



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE CIVIL**

**DISERTACIÓN DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**“ APLICACIÓN DE SOFTWARE LIBRE PARA EL DISEÑO Y MODELACIÓN DE LAS  
OBRAS HIDRAÚLICAS A FLUJO LIBRE DE UNA PEQUEÑA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA EN EL RÍO ZARAPULLO UBICADO EN LA PROVINCIA DE STO.  
DOMINGO DE LOS TSACHILAS“**

**Elaborado por:**

**CABRERA MITE JOSÈ ALEJANDRO**

**RACINES NAVAS PABLO DANIEL**

**QUITO, 2015**

## RESUMEN

La presente investigación contiene el diseño de pre factibilidad de los componentes a flujo libre de la Pequeña Central Hidroeléctrica “Atenas” ubicada en el río Zarapullo, entiéndase componentes a flujo libre como aquellas estructuras hidráulicas que están a presión atmosférica y éstas dentro de un proyecto hidroeléctrico están presentes en las siguientes partes: Captación, Conducción, Desarenador; por lo tanto la presente investigación hace énfasis en estos tres temas siendo este su alcance.

Dentro de la presente investigación se distinguen cinco partes principales: en la primera (capítulos 1 y 2) se incluyen aspectos teóricos de las ciencias que han sido base para el desarrollo de la misma, debido a esto se podrá encontrar conceptos de hidráulica, hidrología y también aspectos teóricos acerca de las centrales hidroeléctricas, todos estos resultado de una exhaustiva investigación bibliográfica.

En la segunda parte (capítulo 3) se desarrolla el proyecto que es objeto de estudio, se realiza la aplicación de los conceptos previamente mencionados y como resultado se presentan los diseños a nivel de pre factibilidad de la captación, conducción y desarenador, el cálculo se lo ha hecho manualmente a través de tablas, ábacos, etc. El desarrollo de dicho cálculo esta detallado y justificado en cada una de las partes correspondientes; finalmente se incluyen planos que reflejan todo el resultado de los diseños.

Una tercera parte (capítulo 4) trata el aspecto computacional de la investigación en la cual a través de la utilización de software libre se realiza el diseño y modelación de las estructuras hidráulicas previamente diseñadas manualmente, se puede encontrar una introducción teórica de cada uno de los softwares utilizado para después presentar los resultados específicos del proyecto con imágenes.

La cuarta parte (capítulo 5) presupuestos con el costo de la consultoría realizada con software libre para compararla con una consultoría utilizando software original, mostrando las ventajas que estas herramientas disponibles gratis en la web ofrecen.

Finalmente en la quinta parte (capítulo 6) de la investigación se presenta las conclusiones y recomendaciones.

## **ABSTRACT**

The current research contains the pre-feasibility design of free flow components of the Small Hydroelectric Plant called “Athena” that will be located on Zarapullo River; understood as free flow components those hydraulic structures under atmospheric pressure, within an hydroelectric project it’s possible to mention as free flow components the following parts: The Catchment, the conduction channel, and the spillway, that’s because this research makes emphasis only in those topics.

This investigation has been divided in five parts: The First one (Chapter 1 & 3) contains all the theory stuff that was the basis of the research, the readers will find concepts of sciences such as: Hydraulic, Hydrology and specific knowledge of hydroelectric plants, as a result of an exhaustive bibliographic research.

The second part (Chapter 3) has all the information about the project on study, the readers will find the application of theoretical concepts on hydraulic design process; as a result the design of catchment, conduction channel and spillway were presented. In addition within this chapter it’s possible to find the step by step calculus and also the layouts.

The third part (Chapter 4) is about the computational stuff, through the use of free software for design and hydraulic, a collection of images has been presented as result of the project design, preceded of an introduction of each software basics.

After that the fourth part (Chapter 5) contains a budget with the cost of the study using free software showing the designers the economic advantages of performing the design process with this tools available on web.

Finally will find the conclusions and recommendations of the current research.

## DEDICATORIA

El presente trabajo demandó gran esfuerzo pero no es más que el resultado final del sacrificio, constancia, las ganas de hacer las cosas bien y con responsabilidad que durante la carrera he llevado como banderas. Quiero en primer lugar dedicar esto a Dios que me ha permitido llegar hasta aquí y claro al pilar fundamental en mi vida mi familia.

*A mis padres  
(Bolívar y Patricia)*

*A Caterina*

*A mis abuelos  
(Mario e Hilda)*

*A mis tías  
(Wilma y Anita)*

Pablo Racines

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi carrera profesional. A mis padres por haber sido el pilar de mi vida y sin su apoyo no hubiese logrado llegar tan lejos. A mis hermanos por haber estado presente en este camino y haberme acompañado siempre con su apoyo incondicional. A la familia Gabriela que su formación y apoyo ha hecho que logre llegar a estas instancias. A mis amigos que han sido como hermanos en este proceso.

*A mis sobrinos*

*Martín, Abel e Ismael*

*ALEJANDRO CABRERA*

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar quiero agradecer al Padre de todos nosotros a Dios que me ha permitido llegar hasta aquí, esto seguramente es parte del plan que él tiene para mi vida.

Hay tantas cosas por las que agradecer y diversas las personas que en mi camino hacia la consecución de este objetivo han confiado en mí y en lo que soy.

A todas aquellas personas les doy las gracias de todo corazón empezando por mis Padres (Bolívar y Patricia) y mi hermana Caterina siempre constantes conmigo, gracias también a mis abuelos (Mario e Hilda) que son mis segundos padres, a mis tías (Wilma y Anita) siempre dispuestas a ayudarme y a mi familia en general.

Muchas gracias también a todos mis amigos de la facultad y de la vida, por todos los momentos vividos y experiencias adquiridas.

Finalmente quiero agradecer al cuerpo de profesores de la Facultad de Ingeniería Escuela de Civil de la Puce especialmente al Ing. Carlos Luis Navas por toda la ayuda brindada para la realización del presente trabajo, gracias por su tiempo y deferencia hacia mi persona.

*Pablo Racines*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi Madre Dolorosa por su amparo, por haberme acogido en su manto y ser todo en mi vida.

A mis padres por su apoyo y esfuerzo, por haberme guiado y demostrado su cariño siempre.

A mis hermanos por ser mi modelo a seguir y estar siempre a mi lado.

A mis sobrinos, por ser mi fuente de inspiración para seguir adelante en este trayecto de mi vida profesional.

A mi director Ing. Carlos Luis Navas por haberme impartido valores de humildad y generosidad, por su apoyo incondicional durante este proceso de titulación.

*ALEJANDRO CABRERA*

# TABLA DE CONTENIDOS

lista de abreviaturas .....	¡Error! Marcador no definido.
Introducción .....	2
ANTECEDENTES.....	4
ALCANCE.....	5
<b>1    CAPÍTULO I. ASPECTOS BÁSICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1    Planteamiento del Problema .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2    Justificación .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3    Objetivos .....</b>	<b>9</b>
1.3.1    Objetivo General .....	9
1.3.2    Objetivos Específicos.....	9
<b>1.4    Metodología .....</b>	<b>10</b>
<b>2    CAPITULO II. MARCO TEORICO.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>11</b>
2.1.1    MATRIZ ENERGÉTICA Y EL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO .....	11
2.1.2    ÁMBITO LEGAL .....	15
2.1.3    GENERACIÓN Y DEMANDA.....	19
2.1.3.1    PROYECCION DE LA DEMANDA.....	27
2.1.3.2    GENERACIÓN .....	30

2.1.4	POTENCIA Y ENERGÍA .....	32
2.1.4.1	POTENCIA .....	32
	Potencia Instalada y disponible del S.N.I.....	32
2.1.4.2	ENERGÍA .....	34
2.1.5	ENERGÍA HIDRÁULICA .....	35
2.1.5.1	CONCEPTUALIZACION DE LA ENERGIA HIDRÁULICA .....	36
2.1.6	CENTRALES HIDROELÉCTRICAS .....	40
2.1.6.1	Definición.....	40
2.1.6.2	Principio de funcionamiento de una CH.....	40
2.1.6.3	CLASIFICACIÓN.....	41
2.1.6.3.1	Según la utilización del agua.....	44
2.1.6.3.2	Según la altura del salto de agua o desnivel existente .....	48
2.2	COMPONENTES DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELECTRICA.....	51
2.2.1	CAPTACIÓN .....	51
2.2.1.1	GENERALIDADES.....	51
2.2.1.2	UBICACIÓN .....	51
2.2.1.3	CONSTRUCCIÓN .....	52
2.2.1.4	TIPOS DE CAPTACIÓN .....	52
2.2.1.4.1	TOMA LATERAL CON ESPIGONES.....	54
2.2.1.4.2	TOMA EN EL LECHO.....	56
2.2.1.4.3	TOMA CONVENCIONAL.....	59

2.2.2	CONDUCCIÓN.....	63
2.2.2.1	GENERALIDADES.....	63
2.2.2.2	CRITERIOS DE TRAZADO .....	63
2.2.2.3	CANALES.....	64
2.2.2.3.1	TIPOS DE CANALES .....	64
2.2.2.3.2	TIPO DE FLUJO EN CANALES .....	66
2.2.2.3.3	ESTADOS DE FLUJO EN CANALES .....	68
2.2.2.3.4	GEOMETRÍA .....	70
2.2.2.3.5	DISEÑO DE CANALES CON FLUJO UNIFORME .....	72
2.2.2.4	TÚNELES.....	79
2.2.2.4.1	GENERALIDADES .....	79
2.2.2.4.2	DISEÑO .....	80
2.2.3	DESARENADOR.....	82
2.2.3.1	GENERALIDADES.....	82
2.2.3.2	CRITERIOS DE DISEÑO Y FORMULAS .....	83
2.2.3.3	TIPOS.....	88
2.2.3.3.1	DESARENADOR DE LAVADO INTERMITENTE .....	88
2.2.3.3.2	DESARENADOR DE CÁMARA DOBLE .....	90
2.2.3.3.3	DESARENADOR DE LAVADO CONTINUO .....	91
2.2.4	TANQUE DE CARGA .....	93
2.2.5	TUBERÍA DE PRESIÓN .....	95
2.2.6	CASA DE MÁQUINAS .....	97

<b>3</b>	<b>CAPITULO III. DISEÑOS DE PRE FACTIBILIDAD DE LAS OBRAS A FLUJO LIBRE DE LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “ATENAS “(RÍO ZARAPULLO) .....</b>	<b>99</b>
3.1	ESTUDIOS BASICOS E INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....	99
3.1.1	UBICACIÓN .....	99
3.1.2	TOPOGRAFÍA.....	101
3.1.2.1	CARTAS IGM .....	101
3.1.2.2	VISITA DE CAMPO.....	101
3.1.3	GEOLOGIA .....	102
3.1.3.1.1	LITOLOGIA.....	105
3.1.4	HIDROLOGÍA.....	106
3.1.4.1	DATOS ESTACIÓN HIDROMÉTRICA.....	106
3.1.4.2	CAUDAL DE DISEÑO .....	106
3.1.4.3	CAUDAL MÁXIMO (CRECIENTE).....	113
3.1.4.4	CAUDAL MEDIO .....	115
3.1.4.5	CAUDAL ECOLÓGICO .....	116
3.1.5	METEOROLOGIA .....	117
3.2	DISEÑOS DE PREFACTIBILIDAD .....	120
3.2.1	CRITERIOS DE IMPLANTACIÓN.....	120
3.2.1.1	CAPTACIÓN .....	120
3.2.1.2	CONDUCCIÓN.....	120
3.2.1.3	TANQUE DE CARGA .....	120
3.2.1.4	CASA DE MÁQUINAS .....	120

3.2.2	ALTERNATIVAS DE IMPLANTACIÓN .....	121
3.2.2.1	ALTERNATIVA1.....	121
3.2.2.2	ALTERNATIVA2.....	122
3.2.2.3	ALTERNATIVA 3.....	123
3.2.2.3.1	EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	124
3.2.3	DIMENSIONAMIENTO OBRAS DE FLUJO LIBRE.....	125
3.2.3.1	CAPTACIÓN .....	125
3.2.3.1.1	AZUD.....	125
3.2.3.1.2	REJILLA.....	142
3.2.3.1.3	DESRIPIADOR - CANAL DE LIMPIEZA – COMPUERTA.....	146
3.2.3.2	CONDUCCIÓN.....	152
3.2.3.2.1	OPCIÓN 1 (SECCIÓN RECTANGULAR) .....	152
3.2.3.2.2	OPCIÓN 2 (SECCIÓN TRAPEZOIDAL).....	156
3.2.3.2.3	EVALUACIÓN ALTERNATIVAS .....	161
3.2.3.3	DESARENADOR.....	163
3.2.3.3.1	UBICACIÓN.....	164
3.2.3.3.2	CÁLCULO COMPONENTES DEL DESARENADOR .....	164
	DESARROLLO DISEÑO CANAL DE INGRESO .....	166
	DESARROLLO DISEÑO TRANSICIÓN HIDRAULICA.....	168
3.2.3.3.2.3	CÁMARA DESARENADORA.....	169
	DESARROLLO DISEÑO HIDRÁULICO CAMARA DESARENADORA.....	170
	DESARROLLO DEL DISEÑO HIDRAULICO DEL CANAL DIRECTO .....	174
3.2.4	POTENCIA CENTRAL ATENAS.....	182
3.2.5	ENERGÍA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “ATENAS” .....	185

<b>4</b>	<b>SOFTWARE LIBRE EN EL DISEÑO Y MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LOS COMPONENTES A FLUJO LIBRE DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “ATENAS”</b>	<b>186</b>
4.1	SOFTWARE LIBRE	186
4.2	PROGRAMAS	187
4.2.1	(HCANALES)	187
4.2.1.1	GENERALIDADES	187
4.2.1.2	INGRESO DE DATOS	188
4.2.1.2.1	AZUD	188
4.2.1.2.2	CANAL DE CONDUCCIÓN	191
4.2.1.2.3	CANAL DIRECTO DESARENADOR	192
4.2.1.3	RESULTADOS (DISEÑO MANUAL VS HCANALES)	193
4.2.2	SIMULACION HIDRAULICA – (HEC RAS)	200
4.2.2.1	GENERALIDADES	200
4.2.2.2	INGRESO DE DATOS	201
4.2.2.3	RESULTADOS (HEC - RAS VS DISEÑO MANUAL)	222
4.2.2.3.1	VISUALIZACIÓN RESULTADOS HEC - RAS	222
4.2.2.3.2	ANÁLISIS RESULTADOS CÁLCULO MANUAL VS HEC RAS	224
4.2.2.3.3	SIMULACIÓN HIDRÁULICA	228
<b>5</b>	<b>COSTOS DE ESTUDIO DE CONSULTORIA</b>	<b>234</b>
5.1	PRESUPUESTO CONSULTORÍA (SOFTWARE OFICIAL)	234
5.2	ANÁLISIS DE COSTOS DE CONSULTORIA	238
	Conclusiones	239
	Recomendaciones	241
	Bibliografía	242

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Cobertura de Suministro del Servicio por región y provincia .....	13
Tabla 2: Pequeñas Centrales Hidroeléctricas entre 1 y 10 MW (ANEXO 1) .....	21
Tabla 3: Clasificación de las Centrales Hidroeléctricas por su caída .....	42
Tabla 4: Elementos Geométricos de Secciones de CanalFuente: Ven Te Chow, 1994 .....	71
Tabla 5: Límites de Velocidad de Agua en Canales según el tipo de suelo o de revestimiento	73
Tabla 6: Pendientes laterales apropiados para canales construidos en diferentes clases de materiales .....	74
Tabla 7: Secciones Hidráulicas Óptimas .....	75
Tabla 8: Coeficiente de Manning para diferentes tipos de cauce n (Ramiro Ortiz, 2011) .....	77
Tabla 9: Tipos de problemas de cálculo de flujo uniforme .....	78
Tabla 10: Diámetro de partículas según la caída .....	84
Tabla 11: Velocidad de sedimentación de las partículas sólidas en suspensión de acuerdo a su tamaño dadas por Arkhangalski (1935).....	85
Tabla 12: Porcentajes Curva de Duración.....	107
Tabla 13: Caudales Medios Diarios .....	108
Tabla 14: Tabla de Distribución de Frecuencias .....	109
Tabla 15: Tabla ordenada de probabilidad de ocurrencia de caudales.....	110
Tabla 16: Coeficiente K según INERHI.....	114
Tabla 17: Periodo de retorno según OLADE .....	115
Tabla 18: Ecuaciones Azud .....	126
Tabla 19: Perfil de Creager .....	131
Tabla 20: Calculo de pérdidas para un caudal cualquiera.....	133
Tabla 21: Clasificación de los Resaltos Hidráulicos Modificado en Marbello 1997 .....	137
Tabla 22: Coeficiente C.....	150
Tabla 23: Ecuaciones Canal de Ingreso Desarenador.....	165
Tabla 24: Ecuaciones de Transición Desarenador .....	168
Tabla 25: Ecuaciones Cámara Desarenadora .....	169
Tabla 26: Velocidades de Sedimentación w (Vs) calculado por Arkhangalski (1935) en función del diámetro de las partículas.....	170
Tabla 27: Eficiencia del Desarenador.....	172
Tabla 28: Ecuaciones Canal Directo Desarenador .....	173
Tabla 29: Ecuaciones Vertedero (Hacia Tanque de Carga) .....	177
Tabla 30: Perfil de Creager Desarenador.....	178
Tabla 31: Ecuación cálculo de la potencia .....	182
Tabla 32: Presupuesto general proyecto Atenas .....	234
Tabla 33: Desglose Presupuesto proyecto Atenas .....	235

<b>Tabla 34: Desglose Rubro Consultoría y Asesoría .....</b>	<b>237</b>
--	------------

## **LISTA DE GRÁFICOS**

<b>Gráfico 1: Cobertura de Suministro del Servicio por región y provincia.....</b>	<b>14</b>
<b>Gráfico 2: Esquema analítico de Balance de Energía y Potencia.....</b>	<b>27</b>
<b>Gráfico 3: Esquema analítico de Energía y Potencia .....</b>	<b>28</b>
<b>Gráfico 4: Evolución Histórica y Proyección de clientes totales y por grupo de consumo del Ecuador .....</b>	<b>29</b>
<b>Gráfico 5: Infraestructura en Generación para el plan de expansión de generación 2013-2022 .....</b>	<b>33</b>
<b>Gráfico 6: Curva de Duración .....</b>	<b>112</b>
<b>Gráfico 7: Hidrograma .....</b>	<b>113</b>
<b>Gráfico 8: Temperatura correspondiente mes de septiembre 2015 .....</b>	<b>119</b>
<b>Gráfico 9: Planta prediseño del Azud.....</b>	<b>127</b>
<b>Gráfico 10: Coeficientes de Descarga para las Crestas de Cimacio en Pared Vertical .....</b>	<b>128</b>
<b>Gráfico 11: Perfil de Creager.....</b>	<b>132</b>
<b>Gráfico 12: Relación de carga sobre la cresta a la carga del proyecto=<math>H_o/H_o</math> ...</b>	<b>133</b>
<b>Gráfico 13: Parámetros de Diseño Del Colchón Amortiguador Zampeado .....</b>	<b>134</b>
<b>Gráfico 14: Parámetros de diseño de la profundidad (e) del colchón amortiguador .....</b>	<b>138</b>

