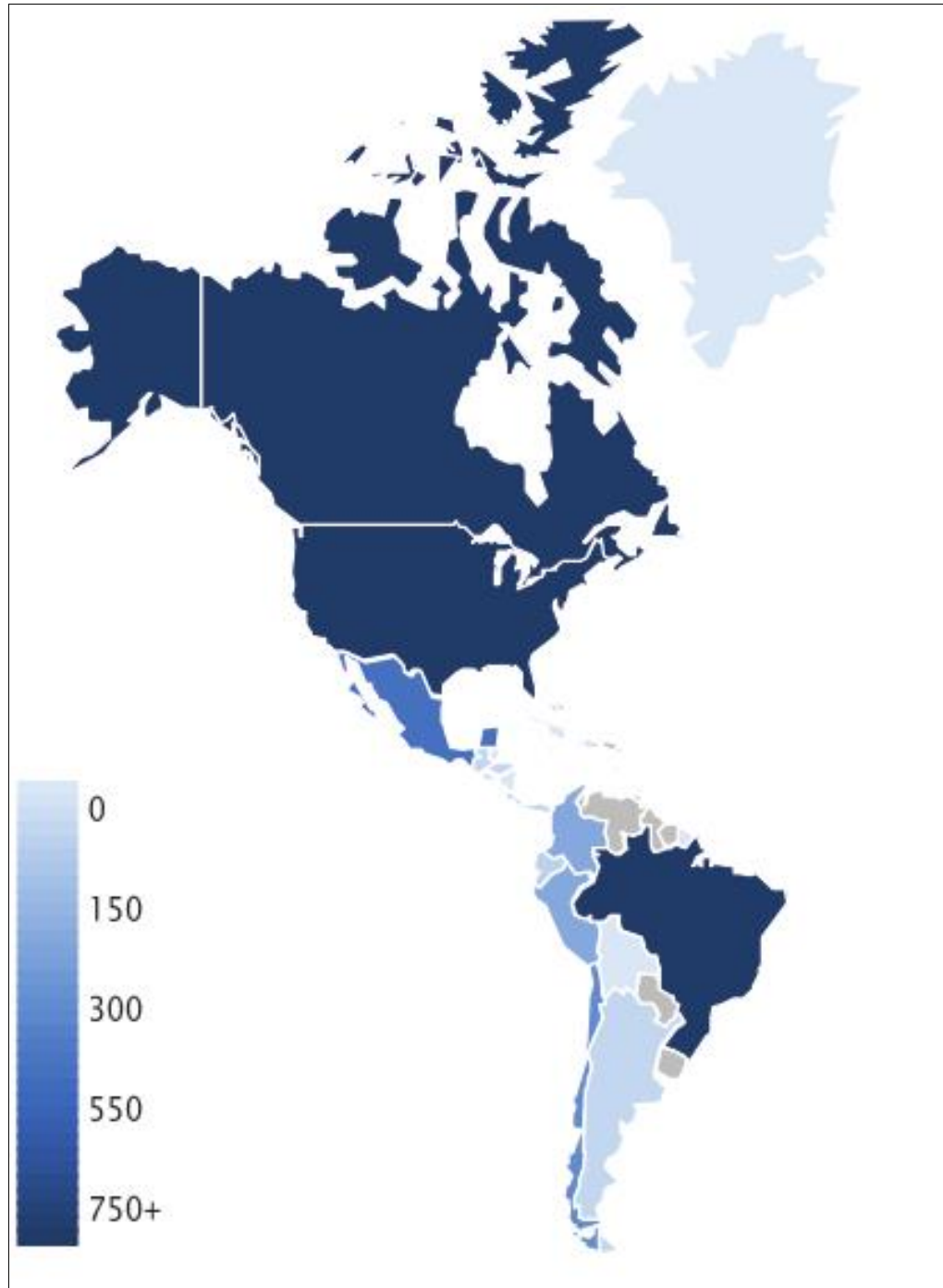
		Capacidad instalada	Potencial remanente
<b>África</b>	África central	104	1,745
	África oriental	216	6,759
	África del Norte	111	189
	África del Sur	63	392
	África occidental	86	3,113
<b>América</b>	Caribe	172	349
	América Central	855	1,512
	América del Norte	4,798	7,662
	América del Sur	2,039	34,638
<b>Asia</b>	Asia central	221	6,087
	Asia oriental	43,542	75,335
	Asia del sur	2,974	17,824
	Asia sudoriental	2,340	13,642
	Asia occidental	1,653	7,700
<b>Europa</b>	Europa oriental	1,924	4,470
	Europa del Norte	4,292	10,920
	Europa del Sur	6,286	16,310
	Europa occidental	6,183	7,243
<b>Oceanía</b>	Australia y Nueva Zelanda	335	794
	PTIP	112	412

*Fuente:* [http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user\\_upload/pdf/2016/WSHPDR\\_Executive\\_Summary\\_Spanish\\_2016.pdf](http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user_upload/pdf/2016/WSHPDR_Executive_Summary_Spanish_2016.pdf)

G. El continente de América consta de cuatro subregiones: el Caribe, América Central, América del Norte y América del Sur. A continuación se muestra mapa de las pequeñas centrales hidroeléctricas que se encuentran instaladas, según un estudio realizado en el año 2016.