<b>Gráfico 15: Longitud del Resalto Hidráulico en Función del tirante conjugado .</b>	<b>141</b>
<b>Gráfico 16: Implantación Desarenador .....</b>	<b>164</b>
<b>Gráfico 17: Parámetros generales canal directo Desarenador.....</b>	<b>174</b>
<b>Gráfico 18: Esquema del Vertedero de Paso - Desarenador .....</b>	<b>177</b>
<b>Gráfico 19 : Perfil de Creager Desarenador .....</b>	<b>179</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1: Energía Hidráulica .....</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 2: Tubo de Aspiración .....</b>	<b>38</b>
<b>Ilustración 3: Proceso de Conversión de Energía .....</b>	<b>41</b>
<b>Ilustración 4: Pequeña Central hidroeléctrica en Derivación .....</b>	<b>43</b>
<b>Ilustración 5: Central hidroeléctrica de Agua Fluyente.....</b>	<b>44</b>
<b>Ilustración 6: Central hidroeléctrica de Agua Embalsada.....</b>	<b>45</b>
<b>Ilustración 7: Central hidroeléctrica de Regulación .....</b>	<b>46</b>
<b>Ilustración 8: Central hidroeléctrica de Bombeo .....</b>	<b>47</b>
<b>Ilustración 9: Central hidroeléctrica de Alta Presión .....</b>	<b>48</b>
<b>Ilustración 10: Central hidroeléctrica de Media Presión .....</b>	<b>49</b>
<b>Ilustración 11: Central hidroeléctrica de Baja Presión.....</b>	<b>50</b>
<b>Ilustración 12: Toma lateral con Espigones .....</b>	<b>54</b>
<b>Ilustración 13: Elementos de una Bocatoma en lecho y su vista lateral .....</b>	<b>56</b>
<b>Ilustración 14: Corte de la toma de agua de una Bocatoma convencional .....</b>	<b>60</b>
<b>Ilustración 15: Vista superior de la toma de Fondo .....</b>	<b>61</b>
<b>Ilustración 16: Canal Natural (Rio).....</b>	<b>64</b>
<b>Ilustración 17: Canal Artificial (Canal de Conducción de una Central hidroeléctrica).....</b>	<b>65</b>
<b>Ilustración 18: Flujo en Canales .....</b>	<b>67</b>
<b>Ilustración 19: Túnel de Conducción .....</b>	<b>80</b>
<b>Ilustración 20: Túnel Sección Baúl.....</b>	<b>81</b>

<b>Ilustración 21 : Proceso de Sedimentacion .....</b>	<b>84</b>
<b>Ilustración 22: Desarenador de lavado intermitente .....</b>	<b>90</b>
<b>Ilustración 23: Desarenador de cámara doble .....</b>	<b>91</b>
<b>Ilustración 24: Desarenador de lavado continuo.....</b>	<b>92</b>
<b>Ilustración 25: Tanque de carga .....</b>	<b>94</b>
<b>Ilustración 26: Tubería de presión.....</b>	<b>95</b>
<b>Ilustración 27: Casa de máquinas .....</b>	<b>98</b>
<b>Ilustración 28: Ubicación de la Central hidroeléctrica .....</b>	<b>99</b>
<b>Ilustración 29: Esquema general del proyecto .....</b>	<b>100</b>
<b>Ilustración 30: Placas Tectónicas.....</b>	<b>103</b>
<b>Ilustración 31: Estratigrafía de la cuenca del rio zarapullo.....</b>	<b>104</b>
<b>Ilustración 32: Rasgos Geomorfológicos en la Cuenca del Rio Zarapullo .....</b>	<b>105</b>
<b>Ilustración 33: Detalle meteorológico diario en la cuenca del rio zarapullo.....</b>	<b>117</b>
<b>Ilustración 34: Temperatura correspondiente al mes de septiembre 2015.....</b>	<b>119</b>
<b>Ilustración 35: Alternativa 1 .....</b>	<b>121</b>
<b>Ilustración 36: Alternativa 2 .....</b>	<b>122</b>
<b>Ilustración 37: Alternativa 3 .....</b>	<b>123</b>
<b>Ilustración 38: Parámetros perfil de Creager .....</b>	<b>129</b>
<b>Ilustración 39: Corte Toma Convencional.....</b>	<b>142</b>
<b>Ilustración 40: Toma de agua, Desripiador y Rebosadero de una Bocatoma Lateral.....</b>	<b>142</b>
<b>Ilustración 41: Desarenador Intermitente.....</b>	<b>163</b>

## LISTA DE MEMORIAS DE CÁLCULO

<b>Memorias 1:</b> DISEÑO AZUD.....	265
<b>Memorias 2:</b> CÁLCULO PROFUNDIDAD NORMAL Y CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DEL RÍO ZARAPULLO EN LA CAPTACIÓN (CAUDAL DE CRECIDA).....	271
<b>Memorias 3:</b> DISEÑO DE LA REJILLA.....	273
<b>Memorias 4:</b> DISEÑO DEL DESRIPIADOR Y CANAL DE LIMPIEZA .....	275
<b>Memorias 5:</b> DISEÑO DEL CANAL DE CONDUCCIÓN .....	276
<b>Memorias 6</b> DISEÑO DEL DESRIPIADOR .....	278

## LISTA DE ANEXOS (FOTOGRAFIAS)

<b>ANEXO 1:</b> Proyectos Hidroeléctricos potencia Instalable entre 1 y 10 MW .....	244
<b>ANEXO 2:</b> Topografía .....	245
<b>ANEXO 3:</b> SUELO TOBACEO EN LAS PENDIENTES DE LA CUENCA DEL RIO ZARAPULLO .....	246
<b>ANEXO 4:</b> NUBOSIDAD EN LA CUENCA DEL RIO ZARAPULLO.....	246
<b>ANEXO 5:</b> Registro de Caudales Anuales.....	247
<b>ANEXO 6:</b> Registro de Caudales Anuales.....	248
<b>ANEXO 7:</b> Registro de Caudales Anuales.....	249
<b>ANEXO 8:</b> Registro de Caudales Anuales.....	250
<b>ANEXO 9:</b> Registro de Caudales Anuales.....	251
<b>ANEXO 10:</b> Registro de Caudales Anuales.....	252
<b>ANEXO 11:</b> Registro de Caudales Anuales.....	252
<b>ANEXO 12:</b> Registro de Caudales Anuales.....	253
<b>ANEXO 13:</b> Registro de Caudales Anuales.....	254
<b>ANEXO 14:</b> Registro de Caudales Anuale.....	256
<b>ANEXO 15:</b> Registro de Caudales Anuales.....	257
<b>ANEXO 16:</b> Registro de Caudales Anuales.....	258
<b>ANEXO 17:</b> Registro de Caudales Anuales.....	259
<b>ANEXO 18:</b> Planificación recorrido del sitio de implantación proyecto” Atenas” .....	260
<b>ANEXO 19:</b> RECORRIDO ESTRIBACIONES RIO ZARAPULLO .....	261
<b>ANEXO 20:</b> MEDICIÓN DE CAUDALES RIO ZARAPULLO “HIDRÓMETRO” .....	261
<b>ANEXO 21:</b> RÍO ZARAPULLO .....	262





## INTRODUCCIÓN

El sector eléctrico del país atraviesa el mejor momento de su historia, ya que se ha impulsado una inversión sin precedentes en varios proyectos hidroeléctricos contribuyendo a un cambio en la matriz energética Ecuatoriana, este desarrollo del sector eléctrico es necesario para el desenvolvimiento de las actividades productivas del Ecuador. El desarrollo que se prevé una vez culminado el cambio de la matriz energética, afectará directamente a la economía del país fomentando el incremento de plazas de trabajo generadas por las empresas públicas y privadas que incurrirán en la ejecución de dichos proyectos.

La alta incidencia de la energía eléctrica en la vida cotidiana de las personas afecta directamente en el desarrollo del país, sin ésta nos privaríamos de muchas actividades como: trabajo, movilidad, comunicación, tecnología, salud, etc. Esta dependencia nos impulsa a buscar nuevas fuentes primarias para convertirlas en energía eléctrica cuidando de varios aspectos, como son el medio ambiente, recursos renovables, y la sustentabilidad de las fuentes de aprovechamiento. La conservación de la biodiversidad en nuestro país ha sido un tema incorporado en los últimos años a través del Plan Nacional para el Buen Vivir (2009-2013), donde la ejecución de proyectos hidroeléctricos y el aprovechamiento de recursos hídricos ha sido la mejor vía de obtención de energía con niveles de impactos ambientales casi nulos.

El desarrollo de proyectos para la obtención de energía eléctrica requiere de estudios de pre factibilidad, mismos que demandan gran cantidad de tiempo y dinero. Las pocas empresas consultoras existentes en el país no cuentan con los recursos necesarios para impulsar el desarrollo de proyectos hidroeléctricos, dejando éste trabajo a empresas extranjeras que subcontratan a nuestro personal, llevándose la mayor parte de la utilidad de los proyectos.

El presente trabajo es un estudio de pre factibilidad del proyecto hidroeléctrico “Atenas” mismo que además del diseño hidráulico de los componentes a flujo libre incursiona en la utilización de software libre para diseño y simulación hidráulica de dichos componentes obteniendo resultados óptimos que economizan tiempo y dinero; por lo tanto abaratan costos.

No se pretende constituir una fuente completa de información sobre los temas a tratar a continuación, el presente trabajo entrega como producto los diseños hidráulicos a nivel de pre factibilidad de los componentes a flujo libre de una Pequeña Central Hidroeléctrica que será implantada en el Rio Zarapullo en las coordenadas especificadas, dichos diseños basados en estudios de hidrológicos, topográficos e información obtenida in situ el costo del estudio será definido por los autores según su participación.

## ANTECEDENTES

El presente estudio se ha desarrollado a partir de una exhaustiva investigación que tiene como bases principales ciencias como la hidráulica, hidrología, y conocimientos específicos sobre centrales hidroeléctricas; dichos conocimientos desarrollados a través de la historia han sido recogidos por varios autores en sus respectivos libros, entre los principales autores de los que se ha tomado referencia están: U.S Bureau of Reclamation, Sviatoslav Krochin, Ven Te Chow, Ramiro Ortiz, sus libros han sido un gran aporte en la elaboración de la presente investigación.

En cuanto al contenido del presente estudio si bien es cierto se trata del diseño hidráulico de las obras a flujo libre de una Pequeña Central Hidroeléctrica ubicada en el Río Zarapullo, por motivos académicos se repasa conceptualmente criterios de cada una de las ciencias ya mencionadas; estos han sido vitales en el proceso de diseño, los esfuerzos en el estudio han sido dirigidos hacia la consecución de obras hidráulicas que responden a eficiencia hidráulica, economía y facilidad constructiva,

Posteriormente y con el objetivo de actualizar el tema del diseño hidráulico en las centrales hidroeléctricas se ha incluido la parte computacional de modelación hidráulica, misma que se ha realizado a través de software libre disponible gratuitamente en la web, estos son una gran herramienta en el proceso de diseño y comprobación de resultados ya que permite observar el comportamiento del agua dentro de las diferentes estructuras hidráulicas.

Al usar software libre en el presente estudio se pretende incentivar su uso, y va dirigido especialmente para aquellos que se dedican al diseño de estructuras hidráulicas y que carecen de herramientas actualizadas.

## **ALCANCE**

El alcance del presente estudio comprende los siguientes puntos: los diseños hidráulicos a nivel de pre factibilidad de los componentes a flujo libre del proyecto Hidroeléctrico “Atenas” ubicado en el Río Zarapullo, en la provincia de Sto. Domingo de los Tsáchilas; el uso de software libre para el diseño, modelación hidráulica y comprobación de resultados; el análisis técnico de los resultados obtenidos; y finalmente los costos de consultoría correspondientes al estudio realizado.

Cabe mencionar que el presente estudio está enfocado a la parte hidráulica y no contiene el resto de ingenierías involucradas en un proyecto de gran envergadura como lo es la construcción de una Central Hidroeléctrica; otro aspecto que es importante recalcar es que se pretende a través de la investigación lograr una gran especificidad concentrándonos en los componentes a flujo libre dentro una central hidroeléctrica (capitación, conducción, desarenador) , por esta razón se trata con profundidad solamente dichos temas tanto en la parte teórica como práctica . La parte correspondiente a flujo a presión no entra dentro del alcance del presente estudio.

# **1 CAPÍTULO I. ASPECTOS BÁSICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1 Planteamiento del Problema**

Actualmente son muy pocos los estudios de ingeniería con los que se cuenta en relación al proceso de diseño de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en el país y más escaso aún es encontrar estudios actualizados sobre este tema, existen programas computacionales que brindan resultados con amplia precisión, por lo que es necesario realizar esta investigación.

La construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas en varios sectores de nuestro país podría solventar la escasez de energía eléctrica del sector rural, la energía eléctrica de las grandes centrales hidroeléctricas está destinada al abastecimiento de las grandes ciudades esta investigación nace como la respuesta ha dicho problema. El sector rural carece de facilidad de acceso e infraestructura vial, es complicado abastecer de energía eléctrica a dichos poblados y hacerlo requiere grandes longitudes de líneas de transmisión y construcción de torres, esto es ineficiente ya que se podría descentralizar la energía eléctrica construyendo pequeñas centrales en lugares donde se las demande.

La falta de energía eléctrica en el sector rural es uno de los principales factores que ocasionan la migración campesina a ciudades grandes donde al no conseguir un trabajo estable se ven obligados a caer en la mendicidad. La implementación de energía eléctrica para el sector rural es una solución para evitar migraciones a las grandes ciudades, generando fuentes de trabajo, mejorar el estilo de vida para poblados ubicados en múltiples regiones de nuestro país.

Ecuador es un país en vías de desarrollo por lo cual de acuerdo al Plan Nacional para el Buen vivir 2009-2013 la matriz energética del país necesita ser expandida principalmente en el sector eléctrico, explica a su vez que el país tiene un crecimiento poblacional por lo cual es necesario afrontar dichos cambios del futuro previniendo escasez de energía eléctrica con un sistema que tenga una visión global de esta necesidad.

La creciente necesidad de consultorías que entreguen productos en tiempos reducidos, implica la implementación de nuevas tecnologías entre estas están programas computacionales cuyo costo de adquisición encarece los presupuestos para estudios de pre factibilidad, por lo cual esta investigación provee de herramientas para abaratar costos usando software libre que tienen el mismo desempeño pero sin costosas licencias.

## 1.2 Justificación

El Gobierno Nacional del Ecuador en su Plan Nacional del Buen Vivir estableció como uno de sus objetivos la participación de las energías renovables para la producción de energía limpia, dentro de este marco se han llevado a cabo en los últimos años proyectos que tienen por objetivo cambiar la matriz energética en el Ecuador principalmente enfocándose en recursos renovables que en el pasado fueron muy poco aprovechados y que son abundantes.

Específicamente el Gobierno Nacional se ha enfocado en los últimos años en el aprovechamiento de los Recursos Hídricos que posee el Ecuador, para esto se han construido grandes Centrales Hidroeléctricas en varios lugares dentro del Territorio Nacional que servirán para abastecer la gran demanda energética. Existen diversos estudios de ingeniería para este tipo de proyectos pero muy poco se ha estudiado sobre las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas que abastecen zonas específicas cercanas al lugar en donde son implantadas o que pueden tener uso privado; con el fin de suplir esta necesidad el presente trabajo pretende ser un documento de referencia para ingenieros, estudiantes y para quien lo requiera ya que dentro del mismo se desarrolla estudios enfocados en el proceso de diseño de una Pequeña Central Hidroeléctrica , además acorde con la contemporaneidad de nuestro estudio incorporaremos el uso de software libre para el diseño y modelación hidráulica de los componentes a flujo libre de una Pequeña central Hidroeléctrica ubicada en el Río Zarapullo (Proyecto Atenas). Por las razones ya mencionadas se justifica la realización de esta investigación.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Utilizar software libre para el diseño y modelación hidráulica de los componentes a flujo libre de una Pequeña Central Hidroeléctrica ubicada en el Río Zarpullo (Proyecto Atenas)

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar los diseños hidráulicos a nivel de pre factibilidad de los componentes a flujo libre de una Pequeña Centra Hidroeléctrica ubicada en el Río Zarpullo (Proyecto Atenas).
- Analizar si existe una ventaja económica al utilizar estos programas de software libre para el diseño y modelación hidráulica.
- Analizar los resultados obtenidos con los programas computacionales y determinar su grado de confiabilidad.

## **1.4 Metodología**

La investigación tendrá un eje central, es decir un método que se aplicará en todo el trabajo; el método deductivo, por la composición del estudio partiremos de conceptos generales como definiciones hasta llegar a los aspectos específicos como son los diseños a nivel de pre factibilidad y la aplicación del software libre.

Posteriormente se aplicaran otros métodos complementarios: el método histórico que consiste en recolectar datos de fuentes bibliográficas y estudios realizados así obtendremos información de caudales históricos del río en estudio como parte de los datos requeridos para estimar el caudal de diseño; después aplicaremos el método descriptivo en las visitas de campo y simultáneamente una técnica de investigación muy antigua la observación ya que se harán visitas de campo para levantar información en el lugar de implantación del proyecto, el último método de investigación que utilizaremos es la mayéutica que consiste en obtener información de forma oral; se la aplicará en la relación tutor – tesisistas durante el desarrollo de la investigación, a través de este texto dejamos constancia de nuestro proceder investigativo con su debida justificación , además hacemos la aclaración que el detalle de los métodos no se encontrarán dentro del trabajo.

## **2 CAPITULO II. MARCO TEORICO**

### **2.1 ASPECTOS GENERALES**

#### **2.1.1 Matriz Energética y el Sector Eléctrico Ecuatoriano**

Cuarenta años de explotación petrolera, realizada en la amazonia ecuatoriana, ha permitido mantener la economía del país, motivo por el cual es altamente dependiente de los hidrocarburos que representaron en los años 2004 y 2010 exportaciones del 57%, aportando así el 26% de ingresos fiscales. La búsqueda de nuevas fuentes de energía renovable han llevado a nuestro país a usar uno de los recursos más importantes, el agua, el aprovechamiento adecuado de este recurso generará un impacto positivo en la planificación y funcionamiento del sistema energético nacional, adoptando criterios de sustentabilidad, eficiencia energética, desarrollo tecnológico, inclusión social y territorial, mitigación del cambio climático, con el objeto de lograr el tan mencionado cambio en la Matriz Energética.

La situación geográfica del Ecuador permite que tenga un gran potencial de Recursos Hídricos, dos grandes vertientes tanto la del Pacífico como la de amazonia hacen un conjunto de 31 sistemas hídricos, que cuenta con 79 cuencas hidrográficas y 137 sub cuencas, la mayor parte de estos recursos aún no han sido aprovechados; si bien es cierto están en curso grandes proyectos hidroeléctricos estos tienen por finalidad abastecer a las grandes ciudades y sobre todo al sector industrial, por esta razón se hace necesario proyectos puntuales de micro generación para abastecer lugares cercanos, o en su defecto, sumarlos al potencial energético del país, este aprovechamiento solucionará el déficit de energía localizados alrededor del territorio nacional que se estima aumente en los próximos años debido al proceso de incremento poblacional proyectado.

La importancia de incorporar proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas además de dar independencia energética y fuentes de trabajo a las zonas en donde se las

implante optimiza recursos ya que no es necesario la construcción de grandes longitudes de líneas de transmisión para que la energía producida por la central sea aprovechada.

Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas son una fuente de energía limpia la misma que puede sumarse al Sistema de Electrificación Nacional, la Mini Central Hidroeléctrica de Eco luz ubicada en Papallacta es uno de los primeros proyectos de esta magnitud y potencial que ha venido funcionando desde 1965, con la utilización inicial de una turbina, dos décadas después se instaló su segunda turbina generando una potencia de 6.2 Mw. La Micro Central Hidroeléctrica instalada en Zamora Chinchipe para la compañía minera ECSA genera 19 Kw cubriendo la demanda energética del campamento, estos proyectos han sido realizados con mano de obra ecuatoriana, citados estos dos proyectos cabe recalcar que el país al encontrarse en vías de desarrollo tiene la capacidad de ejecutar proyectos hidroeléctricos.

Al paso de los años la cobertura de energía eléctrica se ha intensificado como se muestra en el siguiente cuadro, el sector rural ha dado paso a una mayor demanda de energía, cuya respuesta tendrá que ser la construcción de estas Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

**Tabla 1: Cobertura de Suministro del Servicio por región y provincia**

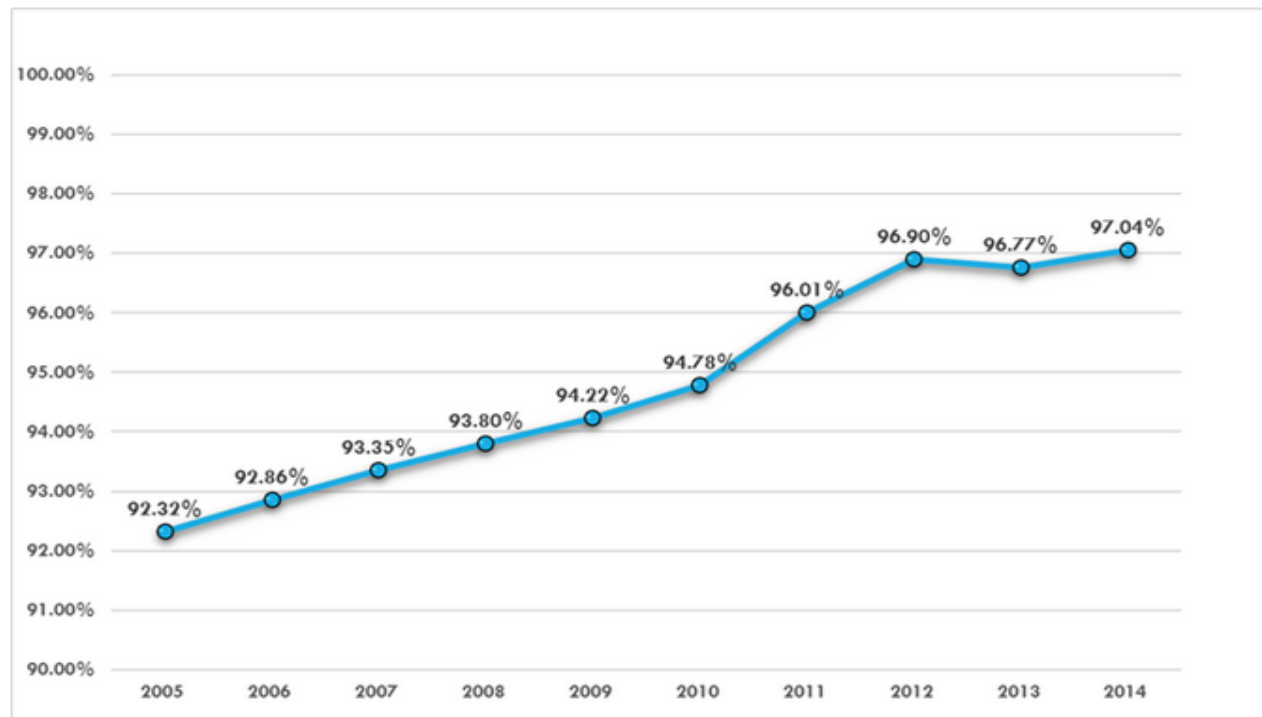
Región / Provincia	AÑO									
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Región Sierra</b>	<b>94.81%</b>	<b>95.27%</b>	<b>95.69%</b>	<b>96.08%</b>	<b>96.43%</b>	<b>96.91%</b>	<b>97.38%</b>	<b>97.78%</b>	<b>98.00%</b>	<b>98.48%</b>
Azuay	96.18%	96.55%	96.88%	97.16%	97.41%	97.56%	97.52%	97.76%	98.15%	98.76%
Bolívar	82.92%	84.07%	85.16%	86.18%	87.14%	88.21%	89.03%	89.73%	90.68%	90.85%
Cañar	93.83%	94.45%	95.00%	95.49%	95.92%	95.92%	96.21%	96.35%	95.78%	96.18%
Carchi	95.99%	96.34%	96.66%	96.93%	97.17%	97.34%	97.52%	97.68%	97.95%	99.07%
Chimborazo	87.43%	88.27%	89.06%	89.81%	90.52%	91.79%	93.45%	94.92%	95.60%	94.26%
Cotopaxi	90.81%	91.11%	91.36%	91.58%	91.77%	92.03%	92.49%	92.83%	92.87%	96.87%
Imbabura	93.64%	94.38%	95.06%	95.70%	96.30%	97.36%	98.30%	98.85%	98.33%	99.25%
Loja	89.21%	90.47%	91.67%	92.81%	93.89%	94.88%	96.92%	97.73%	98.60%	99.37%
Pichincha	98.31%	98.50%	98.69%	98.85%	99.00%	99.29%	99.41%	99.42%	99.46%	99.47%
Santo Domingo de los Tsáchilas	95.65%	95.90%	96.13%	96.35%	96.56%	96.93%	97.24%	98.07%	98.99%	98.88%
Tungurahua	93.05%	93.78%	94.44%	95.02%	95.54%	96.19%	96.88%	98.10%	98.02%	99.46%
<b>Región Costa</b>	<b>91.56%</b>	<b>92.06%</b>	<b>92.51%</b>	<b>92.94%</b>	<b>93.34%</b>	<b>93.82%</b>	<b>95.76%</b>	<b>96.90%</b>	<b>96.16%</b>	<b>96.07%</b>
El Oro	96.19%	96.50%	96.78%	97.04%	97.28%	97.38%	96.09%	96.64%	97.54%	98.18%
Esmeraldas	82.81%	84.15%	85.38%	86.53%	87.60%	89.03%	93.66%	95.46%	90.83%	91.51%
Guayas	94.99%	95.11%	95.21%	95.31%	95.39%	95.42%	96.62%	96.87%	95.81%	95.78%
Los Ríos	87.60%	88.63%	89.58%	90.45%	91.25%	91.52%	93.42%	97.39%	97.50%	98.37%
Manabí	86.51%	87.45%	88.33%	89.16%	89.94%	91.34%	96.91%	98.22%	98.52%	97.43%
Santa Elena	87.30%	88.02%	88.72%	89.38%	90.02%	91.42%	88.90%	92.90%	92.83%	90.81%
<b>Región Amazónica</b>	<b>74.93%</b>	<b>76.84%</b>	<b>78.60%</b>	<b>80.22%</b>	<b>81.72%</b>	<b>83.89%</b>	<b>85.53%</b>	<b>88.61%</b>	<b>91.44%</b>	<b>93.70%</b>
Morona Santiago	68.95%	70.37%	71.76%	73.12%	74.45%	77.13%	76.21%	83.87%	85.25%	90.95%
Napo	77.74%	80.36%	82.67%	84.70%	86.50%	87.36%	87.13%	87.33%	88.22%	86.97%
Orellana	78.07%	79.06%	80.03%	80.98%	81.91%	82.15%	81.59%	81.40%	81.59%	98.11%
Pastaza	82.21%	83.47%	84.65%	85.76%	86.81%	88.52%	93.07%	95.74%	96.09%	87.58%
Sucumbíos	77.15%	78.68%	80.13%	81.51%	82.83%	86.41%	88.51%	89.70%	95.26%	96.10%

Zamora Chinchipe	70.05%	73.26%	76.14%	78.71%	81.01%	83.07%	87.46%	92.61%	97.94%	98.88%
<b>Región Insular</b>	<b>98.40%</b>	<b>98.70%</b>	<b>98.93%</b>	<b>99.12%</b>	<b>99.28%</b>	<b>99.50%</b>	<b>99.34%</b>	<b>99.48%</b>	<b>99.67%</b>	<b>99.67%</b>
Galápagos	98.41%	98.70%	98.93%	99.13%	99.28%	99.50%	99.34%	99.48%	99.67%	99.67%
<b>Zonas No Delimitadas</b>	<b>75.37%</b>	<b>76.69%</b>	<b>77.96%</b>	<b>79.19%</b>	<b>80.38%</b>	<b>81.73%</b>	<b>79.16%</b>	<b>85.74%</b>	<b>86.61%</b>	<b>83.08%</b>
<b>Nacional</b>	<b>92.32%</b>	<b>92.86%</b>	<b>93.35%</b>	<b>93.80%</b>	<b>94.22%</b>	<b>94.78%</b>	<b>96.01%</b>	<b>96.90%</b>	<b>96.77%</b>	<b>97.04%</b>

Fuente: CONELEC (<http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10275&l=1>)

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

**Gráfico 1: Cobertura de Suministro del Servicio por región y provincia**



Fuente : CONELEC :<http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10275&l=1> (2005-2014)

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

### **2.1.2 Ámbito Legal**

A continuación se presentan las principales normas vigentes relacionadas con la planificación y la energía eléctrica.

La Constitución Política del Ecuador, vigente desde el 20 de octubre de 2008, en relación con la planificación y el sector eléctrico, establece principalmente lo siguiente en el ámbito legal:

“Art. 3. Son deberes primordiales del Estado: Planificar el desarrollo nacional, para acceder al buen vivir.”

“Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.”

“Art. 261.- El Estado Central tendrá competencias exclusivas sobre: la planificación nacional, los recursos energéticos, minerales, hidrocarburos, hídricos, el control y administración de las empresas públicas nacionales.”

“Art. 279.- El sistema nacional descentralizado de planificación participativa se conformará por un Consejo Nacional de Planificación, este consejo tendrá por objetivo dictar los lineamientos, las políticas y aprobar el Plan Nacional de Desarrollo, y será presidido por la Presidenta o Presidente de la República.

“Los consejos de planificación en los gobiernos autónomos descentralizados estarán presididos por sus máximos representantes e integrados de acuerdo con la ley.”

“Art. 280.- El Plan Nacional de Desarrollo es el instrumento al que se sujetarán las políticas, programas y proyectos públicos; la programación y ejecución del presupuesto del estado; y la inversión y la asignación de los recursos públicos; y coordinar las competencias exclusivas entre el Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados. Su observancia será de carácter obligatorio para el sector público e indicativo para los demás sectores.”

“Art. 284.- La política económica tendrá los siguientes objetivos: Incentivar la producción nacional, y las actividades productivas complementarias en la integración regional. Asegurar la soberanía alimentaria y energética. ”

“Art. 289. La contratación de deuda pública en todos los niveles del Estado se regirá por las directrices de la respectiva planificación y presupuesto,”

“Art. 313.- El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, Los sectores estratégicos, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, sé consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, el agua, y los demás que determine la ley.”

“Art. 314.- El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de energía eléctrica. El Estado garantizará que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad. El Estado dispondrá que los precios y tarifas de los servicios públicos sean equitativos, y establecerá su control y regulación.”

“Art. 315.- El Estado constituirá empresas públicas para la gestión de sectores estratégicos, la prestación de servicios públicos, el aprovechamiento sustentable de recursos naturales o de bienes públicos y el desarrollo de otras actividades económicas. Las empresas públicas estarán bajo la regulación y el control específico de los organismos pertinentes, de acuerdo con la ley; funcionarán como sociedades de derecho público, con personalidad jurídica, autonomía financiera, económica, administrativa y de gestión, con altos parámetros de calidad y criterios empresariales, económicos, sociales y ambientales. Los excedentes podrán destinarse a la inversión y reinversión en las mismas empresas o sus subsidiarias, relacionadas o asociadas, de carácter público, en niveles que garanticen su desarrollo.

Los excedentes que no fueran invertidos o reinvertidos se transferirán al Presupuesto General del Estado. La ley definirá la participación de las empresas públicas en empresas mixtas en las que el Estado siempre tendrá la mayoría accionaria, para la participación en la gestión de los sectores estratégicos y la prestación de los servicios públicos.”

“Art. 316.- El Estado podrá delegar la participación en los sectores estratégicos y servicios públicos a empresas mixtas en las cuales tenga mayoría accionaria. La delegación se sujetará al interés nacional y respetará los plazos y límites fijados en la ley para cada sector estratégico. El Estado podrá, de forma excepcional, delegar a la iniciativa privada y a la economía popular y solidaria, el ejercicio de estas actividades, en los casos que establezca la ley.”

“Art. 317.- Los recursos naturales no renovables pertenecen al patrimonio inalienable e imprescriptible del Estado. En su gestión, el Estado priorizará la responsabilidad intergeneracional, la conservación de la naturaleza, el cobro de regalías u otras contribuciones no tributarias y de participaciones empresariales; y minimizará los impactos negativos de carácter ambiental, cultural, social y económico.”

“Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público. La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley.”

“Art. 326.- El derecho al trabajo se sustenta en los siguientes principios: Se prohíbe la paralización de los servicios públicos de salud y saneamiento ambiental, educación, justicia, bomberos, seguridad social, energía eléctrica.”

Art. 375.- El Estado, en todos sus niveles de gobierno, garantizará el derecho al hábitat y a la vivienda digna, para lo cual: Generará la información necesaria para el diseño de estrategias y programas que comprendan las relaciones entre vivienda, servicios. Mantendrá un catastro nacional integrado georreferenciado, de hábitat y vivienda. Garantizará la dotación ininterrumpida de los servicios públicos de agua potable y electricidad a las escuelas y hospitales públicos.”

“Art. 408.- Son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado los recursos naturales no renovables. Estos bienes sólo podrán ser explotados en estricto cumplimiento de los principios ambientales establecidos en la Constitución. El Estado garantizará que los mecanismos de producción, consumo y uso de los recursos naturales y la energía preserven y recuperen los ciclos naturales.”

“Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico ni el derecho al agua.”

“Art. 423.- La integración, en especial con los países de Latinoamérica y el Caribe será un objetivo estratégico del Estado. En todas las instancias y procesos de integración, el Estado ecuatoriano se comprometerá a: ...la cooperación y complementación energética sustentable.”

“Disposición Transitoria 28.- La ley que regule la participación de los gobiernos autónomos descentralizados en las rentas por la explotación o industrialización de los recursos no renovables, no podrá disminuir las rentas establecidas en la ley de asignaciones del 5% de las rentas generadas por la venta de energía que realicen las Centrales Hidroeléctricas de Paute, Pisayambo y Agoyán (Ley 047) para beneficio de las provincias de Azuay, Cañar, Morona Santiago y Tungurahua.”

### **2.1.3 GENERACIÓN Y DEMANDA**

La determinación de la demanda y generación de energía eléctrica para una comunidad, pueblo o ciudad, es una pieza fundamental para determinar el consumo de la población y su proyección a futuro para un periodo de años determinado. En un tiempo prolongado esta proyección conlleva más costos en los diseños y por ende en la construcción.

Para realizar el análisis de demanda de energía de una población, muchas veces la información es escasa, esto provoca que al realizar el estudio de demanda se tenga que recurrir a los datos actuales o de proyecciones de energía a futuro. Dada esta situación es importante que el desarrollo del sector eléctrico sea estratégico y organizado, por lo cual se debe garantizar el abastecimiento a futuro de energía eléctrica.

El incremento de la generación hidroeléctrica disminuye la generación termoeléctrica reduciendo el impacto que estas generan en el medio ambiente, fortaleciendo a la red de transmisión y distribución de energía, adecuándolas para futuras condiciones de oferta y demanda de electricidad.

La proyección de la demanda es un punto de partida fundamental para una planificación, ya que contempla una serie de hipótesis que deben ser sustentadas de acuerdo a la evolución histórica de electricidad registradas en el país, los impactos producidos por la incorporación de cargas especiales al sistema, variables políticas, económicas, sociales, ambientales y tecnológicas que se reflejan en el comportamiento de la demanda eléctrica.