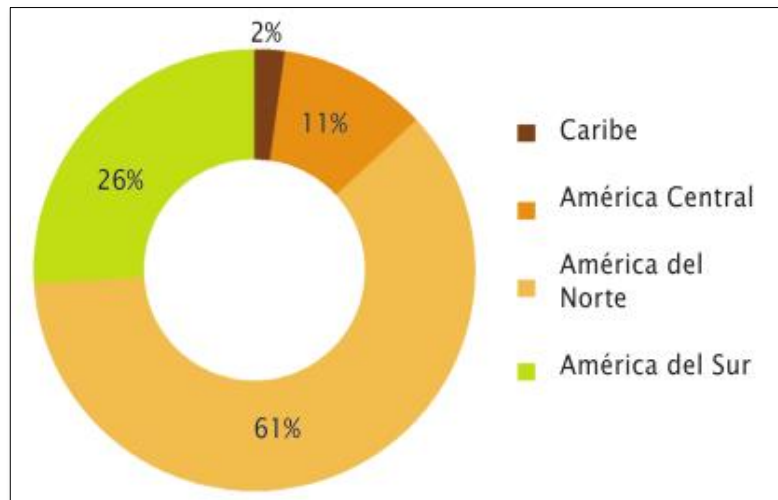
**Imagen 7. Mapa subregiones**



*Fuente:* [http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user\\_upload/pdf/2016/WSHPDR\\_Executive\\_Summary\\_Spanish\\_2016.pdf](http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user_upload/pdf/2016/WSHPDR_Executive_Summary_Spanish_2016.pdf)

En porcentajes se observa:

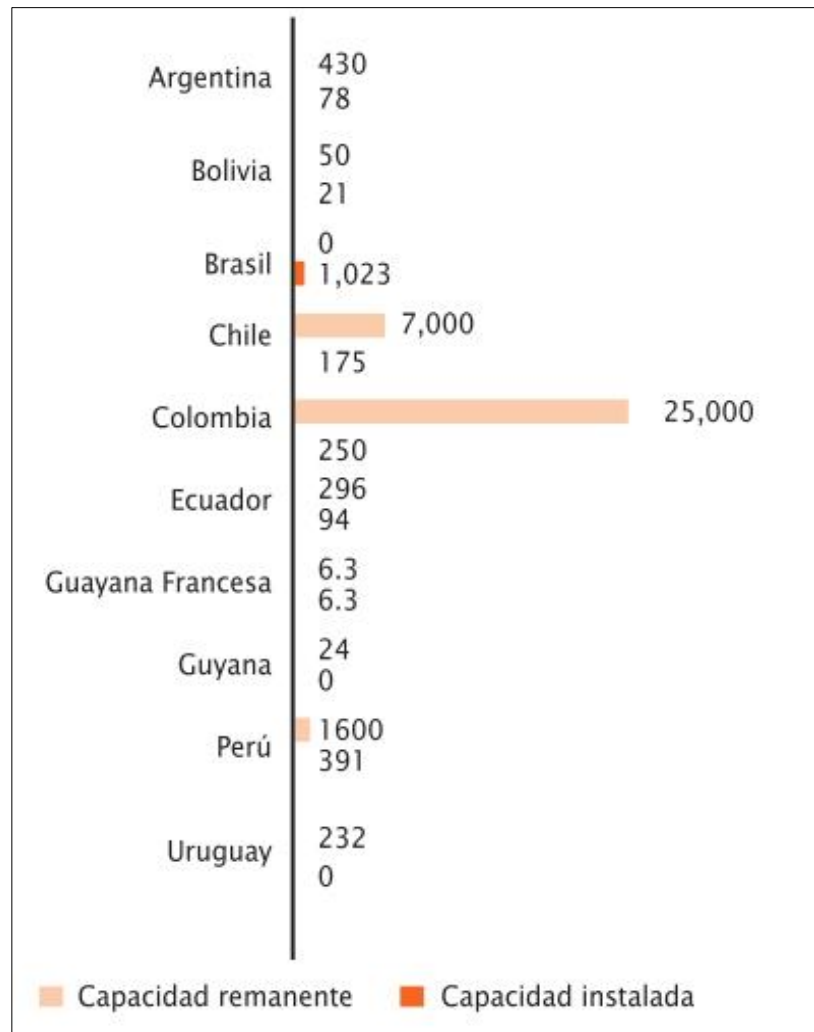
**Imagen 8. Porcentaje**



*Fuente:* [http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user\\_upload/pdf/2016/WSHPDR\\_Executive\\_Summary\\_Spanish\\_2016.pdf](http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user_upload/pdf/2016/WSHPDR_Executive_Summary_Spanish_2016.pdf)

América del sur ocupa el segundo lugar en potencial de desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas. En esta se observan los países Brasil, Chile y Colombia.

**Imagen 9.** Principales regiones



Fuente: [http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user\\_upload/pdf/2016/WSHPDR\\_Executive\\_Summary\\_Spanish\\_2016.pdf](http://www.smallhydroworld.org/fileadmin/user_upload/pdf/2016/WSHPDR_Executive_Summary_Spanish_2016.pdf)