**Tabla 2: Pequeñas Centrales Hidroeléctricas entre 1 y 10 MW (ANEXO 1)**

<b>Nombre del Proyecto Hidroeléctrico</b>	<b>Río</b>	<b>Potencia a instalar (MW)</b>	<b>Nivel de estudio</b>	<b>Provincia</b>	<b>Cantón</b>	<b>Caudal de diseño (m³/s)</b>	<b>Caída bruta (m)</b>	<b>Altura de la presa o azud (m)</b>	<b>Energía primaria estimada (GWh/año)</b>	<b>Costo Total aproximado (Millones USD)</b>	<b>Descripción de la coordenada</b>
Rayo 1	Cochapamba-Rayó	10	Inventario	Cotopaxi	Sigchos	2	480	1.5	42.7	42.8	Captación, Río Rayo
Alambí	Alambí	9.8	Anteproyecto	Pichincha	Quito	4.8	267	2.8	54.1	13.5	Captación, Río Alambi
San Pedro II	San Pedro	9.5	Inventario	Pichincha	Quito	7	170	3	54.1	35.3	Captación, Río San Pedro
San Francisco II	San Francisco	9.4	Inventario	Azuay	Santa Isabel	2.3	505.7	2.3	53.5	18.7	Captación, Río San Francisco
Infiernillos	Paquisha	9.3	Pre factibilidad	Loja	Saraguro	3.5	334.1	n/d	n/d	16.7	Captación, Río Paquisha
Tandapi	Pilatón	8.9	Inventario	Pichincha	Mejía	6.7	168.7	n/d	n/d	10.6	Captación, Río Pilatón
Lucarquí	Catamayo	8.8	Anteproyecto	Loja	Sozoranga	15.9	82.5	4.5	50.1	28.4	Captación, Río Catamayo
Echeandia bajo 2	Soloma	8.4	Pre factibilidad	Bolívar	Echeandia	16.2	63.1	4	37.8	27.2	Captación, Río Soloma
Uchucay	Uchucay	8.4	Inventario	Loja	Saraguro	2.2	465.3	2.2	47.8	20.7	Captación, Río Uchucay

Balsapamba	Cristal	8.1	Anteproyecto	Los Ríos	Montalvo	3.1	326	4.5	46.7	21.7	Captación, Río Cristal
Blanco	Toachi	8	Inventario	Los Ríos	Valencia	5	200	2.5	45.6	23.5	Captación, Río Toachi
Chinchipe	Palanda	8	Pre factibilidad	Zamora Chinchipe	Chinchipe	16.5	60	5	31.5	12	Captación, Río Palanda
Mandur	Mandur	7.8	Inventario	Azuay	Nabón	1.5	624	1.9	44.4	16.8	Captación, Río Mandur
Palmar	San Miguel	7.8	Inventario	Carchi	Bolívar	3.9	244.1	2	44.4	13.9	Captación, Río San Miguel
Alausí	Alausí- Guasuntos	7.5	Inventario	Chimborazo	Chunchi	3.5	300	2	42.7	30.1	Captación, Río Alausí
Chanchán	Chanchán	7.3	Inventario	Chimborazo	Alausí	4.5	230	2	47.3	19.4	Captación, Río Chanchán
Cebadas	Cebadas	6.95	Inventario	Chimborazo	Guamote	6	212	5	56.9	17	Captación, Río Cebadas
Casacay	Casacay	6.1	Inventario	El Oro	Pasaje	3.1	244.5	2.7	34.7	16.8	Captación, Río Casacay
Lachas	Lachas	6	Pre factibilidad	Esmeraldas	San Lorenzo	3.8	190	5.9	34.5	17.1	Captación Río Lachas
Tomebamba	Tomebamba	6	Inventario	Azuay	Cuenca	4	200	2	34.2	15.9	Captación, Río Tomebamba
Vivar	Vivar	5.9	Inventario	Azuay	Pucará	2	365	2.2	33.6	14.1	Captación, Río Vivar

Collay	Collay	5.8	Inventario	Azuay	Cuenca	4.8	200	2	33	19.4	Captación, Río Collay
Nanegal	Alambi	5.7	Inventario	Pichincha	Quito	5.3	n/d	n/d	n/d	9.4	Captación, Río Alambi
Oña	Oña	5	Inventario	Azuay	Oña	1.2	529.9	1.7	30.2	19.4	Captación, Río Shincata
Chinambi	Chinambi	5	Inventario	Carchi	Mira	4.1	155.2	3.2	29.6	9.8	Captación, Río Chinambi
Tandayapa	Alambí	4.88	Inventario	Pichincha	Quito	3	202	2.7	nd	7.9	Captación, Río Alambi
Pucayacu 1	Quindigua	4.8	Inventario	Cotopaxi	Pujilí	3.6	170	2	25.9	18.9	Captación, Río Cristal - Amante
Huarhuallá	Huarhuallá	4.6	Inventario	Chimborazo	Riobamba	4	150	2	26	12.9	Captación, Río Huarhuallá
Ambocas	Ambocas	4	Pre factibilidad	El Oro, Loja	Varios	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	Captación, Río Ambocas
Sardinas	Sardinas Grande	4	Pre factibilidad	Napo	El Chaco	5.7	85.6	n/d	n/d	10.8	Captación, Río Sardinas Grande
Ambato	Ambato	4	Inventario	Tungurahua	Ambato	2	260	1.8	21.8	9.8	Captación, Río Ambato
Chillayacu	Chillayacu	3.92	Inventario	El Oro	Pasaje	2	240	2.2	21	10.06	Captación, Río Chillayacu
Chimbo- Guaranda	Chimbo- Guaranda	3.8	Inventario	Bolívar	Guaranda	2.4	200	1.5	20.8	10.5	Captación, Río Illangama

Tahuín	Arenillas	3.5	Pre factibilidad	El Oro	Arenillas	10	47.5	50	13.6	3.4	Captación, Río Arenillas
La Concepción	Santiagoullo	3.17	Inventario	Carchi	Mira	1	400	1.5	17.5	9.72	Captación, Río Santiagoullo
Nanegalito	Alambí	3.1	Inventario	Pichincha	Quito	4.75	80	2.4	n/d	4.9	Captación, Río Alambi
Rircay	Rircay	3.1	Inventario	Azuay	Santa Isabel	1.7	230	4	17	10.61	Captación, Río Rircay
Solanda	Solanda	3	Inventario	Loja	Loja	6.3	100	10	19.6	11.9	Captación, Río Solanda
Monte Nuevo	Toachi Grande	3	Inventario	Pichincha	Santo Domingo	2.6	140	2.2	n/d	3.49	Captación, Río Toachi
Tigreurcu	Payagua	2.84	Pre factibilidad	Bolívar	Guaranda	1.6	212.8	n/d	n/d	4.07	Captación, Río Payagua
El Laurel	La Plata	2.37	Inventario	Carchi	Tulcán	3.1	90	2.7	12.8	7.38	Captación, Río de la Plata
Chuquiraguas	Chuquiraguas	2.35	Inventario	Cotopaxi	Pujilí	1.5	470	1.5	31.9	18.2	Captación, Río Chuquiraguas
Nanguipa	Nanguipa	2.3	Pre factibilidad	Zamora Chinchipe	Coordillera del cóndor	1.5	175.9	n/d	n/d	6.4	Captación, Río Nanguipa
Ganancay	Ganancay	2.29	Inventario	Loja	Saraguro	1.3	217.6	1.8	12.4	10	Captación, Río Ganancay
Mayaicu	Mayaicu	2.27	Pre factibilidad	Zamora Chinchipe	Paquisha	3.9	68.9	n/d	n/d	5.2	Captación, Río Mayaicu

Puente del Inca	Catamayo	2.02	Factibilidad	Loja	Catamayo	11.7	20.9	n/d	n/d	5.8	Captación, Río Catamayo
Gala	Gala	1.94	n/d	Azuay	Ponce Enríquez	0.6	122	n/d	n/d	3.5	Captación, Río Gala
Pan de Azúcar	Nanguipa	1.85	Pre factibilidad	Morona Santiago	San Juan Bosco	1.2	199.5	n/d	n/d	4	Captación, Río Nanguipa
Campo Bello	Suquibí	1.7	Inventario	Bolívar	Guaranda	2.8	80	2.5	9.2	2.7	Captación, Río Suquibí
Salunguire	Salunguire	1.7	Inventario	Bolívar	Chillanes	2.8	80	2.5	9.2	2.8	Captación, Río Salunguire
Mariano Acosta	Chamachán	1.68	Inventario	Imbabura	Pimampiro	0.6	300	1.3	9.2	6.7	Captación, Río Chamachán
Tululbi	Tululbi	1.6	Pre factibilidad	Esmeraldas	San Lorenzo	5	55	5.8	8.2	14.3	Captación, Río Tululbi
M.J. Calle	Canal de riego	1.44	Inventario	Cañar	La Troncal	10	18	n/d	7.8	3.4	Captación, Río Cañar
Río Luis-2 (2)	Luis	1.13	Inventario	El Oro	Portovelo	1.7	95	1.7	6.2	4.2	Captación, Río Luis
SUBTOTALES	54	272	1220	714							

**Fuente :** CONELEC : <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10329&l=1>. (Abril 2014)

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines



### 2.1.3.1 PROYECCION DE LA DEMANDA

Mediante las relaciones entre variables macroeconómicas y demográficas, aplicando métodos analíticos se determinó la evolución de la demanda energética durante el periodo 2013-2022, estos datos fueron recogidos en censos poblacionales y estudios históricos de la última década. De este modo se realizó una proyección donde la densidad poblacional se verá afectada en un incremento considerable.

Gráfico 2: Esquema analítico de Balance de Energía y Potencia

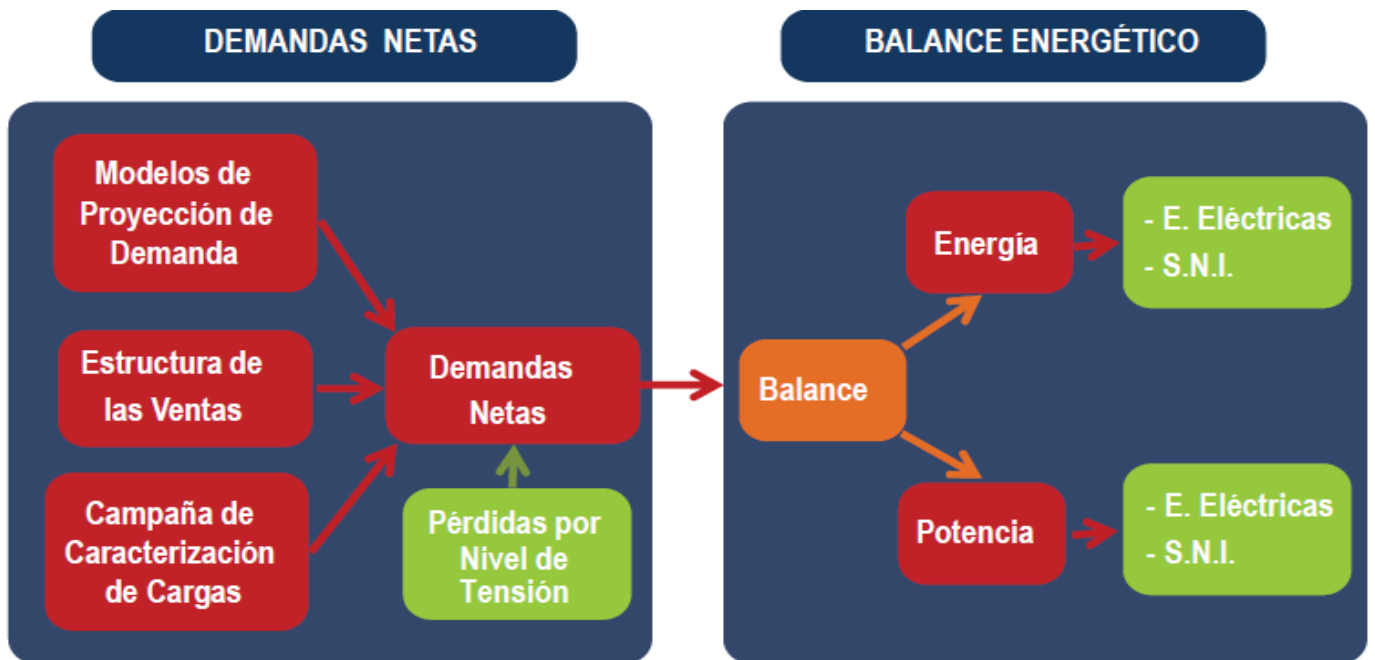


Fuente : Plan Maestro de Electrificación 2013-2022

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Conelec realiza un balance energético basado en el cálculo de la proyección en función de variables, con las que puede conocer el comportamiento de futuras cargas en los diferentes niveles de voltaje, anticipándose con pérdidas para cada distribuidora, controlando de este modo el desempeño correcto de cada central.

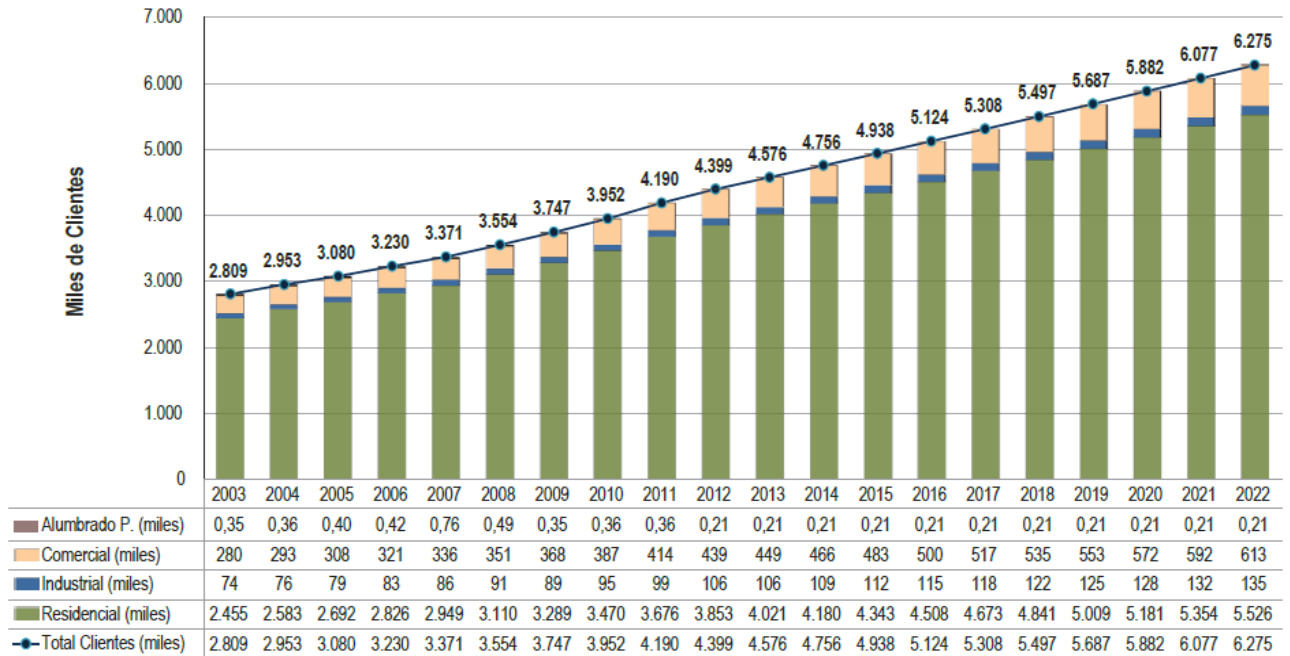
**Gráfico 3: Esquema analítico de Energía y Potencia**



**Fuente :** Plan Maestro de Electrificación 2013-2022

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

**Gráfico 4: Evolución Histórica y Proyección de clientes totales y por grupo de consumo del Ecuador**



**Fuente :** Plan Maestro de Electrificación 2013-2022

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

El MEER<sup>1</sup> indica que:

“la proyección de demanda, debe considerar, a más del crecimiento tendencial de la población y del consumo, la incorporación de importantes cargas en el sistema, como son los proyectos mineros, sistemas petroleros aislados, la Refinería del Pacífico, el cambio de la matriz tanto energética como productiva del país; y fundamentalmente, la migración del consumo de GLP y derivados de petróleo a electricidad, una vez que el país cuente con la producción de energía de los proyectos que hoy se ejecutan. También

<sup>1</sup> Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

se debe considerar los efectos de las acciones que se desarrollan para mejorar la eficiencia energética de los sectores residencial y productivo”

### **2.1.3.2 GENERACIÓN**

En los periodos de estiaje aparece un problema estructural de abastecimiento de energía eléctrica en el S.N.I volviéndolo vulnerable en estas épocas del año, por lo que es necesario tener un sistema de reservas para abastecer la demanda de cargas especiales así como, mantener al país con capacidad de satisfacer las demandas internas bajo la independencia de interconexiones eléctricas internacionales.

A continuación se detallará las centrales hidroeléctricas necesarias para abastecer esta demanda energética en la que se ha considerado el desarrollo industrial y minero, combustibles, transporte, petróleo y varios elementos más que influyen directamente en el cambio de la matriz energética del país.

El desarrollo industrial en nuestro país contempla un aumento de cargas adicionales, tanto para el transporte eléctrico de Quito como el Metro de Quito, tranvía de Cuenca (75 MW), Refinería del Pacífico (370 MW), industria petroquímica, sustitución de gas licuado de petróleo, electricidad para cocción e integración del sistema eléctrico petrolero al S.N.I.

El CONELEC en su análisis de demanda en los años 2013-2022, incluye un ingreso masivo de 3.5 millones de cocinas eléctricas desde el 2015 al 2017, llegando al 80% de clientes residenciales y a un 90% en el 2022 a su vez considera la demanda producida por:

- Crecimiento tendencial de consumo,
- Proyectos Mineros,
- Industria del Acero y Cemento,
- Transporte Eléctrico Masivo (Metro de Quito, Tranvía de Cuenca)
- Interconexión y abastecimiento al sistema eléctrico petrolero ecuatoriano a través del Proyecto OGE (Optimización de Generación Eléctrica),
- Proyectos de Eficiencia Energética,
- Abastecimiento a la demanda de la Refinería del Pacífico (etapas de construcción y operación).

Por este motivo el enfoque de análisis corresponde a un escenario crítico, que incluye proyectos de generación y crecimiento de demanda, las mismas que tienen que ser abastecidas en los próximos 10 años, el potencial energético tiene como objetivo suplir las necesidades del país de manera autónoma, buscar la independencia energética, no acudir a interconexiones internacionales, y contemplando niveles de reserva para tener eficiencia en calidad, seguridad y confiabilidad.

## **2.1.4 POTENCIA Y ENERGÍA**

### **2.1.4.1 POTENCIA**

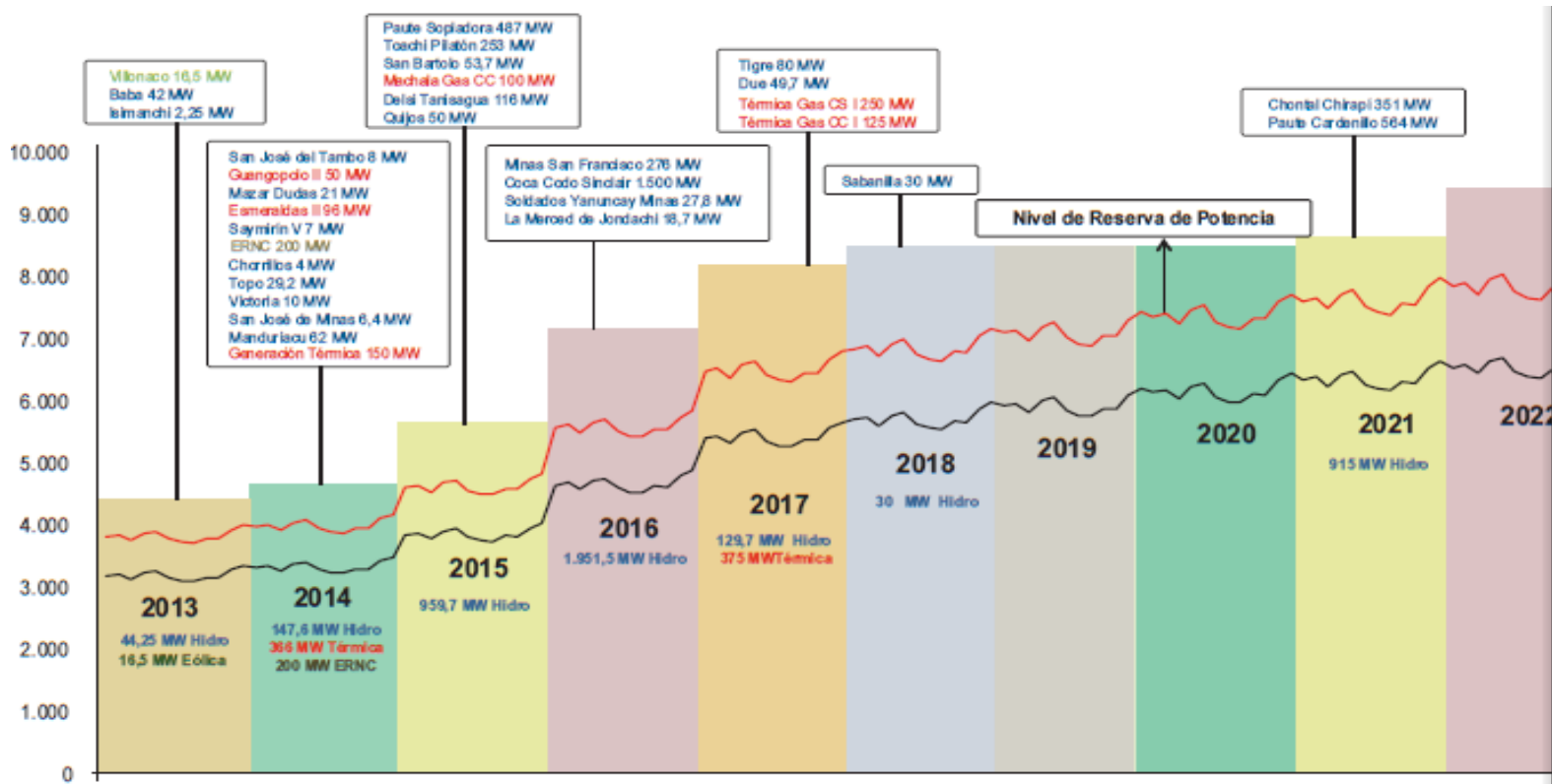
La potencia eléctrica es el paso de energía de un flujo por una unidad de tiempo; esto quiere decir que es la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio (watt).

Al momento que una corriente eléctrica fluye en cualquier circuito, puede transferir energía al hacer un trabajo mecánico o termodinámico. Los dispositivos convierten la energía eléctrica de muchas maneras útiles, como calor, luz, movimiento, sonido o procesos químicos. La electricidad se puede producir de dos maneras diferentes como es la mecánica o química.

### **Potencia Instalada y disponible del S.N.I**

Ecuador consta de 16 centrales hidroeléctricas de pequeña, mediana y gran capacidad (1-1.100 MW), 39 pequeñas centrales pertenecientes del sector privado, municipios, más de 100 centrales térmicas de diversos combustibles, pertenecientes a diferentes empresas, entre generadoras, distribuidoras, industria privada y petroleras, a continuación se muestran las centrales existentes, sus características y la proyección de las mismas para un futuro.

Gráfico 5: Infraestructura en Generación para el plan de expansión de generación 2013-2022



Fuente : Plan Maestro de Electrificación 2013-2022

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

## 2.1.4.2 ENERGÍA

La energía es aquella que da la capacidad de los cuerpos para que realicen un trabajo y con esto producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos. Es decir, la energía es la capacidad de hacer funcionar las cosas.

Se conoce como energía eléctrica a la energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico.

Al momento de accionar un interruptor, se cierra un circuito eléctrico y se genera el movimiento de electrones a través del cable conductor, estas cargas que se desplazan son las que forman parte de los átomos del cable, estas suelen ser metálicas, ya que los metales por disponer una mayor cantidad de electrones libres que otro tipo de sustancias son los mejores conductores para la electricidad.

En la vida diaria la mayor parte de energía eléctrica es la que proviene de la red eléctrica a través de los enchufes, en los cuales llega la energía que es suministrada por las compañías eléctricas a los distintos hogares para el funcionamiento de lavadoras, radios, televisor, y electrodomésticos en general.

La energía eléctrica se mide en vatios-hora (Wh), o en kilovatios-hora (kWh). Las empresas encargadas de suministrar energía eléctrica tanto para la industria y los hogares, en lugar de facturar el consumo en vatios-hora, lo hacen en kilovatios-hora (kWh).

La generación de energía eléctrica se lleva a cabo mediante técnicas muy diferentes. Las que suministran las mayores cantidades y potencias de electricidad aprovechan un movimiento rotatorio para generar corriente continua en una dínamo o corriente alterna en un alternador. El movimiento rotatorio resulta a su vez de una fuente de energía mecánica directa, como puede ser la corriente de un salto de agua o la producida por el viento, o de un ciclo termodinámico. En este último caso se calienta un fluido, al que se hace recorrer un circuito en el que mueve un motor o una turbina. El calor de este proceso se obtiene mediante la

## 2.1.5 ENERGÍA HIDRÁULICA

La energía hidroeléctrica es generada gracias al aprovechamiento de la energía del agua en movimiento. La lluvia o el agua de deshielo, provenientes normalmente de colinas y montañas, crean arroyos y ríos que desembocan en el océano. La energía que generan esas corrientes de agua puede ser considerable.

Este tipo de energía lleva años explotándose. Los agricultores, desde la Grecia antigua han utilizado molinos de agua para moler trigo y hacer harina. Localizados en los ríos, los molinos de agua recogen el agua en movimiento en cubos situados alrededor del molino. La energía cinética del agua en movimiento gira el molino y se convierte en la energía mecánica que mueve el molino.

A finales del siglo XIX, la energía hidroeléctrica se convirtió en una fuente para generar electricidad. La primera central hidroeléctrica se construyó en Niagara Falls en 1879. En 1881, las farolas de la ciudad de Niagara Falls funcionaban mediante energía hidroeléctrica. En 1882, la primera central hidroeléctrica del mundo comenzó a funcionar en Estados Unidos en Appleton, Wisconsin.

La energía hidroeléctrica es la que genera electricidad de forma más barata en la actualidad. Esto se debe a que, una vez que la presa se ha construido y se ha instalado el material técnico, la fuente de energía (agua en movimiento) es gratuita. Esta fuente de energía es limpia y se renueva cada año a través del deshielo y las precipitaciones.

Además, este tipo de energía es fácilmente accesible, ya que los ingenieros pueden controlar la cantidad de agua que pasa a través de las turbinas para producir electricidad según sea necesario. Además los depósitos pueden ofrecer oportunidades recreativas, tales como zonas de baño y de paseo en barca.

Sin embargo, la construcción de presas en los ríos puede destruir o afectar a la flora y la fauna y otros recursos naturales. Algunos peces, como el salmón, podrían encontrarse con la imposibilidad de nadar río arriba para desovar. Las últimas tecnologías, como las escaleras de peces, ayudan a los salmones a pasar por encima de las presas y a entrar en zonas de desove a contracorriente, pero la presencia de las presas hidroeléctricas cambia sus patrones migratorios y perjudica a las poblaciones de peces. Las centrales hidroeléctricas también pueden provocar la disminución de los niveles de oxígeno disuelto en el agua, lo que resulta dañino para los hábitats fluviales.

### 2.1.5.1 CONCEPTUALIZACION DE LA ENERGIA HIDRÁULICA

La energía hidráulica pasa por un proceso de conversión de energía gravitacional originada por el flujo masico de agua, es decir que la energía hidráulica equivale al peso del agua  $m$  que viaja en el tramo entre la sección (0-0) y a la salida de la tubería de presión (1-1), enunciada de la siguiente manera:

$$E_H = H_{est} * m \quad \mathbf{Ec(1)}$$

Donde:

H<sub>est</sub>: diferencia de niveles superior e inferior, NS-NI

$$H_{est} = Z_{NS} - Z_{NI} \quad \mathbf{Ec(2)}$$

m: peso del agua que corresponde a la siguiente ecuación:

$$m = \rho * g * V$$

V: es el producto del caudal en un tiempo determinado

$$V = Q * t \quad \mathbf{Ec(3)}$$

Por lo tanto la energía hidráulica suministrada a la turbina corresponde a:

$$E_h = H_{est} * \rho * g * Q * t \quad \mathbf{Ec(4)}$$

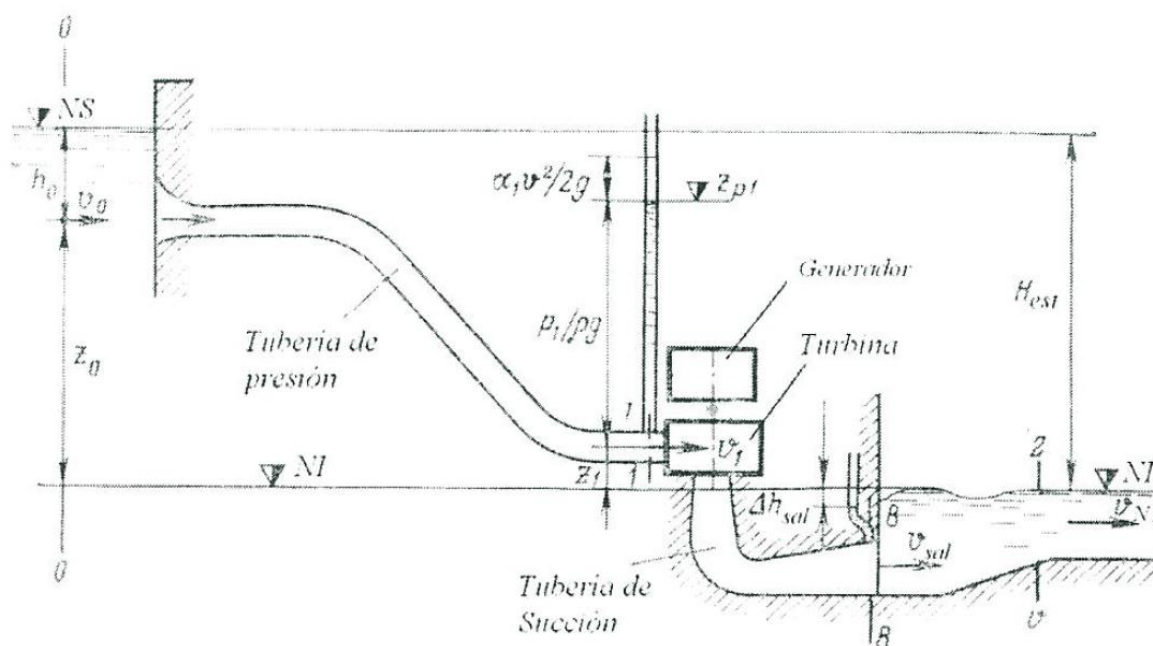
Y la potencia hidráulica total obtenida en este tramo equivale a:

$$P_H = \frac{E_H}{t} = H_{est} * \rho * g * Q \quad \mathbf{Ec(5)}$$

Sustituyendo los valores de la densidad del agua y la aceleración de la gravedad se tiene que la *potencia hidráulica total* dada en kW es igual a:

$$P_H = 9.81 * H_{est} * Q; \text{ (kW)} \quad \mathbf{Ec(6)}$$

### Ilustración 1: Energía Hidráulica



Fuente : Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

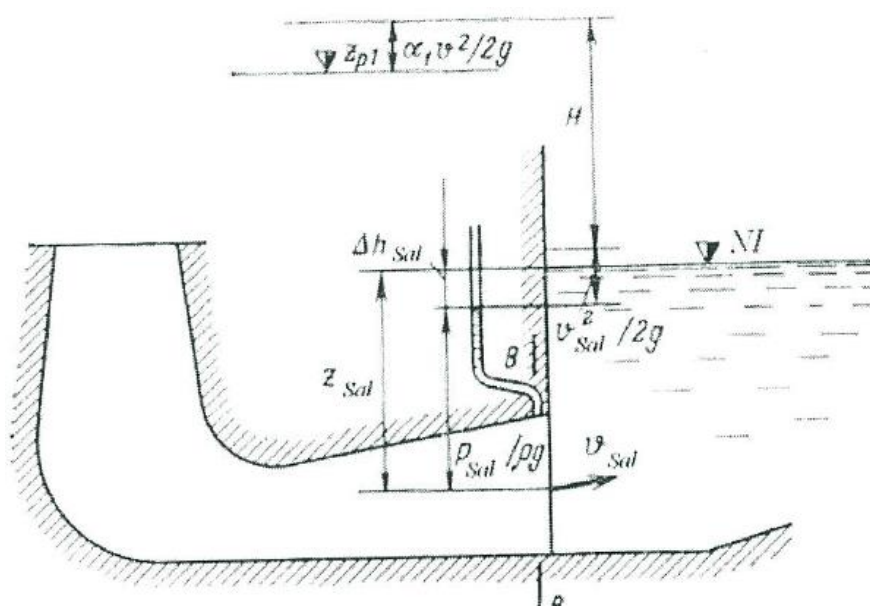
En la ecuación (6) no se incluyen las pérdidas por longitud y accesorios en la tubería de presión, de igual forma se considera el efecto del gradiente cinético en la tubería y la recuperación de parte de la energía cinética del agua a la salida del tubo de succión, por lo que para considerar dichas pérdidas y tener un cálculo más detallado se considerarán las pérdidas por tubería de presión y longitud  $\Delta h$ , enunciando a la potencia hidráulica de la siguiente manera:

$$P_H = 9.81 * (H_{est} - \Delta h) * Q \quad \text{Ec (7)}$$

El gradiente cinético en la tubería de presión se refiere a las diferencias de velocidades entre la toma de agua y el final de la tubería de presión, para esta condición la caída de la turbina  $H$  corresponde a la diferencia entre la caída bruta de la turbina y las pérdidas hidráulicas por longitud y accesorios en la tubería de presión:

$$H = H_B - \Delta h = H_{est} + \frac{\alpha_0 * v_0^2}{2g} - \frac{\alpha_1 * v_1^2}{2g} - \Delta h \quad \text{Ec(8)}$$

## Ilustración 2: Tubo de Aspiración



Fuente : Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

Por lo tanto al considerar las pérdidas hidráulicas  $\Delta h$  y el efecto del gradiente cinético en la tubería de presión, la expresión de la *potencia hidráulica* se halla de la siguiente manera:

$$P_H = 9.81 \left( H_{est} - \Delta h + \frac{\alpha_0 \cdot v_0^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} \right) * Q \quad \text{Ec (9)}$$

Considerando la recuperación de la energía cinética a la salida del tubo de succión, tenemos un aumento en la caída en una magnitud equivalente a:

$$e_{sal} = -\Delta h_{sal} + \frac{\alpha_{sal} \cdot v_{sal}^2}{2g} \quad \text{Ec(10)}$$

Una vez consideradas las pérdidas y la recuperación cinética en el tubo de succión, tenemos la potencia hidráulica total equivale a:

$$P_H = 9.81 \left( H_{est} - \Delta h + \frac{\alpha_0 \cdot v_0^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} + \Delta h_{sal} - \frac{\alpha_{sal} \cdot v_{sal}^2}{2g} \right) * Q \quad \text{Ec (11)}$$

La energía aportada por el tubo de succión es relevante en la generación de energía eléctrica de baja caída, donde puede equivaler a un 50% a 90% de la energía total, en pequeñas centrales hidroeléctricas de media y alta caída, ésta recuperación de energía cinética es irrelevante, por lo cual se puede considerar que la caída neta de la turbina es:

$$H = H_{est} - \Delta h \quad \text{Ec(12)}$$

## **2.1.6 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS**

### **2.1.6.1 Definición**

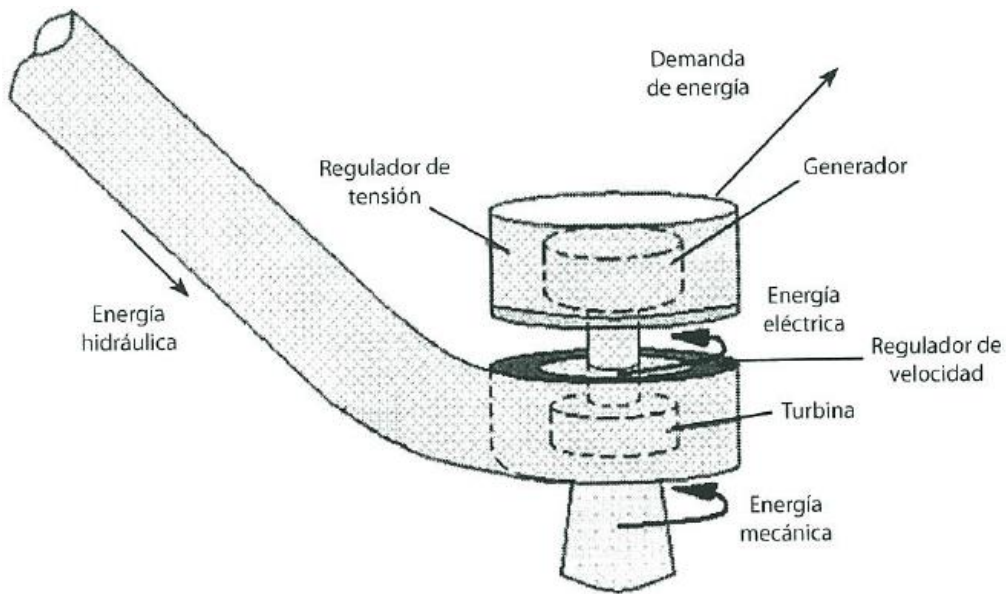
Una central hidroeléctrica es aquella que utiliza la energía hidráulica para poder generar energía eléctrica, antiguamente se utilizaba los molinos que utilizaban la corriente de los ríos para poder mover la rueda. De manera general las centrales hidroeléctricas aprovechan el poder de la energía gravitatoria, la cual posee la masa de agua de un cauce natural con un desnivel que se conoce como “salto geodésico”, el agua pasa por una turbina hidráulica que trasmite la energía a un generador y este transforma el agua en energía eléctrica.

### **2.1.6.2 Principio de funcionamiento de una CH**

A continuación en la ilustración 3 se muestra un esquema general donde se observa que el proceso de conversión de energía es dinámico, la energía hidráulica es transformada en mecánica por una turbina, al pasar por un generador es transformada en energía eléctrica abasteciendo la demanda a través de líneas de transmisión que se encuentran interconectadas permitiendo el paso de energía a los diferentes lugares donde es requerida, esta conversión de energía se la realiza bajo dos parámetros eléctricos: voltaje y frecuencia.

En la instalación se incorpora un regulador de tensión y uno de velocidad que trabajan en perfecta armonía, estos son afectados directamente por cualquier cambio en la demanda de energía eléctrica. El voltaje es un parámetro eléctrico que se regula en función de los reactivos del regulador de tensión y el segundo parámetro es mecánico, siendo así su regulación en función del flujo másico, por lo cual la turbina debe tener un dispositivo para este fin, en otras palabras la turbina debe contar con un regulador de velocidad, como se muestra a continuación:

**Ilustración 3: Proceso de Conversión de Energía**



**Fuente :** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

### **2.1.6.3 CLASIFICACIÓN**

Los aprovechamientos de recursos hídricos en pequeña escala pueden estar dentro del sistema nacional interconectado (SNI) o en las zonas no interconectadas (ZNI). Al encontrarse interconectados la demanda de potencia y energía puede ser abastecida por el sistema a través de su línea de interconexión, además de ocurrir excesos.

Al requerirse una demanda aislada el panorama es diferente, ya que la planta de generación eléctrica debe cumplir los requerimientos de potencia y energía, manteniendo constantes la frecuencia y voltaje.

Se puede reducir la exigencia a la central hidroeléctrica, incorporando un embalse que pueda cubrir esta demanda del recurso para la generación eléctrica, construyendo una presa que embalse el agua, a su vez es ventajoso para el regadío y control de crecientes.

Las pequeñas centrales hidroeléctricas se adaptan a diferentes condiciones de caída que dictan las características topográficas y cartográficas de la zona, por lo tanto las pequeñas centrales hidroeléctricas se las clasifican de acuerdo a su caída: baja, media y alta.

**Tabla 3: Clasificación de las Centrales Hidroeléctricas por su caída**

Tipo	Caída (m)		
	Baja	Media	Alta
Micro CH <sup>2</sup>	H>15	15<H<50	H>50
Mini CH	H<20	20<H<100	H>100
PCH	H<25	25<H<130	H>130

**Fuente :** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

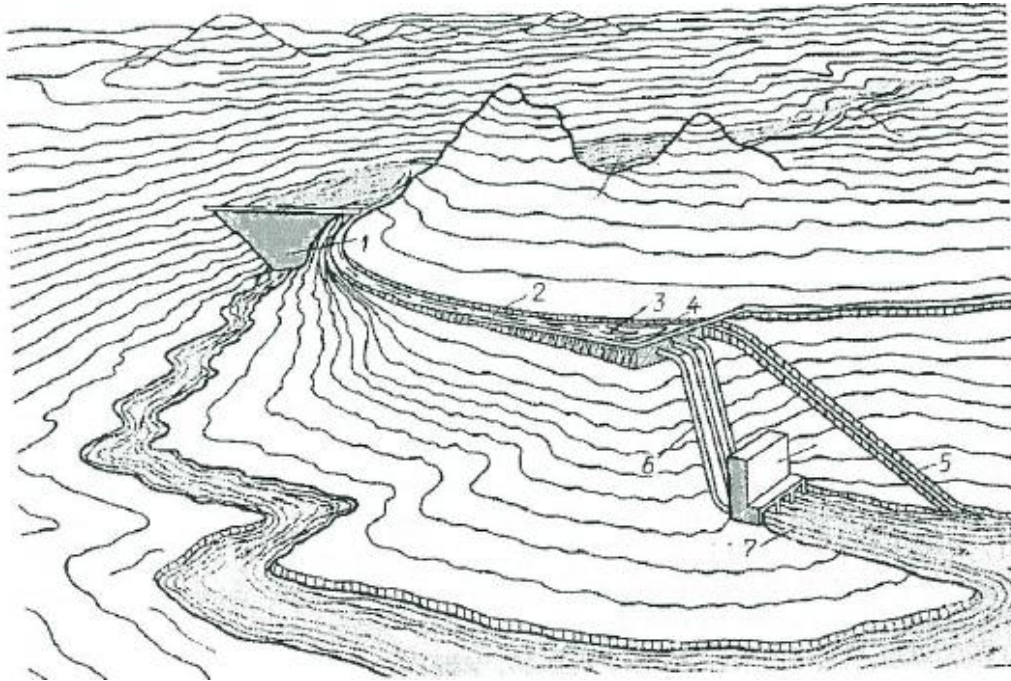
**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

En las zonas no interconectadas, los aprovechamientos hidroenergéticos a pequeña escala deben tener una demanda por potencia y energía, las mismas que mantengan regulados los parámetros de voltaje y energía. La pequeña central hidroeléctrica mostrada a continuación en la ilustración 4 se caracteriza por no tener un embalse compensador que le permita reservar el agua para usarla en épocas de estiaje, el caudal es tomado directamente del río por una bocatoma, la misma que conduce el caudal por un canal hasta un desarenador y tanque de carga para llevar el caudal por una tubería de presión hasta las turbinas en la casa de máquinas.

---

<sup>2</sup> CH: Central Hidroeléctrica

**Ilustración 4: Pequeña Central hidroeléctrica en Derivación**



**Fuente :** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

### 2.1.6.3.1 Según la utilización del agua

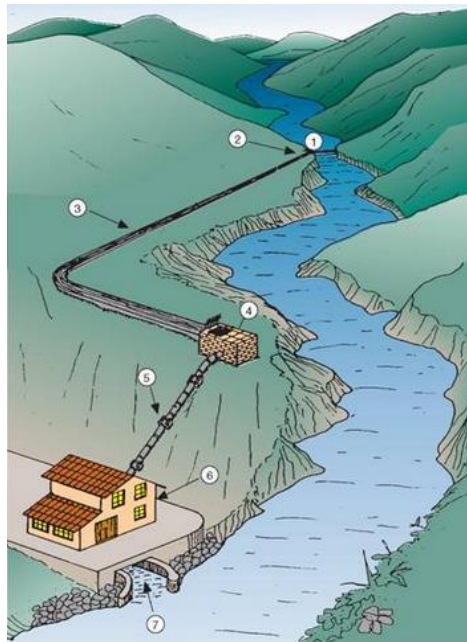
#### 2.1.6.3.1.1 Centrales de agua fuente

Las centrales de agua fuente también se las conoce como centrales de agua corriente o de agua fluvente, estas se construyen en lugares en los cuales la energía hidráulica debe ser utilizada de manera inmediata para accionar las turbinas hidráulicas, estas no cuentan con un espacio para reservar el agua, por lo cual, las estaciones del año ayudan a suministrar el caudal.

En la temporada de aguas altas las turbinas desarrollan la máxima potencia, y dejan pasar el exceso de agua, en la época de sequías o de aguas bajas la potencia de las turbinas baja, provocando así un funcionamiento nulo en algunos ríos.

Para mantener un desnivel constante en las corrientes de agua la construcción de estas centrales se las realiza mediante presas sobre el cauce de los ríos.

**Ilustración 5: Central hidroeléctrica de Agua Fluvente**

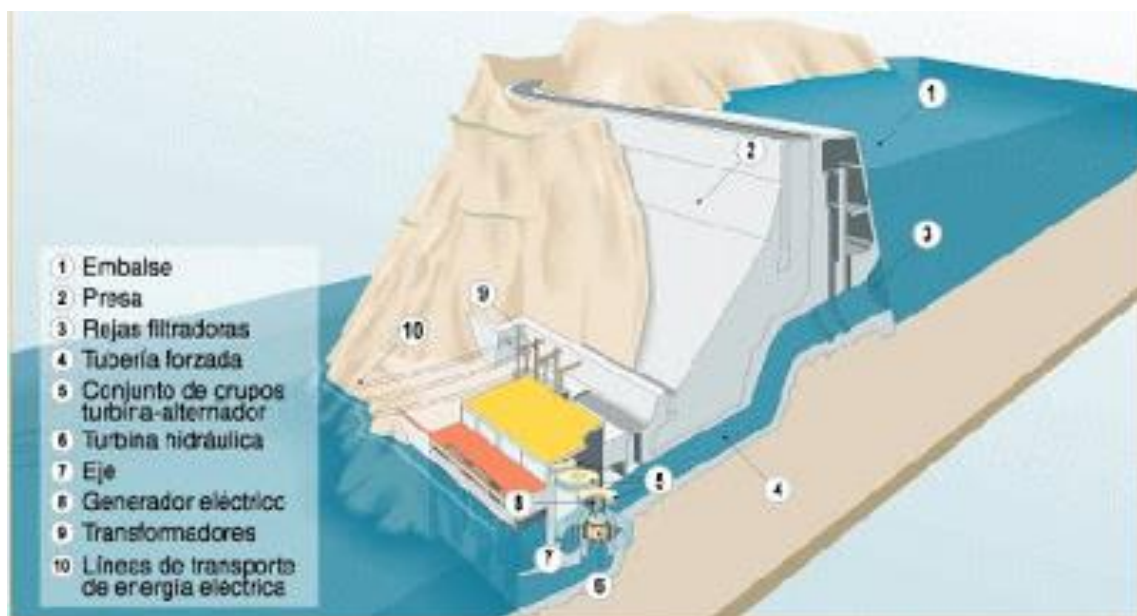


**Fuente :** Hidraulica: Juan Jose Garcia-Egocheaga

### 2.1.6.3.1.2 Centrales de agua Embalsada

Este tipo de centrales necesita alimentarse de grandes lagos o de embalses llamados también pantanos artificiales, estos se los consigue mediante la construcción de presas, y son capaces de almacenar los caudales de los ríos más afluentes, logrando así elevados porcentajes de captación de agua, y esta agua es utilizada según se necesite a través de conductos que llegan a las turbinas.

**Ilustración 6: Central hidroeléctrica de Agua Embalsada**

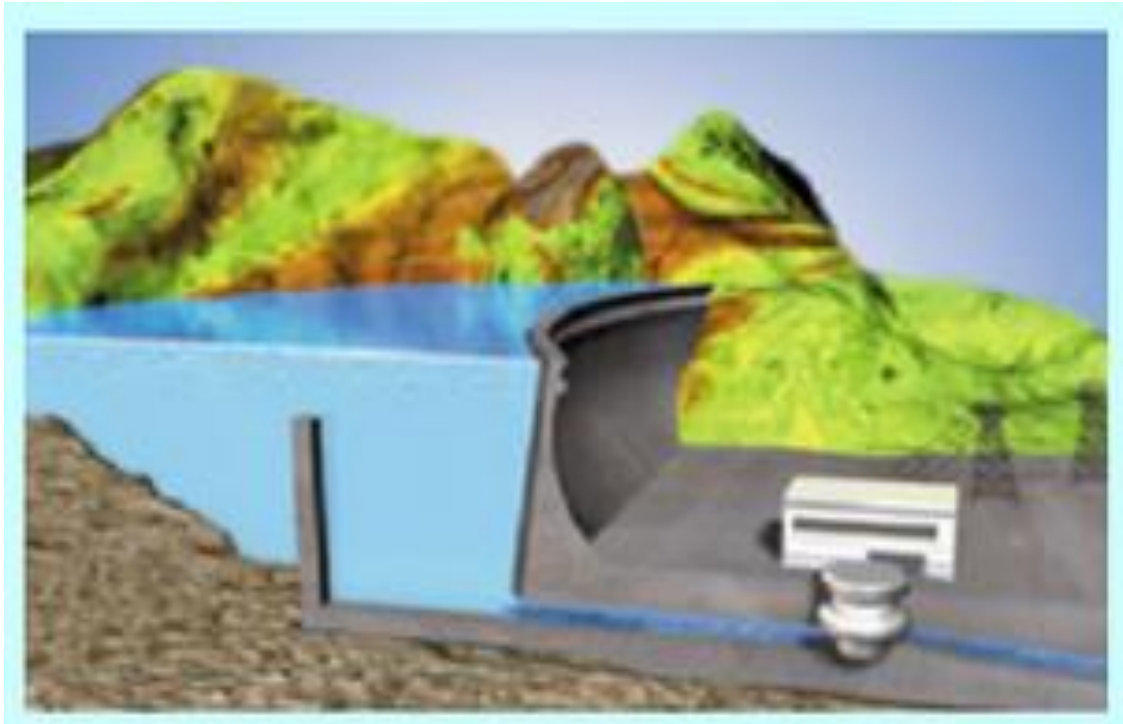


**Fuente:** UNESA

### 2.1.6.3.1.3 Centrales de Regulación

Las centrales de regulación almacenan el agua en el embalse, cuando los caudales son bajos este tipo de centrales presta un servicio muy útil ya que su almacenamiento de agua es continuo y regula de modo conveniente para la producción.

**Ilustración 7: Central hidroeléctrica de Regulación**



**Fuente:** Merritt, f. (1992) manual del ingeniero civil (tercera edición).  
West Palm Beach, FL.: McGraw-Hill

#### 2.1.6.3.1.4 Centrales de Bombeo

También conocidas como centrales de acumulación, como su nombre lo indica acumulan el caudal mediante un bombeo, el cual acumula energía potencial y puede ser de dos tipos, tanto de turbina y bomba o de turbina reversible.

La alimentación del generador se realiza de diferentes maneras, tanto como de aguas abajo o desde una central hidroeléctrica térmica o nuclear, son altamente rentables ya que compensan las pérdidas de agua o combustible.

**Ilustración 8: Central hidroeléctrica de Bombeo**



Fuente: UNESA

### 2.1.6.3.2 Según la altura del salto de agua o desnivel existente

#### 2.1.6.3.2.1 Centrales de Alta presión

Aquí se toman en cuenta las centrales cuyo salto hidráulico es superior a 200 metros de altura, los caudales son pequeños de 20 metros cúbicos por máquina, estas centrales se encuentran en zonas de alta montaña para aprovechar aguas de torrentes, por conducciones de gran longitud, se utiliza turbinas de Pelton y Francis.

**Ilustración 9: Central hidroeléctrica de Alta Presión**



**Fuente:** Merritt, f. (1992) manual del ingeniero civil (tercera edición).  
West Palm Beach, FL.: McGraw-Hill

### 2.1.6.3.2.2 Centrales de Media Presión

Son aquellas centrales con saltos hidráulicos de 200 metros y utilizan caudales de 200 metros cúbicos por turbina, cuando están ubicadas en valles de media montaña dependen de embalses, y las turbinas indicadas son Francis y Kaplan, en algunas ocasiones Pelton, si son saltos grandes.

**Ilustración 10: Central hidroeléctrica de Media Presión**



**Fuente:** [http://www.reinhausen.com/es/desktopdefault.aspx/tabid-1703/2296\\_read-6258/](http://www.reinhausen.com/es/desktopdefault.aspx/tabid-1703/2296_read-6258/)

### 2.1.6.3.2.3 Centrales de Baja Presión

En este tipo de central las máquinas se alimentan de caudales que superan los 300 metros cúbicos por lo que sus saltos hidráulicos son inferiores a 20 metros, y se utilizan dos tipos de turbinas, Francis y especialmente Kaplan.

**Ilustración 11: Central hidroeléctrica de Baja Presión**



**Fuente:** <http://www.hidroameghino.com.ar/>

## **2.2 COMPONENTES DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELECTRICA**

### **2.2.1 CAPTACIÓN**

#### **2.2.1.1 GENERALIDADES**

Las obras de captación son las de mayor importancia dentro del diseño de una central hidroeléctrica ya que por medio de estas se captará el recurso afluente que alimentará a la central para la generación de energía eléctrica, además a partir de las obras de captación se toman decisiones con respecto al resto de componentes de la central por lo que hay que poner especial énfasis en el diseño del conjunto de obras que conforman la captación, otra de las funciones vitales que cumple la captación es la de regular la entrada de agua en épocas de crecida por lo que será importante en el dimensionamiento prever estos posibles problemas y dotar a la captación de estructuras que le den capacidad para asimilar este aumento de caudal sin afectar el funcionamiento de la central.

#### **2.2.1.2 UBICACIÓN**

Las obras de captación dependen de las condiciones geológicas y topográficas del sitio de implantación de la central, generalmente en los estudios previos ya se ha definido el sitio adecuado para la producción de energía eléctrica es decir la caída o altura neta del proyecto por lo que la ubicación de la toma además de los dos factores ya mencionados dependerá también del trazado de la conducción apropiada para alcanzar dicha altura.

Otros aspectos a tomar en cuenta al momento de escoger un lugar óptimo de implantación de la captación es evitar la entrada excesiva de sedimentos y disponer de un terreno plano para situar el desripador y la transición por lo que algunos autores<sup>3</sup> recomiendan ubicarla entre la terminación de la parte cóncava y el inicio de la parte convexa del trazado del río.

### **2.2.1.3 CONSTRUCCIÓN**

El aspecto constructivo muchas veces es olvidado pero es de gran relevancia, especialmente en una obra tan importante como es la captación de una Central Hidroeléctrica.

A través de años de experiencia se han desarrollado métodos constructivos adecuados para este tipo de obras, entre las recomendaciones más destacadas están:

- Las obras deben ser construidas en épocas de estiaje ya que existe una menor cantidad de agua con la que habrá que lidiar.
- Durante la construcción se desviara el agua del río por medio de ataguías también conocidas como diques provisionales.
- Los diques deberán ser lo suficientemente herméticos para evitar la filtración excesiva de agua en el sitio de la construcción.

### **2.2.1.4 TIPOS DE CAPTACIÓN**

Se pueden clasificar estas obras en dos grandes ramas: Tomas por Derivación Directa y Tomas de Almacenamiento, las primeras se caracterizan por captar el agua del río sin almacenarla es decir que no hay regulación y se aprovecha el caudal disponible en el momento dado; las segundas se caracterizan por tener presas que cierran el cauce del río formando un embalse o reservorio, lo que permite almacenar un volumen de agua en épocas de crecientes para utilizarlo en épocas de estiaje.

---

<sup>3</sup> (Ortiz Flórez, 2011), (Krochin, 1978)

Existen varios tipos de presas (piedra, hormigón, gravedad, arco), su utilización depende de diferentes factores que no entran en el presente estudio.

Si bien es cierto que se consigue mayor aprovechamiento con las tomas de almacenamiento, estas requieren de estructuras costosas y de gran tamaño que en muchos casos en el análisis costo – beneficio no se logra justificar su utilización, por esto y porque el presente estudio está dirigido hacia las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas se ha enfocado el estudio en las tomas de derivación directa mismas que deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Con cualquier calado del río deben captar un caudal prácticamente constante
- Deben impedir al máximo la entrada de material sólido y flotante.
- Satisfacer condiciones de seguridad.
- Deben disponer de una estructura de retención ( Azud) que eleva la cota de agua a un nivel constante independiente del calado del río, una obra de toma compuesta por una rejilla que capta el caudal de diseño y una obra de lavado que evacua el material sólido acumulado

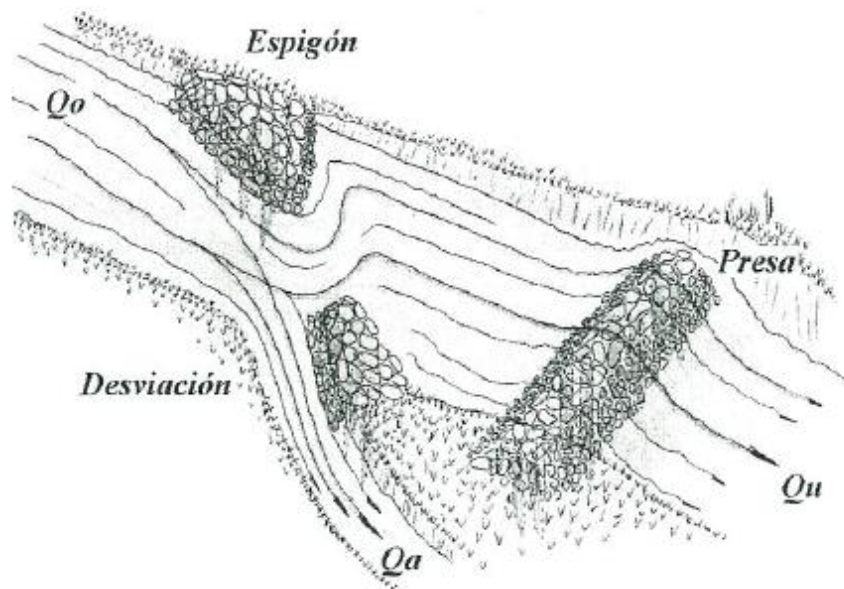
Los elementos que componen la captación deben asegurar que esta funcione correctamente; por esta razón deben cumplir las siguientes condiciones.

- El agua que se capta en lo posible debe ser libre de sólidos, para evitar sobrecarga de dicho material en la conducción, aunque para esta función siempre se dota de un desripador.
- El material depositado tanto al pie del azud como en el desripador deberá ser evacuado a través de canales separados de limpieza.
- Deben cumplir criterios económicos y constructivos.
- El caudal de crecida deberá ser evacuado en forma segura.

#### 2.2.1.4.1 TOMA LATERAL CON ESPIGONES.

Este tipo de toma se caracteriza por ser económica y de fácil construcción está compuesta por una estructura de desviación (espigón) que hace que parte del caudal se dirija hacia un canal lateral, también cuenta con una pequeña presa que asegura una cota de nivel forzando el ingreso de agua a dicho canal, el exceso de agua continua por el cauce del río.

Ilustración 12: Toma lateral con Espigones



Fuente : Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

Para que una toma con espigones tenga un óptimo funcionamiento el río debe reunir algunas condiciones:

- El caudal del río deberá ser superior al caudal de diseño.
- El calado del río tiene que ser relativamente constante y no disminuir de un nivel mínimo.
- El cauce debe ser firme y estable para evitar erosiones o derrumbes que dejen inutilizada la toma.
- El arrastre de sedimentos del río debe ser bajo, ya que este tipo de tomas no impide la entrada de estos a la conducción.

A continuación se mencionará ventajas y desventajas de este tipo de tomas:

#### **Ventajas:**

- Bajo costo
- Fácil construcción.

#### **Desventajas**

- No evita el ingreso de material sólido.
- El espigón puede ser destruido en épocas de crecida.
- Es difícil determinar el caudal de ingreso al canal.

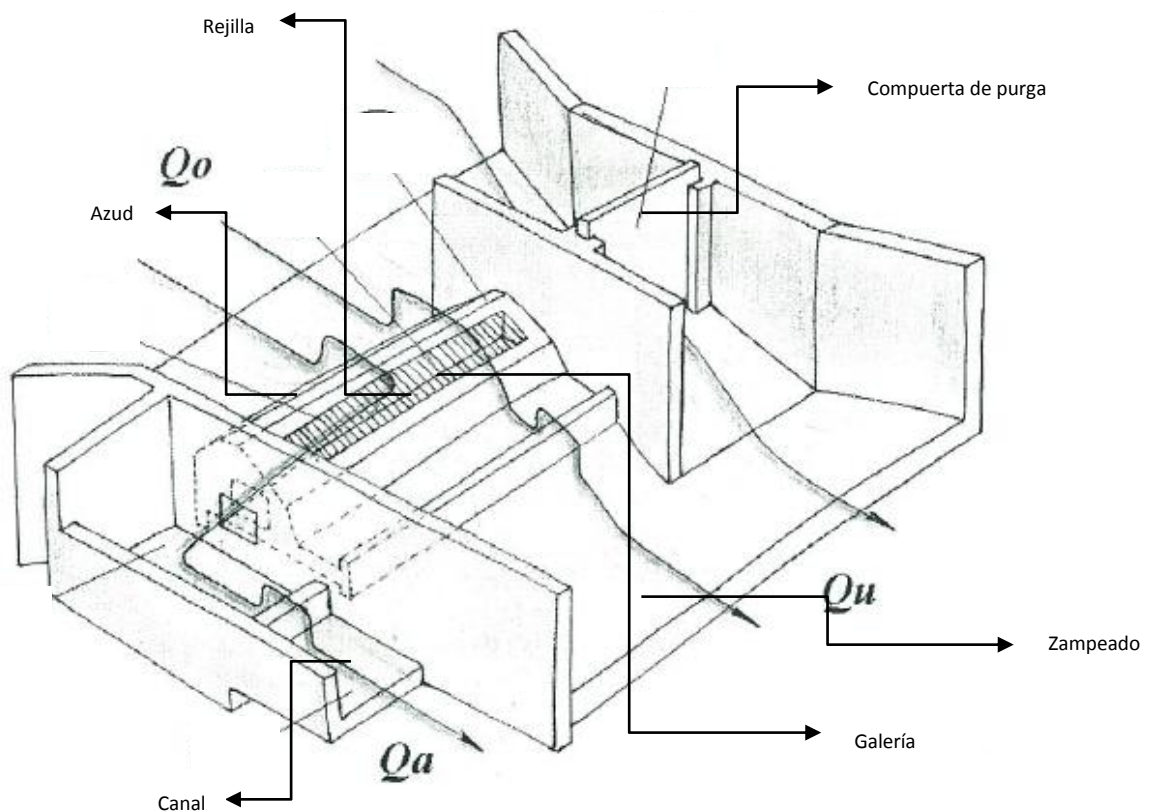
Debido a las grandes desventajas ya mencionadas este tipo de toma se recomienda solo para proyectos pequeños de Micro generación.

#### 2.2.1.4.2 TOMA EN EL LECHO

Este tipo de toma se caracteriza por captar el agua motriz en el fondo del río a través de una rejilla ubicada horizontalmente o con cierta inclinación sobre una galería construida en el cuerpo del azud, esta a su vez está conectada con un canal.

La presa que cierra el río entonces consta de tres partes: la primera es un azud macizo sobre el cual se vierte el exceso de agua en épocas de creciente generalmente este se diseña con las coordenadas de Creager; la segunda es un tramo central con la rejilla acompañada de un tramo hueco que alberga la galería que capta el agua conduciéndola al canal, esta galería está asentada sobre una losa de hormigón y en su parte superior sigue el perfil del azud; por último a continuación de la presa se construye un zampeado, el dimensionamiento de este depende de la altura de la presa, la longitud del resalto, y el caudal de creciente.

**Ilustración 13: Elementos de una Bocatoma en lecho y su vista lateral**



**Fuente :** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

Elaborado por: Pablo Racines y Alejandro Cabrera

En el proceso de diseño de este tipo de toma, varios autores<sup>4</sup> hacen las siguientes recomendaciones:

- El material para su construcción deberá ser concreto macizo, con el fin de resistir las fuerzas abrasivas.
- El ángulo de inclinación de la rejilla debe ser entre 5°-35° aguas abajo.
- La rejilla debe ser compacta y su sección no debe ser redonda por la dificultad de limpieza y su facilidad de obstrucción.
- La separación entre barras recomendada es de 2- 6 cm.
- El desripador deberá tener gran eficiencia y pendiente alta de al menos 3% para evacuar el material sólido.

Con la finalidad de que el funcionamiento de este tipo de toma sea óptimo el río en donde se la implante deberá tener las siguientes características:

- El curso del río debe ser relativamente recto para que el paso de agua por la rejilla sea uniforme.
- La pendiente del río debe ser alta (1-10%) o muy alta (>10%) de esta forma el ingreso de sedimentos a la galería será menor.
- El caudal del río debe tener una baja concentración de material sólido en suspensión y bajo transporte de sólidos en el fondo.

---

<sup>4</sup> (Krochin, 1978), (Ortiz Flórez, 2011)

A continuación se mencionará ventajas y desventajas de este tipo de toma.

### **Ventajas**

- Más económica con respecto a la toma convencional ya que no precisa de una compuerta de limpieza.
- La altura del azud es mejor ya que como la rejilla esta al fondo en el azud el agua pasa obligatoriamente por ella lo cual hace que la longitud del zampeado se reduzca teniendo un funcionamiento más eficiente.

### **Desventajas**

- Facilidad de taponamiento de la rejilla en caso de que el río tienda a acarrear con frecuencia material flotante.
- Dificil construcción.
- Necesidad de personal técnico en la construcción.
- Susceptible de crecidas.

### **2.2.1.4.3 TOMA CONVENCIONAL**

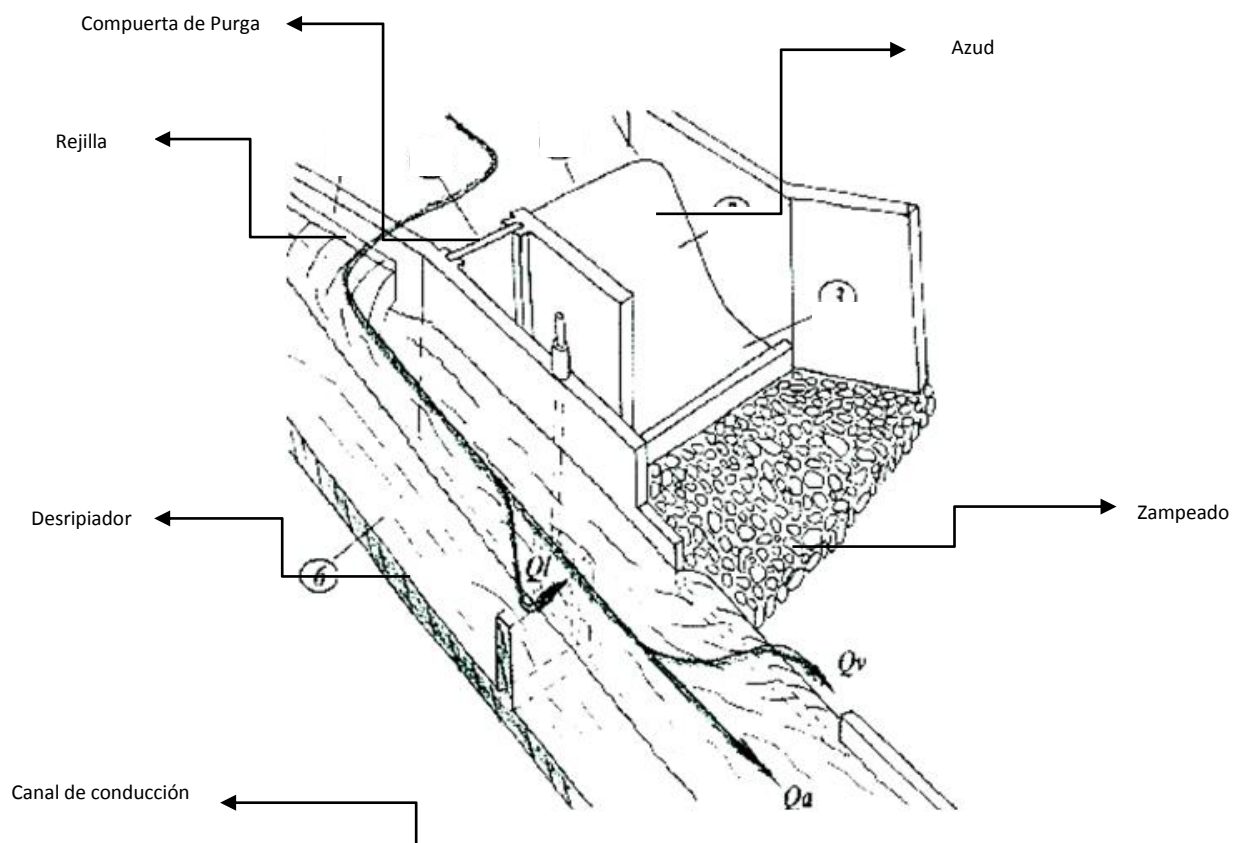
Este tipo de toma se caracteriza por tener una pequeña presa que eleva el nivel del agua a una cierta cota y obliga que el caudal fluya a través de la toma es decir permite que sea captado, el caudal excedente pasa a través del aliviadero del azud y continua el cauce del río.

Las tomas convencionales son llamadas de esa forma debido a que son las más comunes y sus principales son:

- Un dique que cierra el cauce del río y obliga al agua que se encuentra por debajo de la cota de su cresta a entrar a la conducción, además en tiempo de creciente el exceso de agua pasa por encima de este dique que funciona como vertedero, este dique vertedero toma el nombre de azud y generalmente está acompañado de una obra complementaria llamada zampeado que permite reducir la velocidad del caudal de exceso que se vierte a través del azud, evitando la erosión de este.
- Una compuerta de purga que está ubicada en un extremo del azud, a un lado de la rejilla, esta tiene la finalidad de eliminar el material grueso acumulado aguas arriba del azud y mantener limpio el cauce frente a la toma, la eficiencia de esta compuerta es baja pero toma importancia en época de creciente ya que esta se abre para aliviar el trabajo del azud.
- La toma de agua que es una ventana con una rejilla colocada a cierta altura que impide la entrada de material sólido flotante demasiado grueso hacia la conducción.
- Un desripiador que es una cámara que acumula el material sólido que ha logrado pasar a través de la rejilla para luego eliminarlo a través de una compuerta con salida al río.
- Una transición entre el desripiador y el canal de conducción que tiene la finalidad de evitar pérdidas grandes de energía, el caudal de diseño pasa del desripiador al canal a través de un vertedero de ancho mayor al ancho de solera del canal con el fin de que el material grueso quede depositado en el desripiador.

- Una compuerta de admisión, ubicada convenientemente en algún tramo de la transición con el fin de interrumpir el servicio en caso de reparación o inspección.
- Un dentellón que se construye aguas arriba y abajo para darle estabilidad y anclaje al azud.
- Una escala de peces que no es más que depósitos pequeños y sucesivos en forma de grada que permite el paso de peces desde aguas arriba hasta aguas abajo.

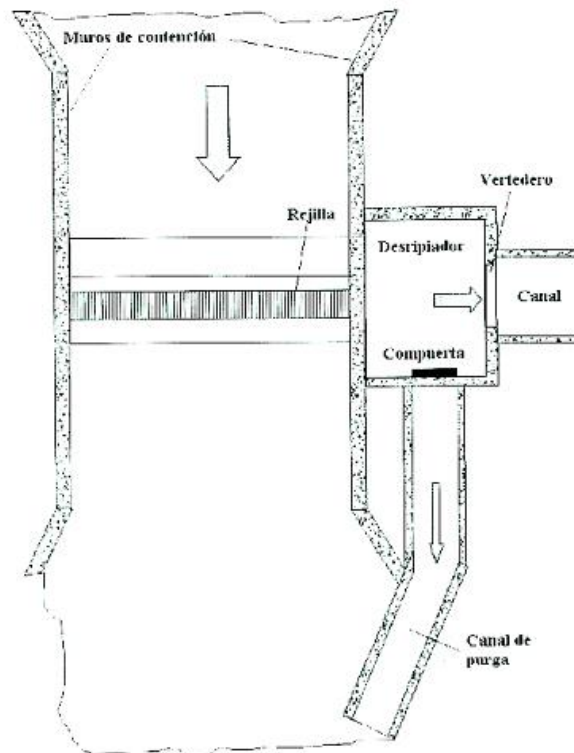
**Ilustración 14: Corte de la toma de agua de una Bocatoma convencional**



**Fuente :** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

### Ilustración 15: Vista superior de la toma de Fondo



**Fuente :** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

En el proceso de diseño de este tipo de tomas varios autores<sup>5</sup> hacen las siguientes recomendaciones:

- El umbral de la ventana de la rejilla deberá estar a una altura no menor de entre 60 – 80cm.
- El dintel por encima de la rejilla deberá llegar hasta una altura superior a la de la mayor crecida y tiene que ser de hormigón armado.
- El ancho de las barras de la rejilla no deberá ser menor a 10 cm por razones de abrasión.

<sup>5</sup> (Krochin, 1978), (Ortiz Flórez, 2011)

- La separación entre barrotes depende de diversos factores como la eficiencia del desripador proyectado, tipo de turbina, entre otros. Pero su valor promedio tiende a los 20cm.
- La velocidad en el desripador deberá ser baja para permitir la sedimentación del material sólido flotante.
- La velocidad en el canal de limpieza del desripador no deberá ser menor a 2m/s para poder eliminar las piedras acumuladas en este.
- La gradiente del canal de canal de limpieza debe ser menor a la del río.
- Evitar cambios de sección bruscos en la transición se recomienda del tipo alabeados<sup>6</sup>.
- La altura de la cresta del azud deberá coincidir con la parte superior de la rejilla.
- El paramento<sup>7</sup> deberá tener una altura igual a la de la mayor crecida.

A continuación se mencionaran ventajas y desventajas de este tipo de toma:

**Ventajas:**

- Por tratarse del tipo más común de toma su proceso de diseño es relativamente estándar, lo cual facilita su desarrollo.
- Su comportamiento en condiciones de crecida es el mejor con respecto a los otros tipos de toma ya mencionados.
- Ofrece mayor seguridad.

**Desventajas:**

- Es el tipo de toma por derivación directa más costosa.

---

<sup>6</sup> Forma redondeada común en las transiciones para evitar cambios bruscos de sección.

<sup>7</sup> Distancia vertical desde la cota del terreno hasta la cresta del azud.

## **2.2.2 CONDUCCIÓN**

### **2.2.2.1 GENERALIDADES**

Esta obra contigua a la captación permite transportar el caudal de diseño que será aprovechado para generar energía eléctrica a través de un canal, este puede ser abierto o cerrado, pero manteniéndose la presión atmosférica, es decir la superficie del agua coincide con la línea piezométrica y la gradiente es siempre positiva.

Debido a la posibilidad de encontrar accidentes topográficos en el trazado y con el objetivo de sortear los mismos, se pueden construir obras especiales de acuerdo al requerimiento particular de cada proyecto entre las comunes se puede mencionar: viaductos, sifones, túneles, rellenos.

La conducción dentro de un proyecto hidroeléctrico es vulnerable ya que generalmente está expuesta a la intemperie por lo que puede quedar inutilizada poniendo en riesgo el funcionamiento de la central y también generando grandes pérdidas económicas, por esta razón la conducción deberá ser bien protegida para asegurar su óptimo funcionamiento, entre las acciones más comunes de protección esta utilizar canales tapados y tuberías parcialmente llenas para conducir el agua evitando la posibilidad de que cualquier clase de material entre dentro de la conducción , otra de las acciones es la construcción de aliviaderos que evitan el desbordamiento del caudal por encima de las paredes del canal ,ocasionado por taponamiento o aumentos súbitos de caudal.

### **2.2.2.2 CRITERIOS DE TRAZADO**

El trazado de la conducción obedece a varios factores, como de antemano generalmente ya se conoce el sitio de utilización del agua (Tanque de presión) desde allí se traza una línea de gradiente hacia el río para ubicar las obras de toma, entonces este será el primer condicionante al momento de elegir un trazado.

Por otro lado el criterio principal antes de elegir una alternativa de trazado está dirigido a conseguir la mayor eficiencia y seguridad de sus obras al menor costo posible.

Este objetivo se conseguirá estudiando variables como: volumen de excavación, pendiente del canal, utilización de túneles u otras obras especiales, y factibilidad constructiva.

### 2.2.2.3 CANALES

El hombre ha tratado de aprovechar el agua de distintas formas a través de la historia, y ha creado diversas estructuras con este fin desde hace aproximadamente 5000 años; una de las estructuras más antiguas que se conoce son los canales, estos son utilizados para transportar el agua de un lugar a otro.

Un canal no es más que un conducto abierto o cerrado dentro del cual el líquido circula a flujo libre por acción de la gravedad, es decir la superficie libre de dicho líquido está en contacto con la atmosfera.

#### 2.2.2.3.1 TIPOS DE CANALES

Existe diversos criterios para clasificar a los canales pero en la práctica de ingeniería se los puede dividir en dos grandes ramas , los canales naturales que son aquellos que existen de manera natural en la tierra, estos van desde pequeños arroyos hasta grandes ríos, y los canales artificiales que son aquellos construidos y desarrollados mediante esfuerzo humano.

**Ilustración 16: Canal Natural (Rio)**



**Fuente:** <http://www.vuelaviajes.com/los-rios-mas-largos-del-mundo/>

**Ilustración 17: Canal Artificial (Canal de Conducción de una Central hidroeléctrica)**



**Fuente:** <http://www.coneolica.com/wp-content/uploads/2013/10/agua-gata.jpg>

Debido a que el presente estudio está enfocado en el diseño de canales presentes en una central hidroeléctrica, se profundizará en el análisis de los canales artificiales y su diseño.

### 2.2.2.3.2 TIPO DE FLUJO EN CANALES

En un canal se pueden presentar distintos tipos de flujo ya sea por cambios constantes de pendiente debido a la topografía, obstáculos en la conducción o necesidades propias de un proyecto. A continuación se repasará conceptos de los distintos tipos de flujo con respecto al tiempo y al espacio.

#### FLUJO PERMANENTE Y NO PERMANENTE (Tiempo como criterio)

Se dice que el flujo en un canal abierto es “**Permanente**” cuando la profundidad de flujo no varía o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración, por el contrario se considera “**No Permanente**” cuando la profundidad de flujo cambia con el tiempo este fenómeno se presenta en crecidas y oleadas.

En los problemas de flujo permanente el caudal es constante en el tiempo por lo que se aplica la ecuación de continuidad.

$$Q = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$$

#### FLUJO UNIFORME Y FLUJO VARIADO (ESPACIO COMO CRITERIO)

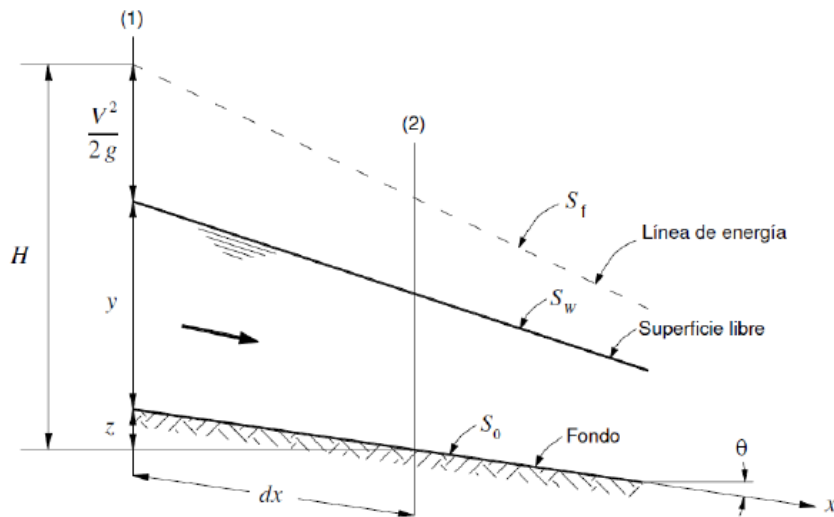
Se dice que el flujo en un canal es “**Uniforme**” cuando la profundidad, pendiente velocidad y sección permanecen constantes en una longitud dada al canal, por el contrario se considera “**Flujo Variado**” cuando estos parámetros cambian a lo largo del canal.

## FLUJO UNIFORME Y PERMANENTE

Este es el tipo de flujo fundamental usado en la hidráulica de canales, este se usará para el diseño de la conducción del presente estudio y tiene las siguientes características:

- Profundidad, Área Mojada, Caudal y Velocidad Constantes
- Las Líneas de Energía, de Superficie de Agua (Altura Piezométrica) y del Fondo del Canal son paralelas entre sí, es decir tienen la misma pendiente

**Ilustración 18: Flujo en Canales Abiertos**



**Fuente:** Rocha Arturo. Hidráulica de Tubería y Canales

### 2.2.2.3.3 ESTADOS DE FLUJO EN CANALES

El Comportamiento o estado de flujo en canales abiertos está gobernado por los efectos de la viscosidad y gravedad con relación a las fuerzas inerciales del flujo

Debido al efecto de la viscosidad y gravedad en relación con la inercia el flujo puede ser laminar, Transicional, Turbulento.

**Laminar:** En este estado las fuerzas viscosas son predominantes y fuertes en relación con las fuerzas inerciales, las trayectorias de las partículas del agua están bien definidas, las capas de fluido parecen deslizarse una sobre otra.

**Turbulento:** En este estado las fuerzas viscosas son débiles en relación con las fuerzas inerciales, las trayectorias de partículas del agua son irregulares.

**Transicional:** estado mixto, el flujo se encuentra entre laminar y turbulento.

El efecto de la viscosidad en relación con la inercia puede representarse mediante el “número de Reynolds” definido así:

$$R = \frac{VL}{\mu}$$

Donde:

V= Velocidad

L= Longitud Característica (Radio Hidráulico de un Conducto).

$\mu$ = Viscosidad Cinemática.

En canales abiertos generalmente el flujo es turbulento y las dos ecuaciones para el análisis del estado de flujo que se utilizan fueron desarrolladas; la primera por Blasius, y la segunda por dos investigadores Prandtl y Von Karman, se presentan a continuación dichas ecuaciones.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(R \cdot \sqrt{f}) + 0.4$$

EC.PRANDTL-VON KARMAN

R>25000

$$f = \frac{0.223}{R^{0.25}}$$

EC. BLASIUS

R= (750-25000)

Ahora bien el efecto de la gravedad sobre el estado de flujo se representa por la relación entre las fuerzas inerciales y gravitacionales. Esta relación está dado por el “Número Froude” definido así:

$$FR = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

Donde:

V=Velocidad Media

g= Gravedad

D= Profundidad Hidráulica

La profundidad Hidráulica se define como la razón entre el área de la sección transversal del agua perpendicular a la dirección de flujo y el ancho de la superficie libre, en canales rectangulares la profundidad hidráulica es igual a la profundidad de flujo.

A través del número de Froude podemos definir tres estados de flujo.

**Cuando  $F=1$ (Flujo Crítico)**

$$1 = \frac{v}{\sqrt{gD}} \longrightarrow v = \sqrt{gD}$$

**Cuando  $F<1$ (Flujo Subcrítico)**

$$v < \sqrt{gD} \quad (\text{Fuerzas gravitacionales predominantes, velocidad baja, flujo tranquilo})$$

**Cuando  $F>1$  (Flujo Subcrítico)**

$$v > \sqrt{gD} \quad (\text{Fuerzas Inerciales predominantes, velocidad alta, flujo rápido})$$

#### 2.2.2.3.4 GEOMETRÍA

Un canal construido con una sección transversal invariable y pendiente de fondo constante se conoce como “Canal Prismático”, de otra forma el Canal es “No Prismático” para el diseño de canales artificiales generalmente se utilizan formas regulares como el trapecio, rectángulo, triángulo, círculo, etc. De acuerdo a las necesidades y condiciones in situ del proyecto el diseñador escogerá la mejor sección.

La sección de un canal tiene varios elementos que pueden ser definidos completamente a través de la geometría de la sección y la profundidad del flujo, estos elementos tienen gran importancia y se utilizan en el cálculo de flujo. A continuación se definen varios elementos geométricos de uso común en el cálculo, estas definiciones por ser muy precisas se han tomado de (Chow, 1994).

**Profundidad de Flujo (Y).**- Es la distancia vertical desde el punto más bajo de la sección del canal hasta la superficie libre.

**Área Superficial (A).**- Es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección de flujo.

**Área Mojada (P).**- Longitud de la línea de intersección de la superficie del canal mojada y de un plano transversal perpendicular a la dirección de flujo.

**Radio Hidráulico (R).**- Relación entre el área mojada y perímetro mojado.




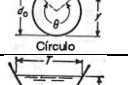
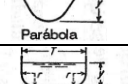


$$R = \frac{A}{P}$$

**Profundidad Hidráulica (D).**- relación entre el área mojada y el ancho superficial.

$$D = \frac{A}{T}$$

A continuación se presenta una tabla con los tipos de sección y sus elementos geométricos.

**Tabla 4: Elementos Geométricos de Secciones de Canal**

ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE SECCIONES DE CANAL						
SECCIÓN	ÁREA (A)	PERÍMETRO MOJADO (P)	RÁDIO HIDRÁULICO (R)	ANCHO SUPERFICIAL (T)	PROFUNDIDAD HIDRÁULICA (D)	FACTOR DE SECCIÓN (Z)
 Rectángulo	$by$	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	$b$	$y$	$b^{1.5}$
 Trapecio	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$	$\frac{[(b + zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}}$
 Triángulo	$zy$	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{2.5}$
 Círculo	$\frac{1}{8}(\theta - \sin \theta)do^2$	$\frac{1}{2}\theta do$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)do$	$\left(\frac{\theta}{\sin \frac{\theta}{2}}\right)do$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \sin \theta}{\sin \frac{\theta}{2}}\right)do$	$\frac{\sqrt{2}(\theta - \sin \theta)^{1.5}}{32\left(\frac{\theta}{\sin \frac{\theta}{2}}\right)^{0.5}}do^{2.5}$
 Parábola	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{2}{9}\sqrt{6}Ty^{1.5}$
 Rectángulo con esquinas redondeadas ( $y > r$ )	$\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2 + (b + 2r)y$	$(\pi - 2)r + b + 2y$	$\frac{\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2 + (b + 2r)y}{(\pi - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2}{h + 2r} + y$	$\frac{[\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)r^2 + (b + 2r)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2r}}$
 Triángulo con fondo redondeado	$\frac{T^2}{4z} - \frac{r^2}{z}(1 - z \cot^{-1}z)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1 + z^2} - \frac{2r}{z}(1 - z \cot^{-1}z)$	$\frac{A}{P}$	$2[z(y - r) + r\sqrt{1 + z^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

Fuente: Ven Te Chow, 1994

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

## **2.2.2.3.5 DISEÑO DE CANALES CON FLUJO UNIFORME**

### **2.2.2.3.5.1 CRITERIOS**

En el diseño de canales hay que tomar en cuenta diversos factores como: rugosidad del material a utilizar, pendiente, forma de la sección, caudal a transportar, muchos de estos factores ya están definidos por los requerimientos del proyecto, sean estos de origen topográfico, constructivo, hidráulico o económico, se deberá tratar de encontrar la solución más eficiente al menor costo.

#### **2.2.2.3.5.1.1 VELOCIDAD**

Un criterio importante es el de la velocidad ya que generalmente el caudal captado acarrea sedimentos y para hacerlo el canal deberá tener una velocidad mínima, por otro lado se debe evitar que se erosione el material de revestimiento del canal por lo que existirá una velocidad máxima permisible.

Son varias las recomendaciones que algunos autores<sup>8</sup> hacen con respecto al rango de velocidad mínima y máxima, pero el rango oscila entre 0,7- 3m/s.

Uno de los materiales más utilizados como revestimiento de canales es el hormigón, la (United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1987) hace una recomendación sobre la velocidad máxima en este material y dice que no deberá superar los 3m/s (hormigón sin refuerzo) para que el recubrimiento no se levante. A continuación se presenta una tabla con Velocidades máximas según el revestimiento y tipo de suelo.

---

<sup>8</sup> (Krochin, 1978), (Ortiz Flórez, 2011)

**Tabla 5: Límites de Velocidad de Agua en Canales según el tipo de suelo o de revestimiento**

Tipo de Suelo	V max. (m/s)	
	Agua Limpia	Material en Suspensión
Lodo	0,10	0,15
Barro suelto	0,15	0,20
Arena fina (0,02 - 0,2 mm)	0,30	0,40
Arena media (0,2-0,5mm)	0,35	0,50
Limo arenoso (natural)	0,40	0,60
Arena gruesa (2-5mm)	0,45	0,65
Grava muy arenosa	0,60	0,80
Limo compacto ( natural)	0,70	1,00
Grava media (5-20mm)	0,80	1,15
Tierra arcillosa grasosa (natural)	1,00	1,30
Grava gruesa, piedra (20-50m)	1,40	1,60
Piedras (50-75mm)	1,70	1,80
Cantos rodados (75-100mm)	1,90	2,00
Césped prado bien radicado	1,80	1,80
Tipo de revestimiento		
Concreto(material de suspensión, mucha arena)		2,00
Concreto (agua sin arena)	4,00	
Mampostería con piedras sentadas y mortero.	5,00	

**Fuente :** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

### 2.2.2.3.5.1.2 PENDIENTE DEL CANAL

La pendiente longitudinal del fondo del canal generalmente está dada por la topografía, por la altura de energía requerida para el flujo de agua y por el propósito del canal ya que las condiciones varían de acuerdo a si el canal es para riego, abastecimiento de agua, proyectos hidroeléctricos, etc. Sin embargo se recomienda que la pendiente longitudinal sea pequeña para que las pérdidas sean mínimas.

En lo que se refiere a las pendientes laterales del canal dependen principalmente de la clase del material del canal. A continuación se presenta una tabla con pendientes apropiadas para cada tipo de material.

**Tabla 6: Pendientes laterales apropiados para canales construidos en diferentes clases de materiales**

Material	Pendiente Lateral
Roca	Aproximadamente Vertical
Estiércol y Suelos de Turba	1/4 : 1
Arcilla Rígida o Tierra con Recubrimiento de Concreto	1/2 :1 a 1 : 1
Tierra con recubrimiento de Piedras o Tierras en Canales Grandes	1 : 1
Arcilla Firme o Tierra en Canales Pequeños	1 1/2 : 1
Tierra Arenosa Suelta	2 : 1
Marga Arenosa o Arcilla Porosa	3 : 1

**Fuente:** Ven Te Chow, 1994

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

### 2.2.2.3.5.1.3 BORDE LIBRE

Es la distancia vertical comprendida entre la cota del espejo de agua y el tope del canal, esta distancia debe ser suficiente para que el agua no rebose por los lados cuando existan ondas y fluctuaciones en esta.

En el diseño es común que la longitud del borde libre sea entre el 5 y 30% de la profundidad del flujo. No existe una regla universal para el cálculo del borde libre sin embargo la (United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1987) propone una ecuación para estimar su valor:

$$BL = \sqrt{CY}$$

Donde:

$$C = \begin{cases} 1.5 Q < 20 \text{ pies}^3/\text{s} \\ 2.5 Q \leq 3000 \text{ pies}^3/\text{s} \end{cases}$$

Y= Profundidad de Flujo

En el Sistema Internacional

$$b_L = 0,55208695 * \sqrt{Cy}$$

$$C = 1,5 \quad Q < 0,57 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$2,5 \quad Q < 85 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 2.2.2.3.5.1.4 SECCIÓN HIDRÁULICA ÓPTIMA




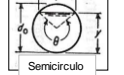
Desde un punto de vista netamente hidráulico la sección más óptima será la que conduzca un caudal máximo con el menor perímetro mojado para un área determinada.

Dentro de todas las secciones la que tiene el menor perímetro mojado es el semicírculo por lo tanto esta es la sección hidráulicamente más eficiente.

A continuación se presenta una tabla de 4 secciones hidráulicas óptimas, hay que resaltar que en la práctica no siempre es posible utilizar la geometría de estas secciones por razones constructivas, económicas, topográficas, etc.

Por ello desde un punto de vista práctico la sección hidráulica óptima será la que tenga un área mínima para un caudal dado.

**Tabla 7: Secciones Hidráulicas Óptimas**

SECCIONES HIDRÁULICAS ÓPTIMAS						
SECCIÓN	ÁREA (A)	PERÍMETRO MOJADO (P)	RÁDIO HIDRÁULICO (R)	ANCHO SUPERFICIAL (T)	PROFUNDIDAD HIDRÁULICA (D)	FACTOR DE SECCIÓN (Z)
 Rectángulo	$2y^2$	$4y$	$\frac{1}{2}y$	$2y$	$y$	$2y^{2.5}$
 Trapecio	$\sqrt{3}y^2$	$2\sqrt{3}y$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{4\sqrt{3}}{3}y$	$\frac{3}{4}y$	$\frac{3}{2}y^{2.5}$
 Triángulo	$y^2$	$2\sqrt{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{4}y$	$2y$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}y^{2.5}$
 Semicírculo	$\frac{\pi}{2}y^2$	$\pi y$	$\frac{1}{2}y$	$2\sqrt{2}y$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{8\sqrt{3}}{9}y^{2.5}$

Fuente: Ven Te Chow, 1994

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

### 2.2.2.3.5.2 CÁLCULO (FLUJO UNIFORME)

Se han desarrollado un sin número de ecuaciones prácticas para el cálculo del flujo uniforme sin embargo algunos no consideran las variables necesarias y otras son muy complejas. Las ecuaciones más utilizadas en la práctica de la ingeniería hidráulica en el diseño de canales con flujo uniforme son las de Chezy y Manning.

Por su uso práctico y factibilidad de aplicación, en el diseño de la conducción se utilizará la ecuación de Manning

$$Q = \frac{A}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

De esta ecuación se deriva otra en la que se puede agrupar convenientemente en un solo lado los elementos que sólo dependen de la geometría del área mojada y al otro lado n, Q, S.

$$AR^{\frac{2}{3}} = \frac{nQ}{\sqrt{S}}$$

Donde:

A= Área Mojada

R= Radio Hidráulico

N= Coeficiente de Rugosidad

Q= Caudal

S= Pendiente

El Coeficiente de Rugosidad de Manning depende del material y el radio hidráulico. A continuación se presenta una tabla con los valores de este coeficiente  $n$  para distintos tipos de materiales.

**Tabla 8: Coeficiente de Manning para diferentes tipos de cauce  $n$  (Ramiro Ortiz, 2011)**

MATERIAL DE CAUCE	MIN	med	Máx
Roca áspera		0,040	0,045
Roca sin asperezas	0,02	0,033	0
Canales grandes en buen estado	0,02	0,0225	0,025
Canales grandes en estado regular	0,023	0,025	0,027
Canales grandes en mal estado	0,025	0,0275	0,03
Canales malos semiderrumbados	0,028	0,03	0,033
Canal irregular con vegetación	0,033	0,035	0,04
Ladera cepillada	0,01	0,013	0,014
Ladera sin cepillar	0,012	0,015	0,018
Hormigón alisado con buen encofrado	0,013	0,014	0,015
Hormigón con huellas de tabla	0,015	0,016	0,018
Hormigón alisado	0,011	0,012	0,013
Mampostería, piedra	0,017	0,0225	0,03
Gaviones	0,025	0,027	0,032
Ladrillo enlucido	0,012	0,015	0,017

**Fuente :** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Al término  $AR^{2/3}$  se le conoce como Factor de Sección y es muy importante en el cálculo del flujo uniforme, la ecuación anterior muestra como para una condición determinada de  $n$ ,  $Q$ ,  $S$  existe sólo una profundidad posible para mantener el flujo uniforme.

En el diseño se puede presentar diversos tipos de problemas de cálculo que puedan llevarse a cabo a través de dos ecuaciones: La ecuación de continuidad y la ya mencionada ecuación de Manning.

El cálculo involucra las siguientes variables:

- Caudal (Q)
- Velocidad (V)
- Profundidad Normal (Y)
- Coeficiente de Rugosidad (n)
- Pendiente(S)
- Elementos geométricos que dependen de la forma de la sección como(A, R)

A continuación se presenta una tabla con algunos tipos de problemas.

**Tabla 9: Tipos de problemas de cálculo de flujo uniforme**

Tipo de problema	Caudal Q	Velocidad V	Profundidad y	Rugosidad n	Pendiente S	Elementos geométricos
A	?	—	√	√	√	√
B	—	?	√	√	√	√
C	√	—	?	√	√	√
D	√	—	√	?	√	√
E	√	—	√	√	?	√
F	√	—	√	√	√	?

**Fuente:** Ven Te Chow, 1994

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Simbología:

(√) Variables conocidas

(?) Incógnitas

(-) Variables que se pueden encontrar a partir de las variables conocidas.

## **2.2.2.4 TÚNELES**

### **2.2.2.4.1 GENERALIDADES**

Los túneles son obras especiales de conducción subterráneas que se excavan siguiendo su eje y se utilizan en los siguientes casos:

- Cuando es más económico atravesar un macizo montañoso que rodearlo
- Cuando se evita que la longitud del canal sea muy grande.
- Cuando la pendiente transversal del terreno es elevada (>45%) y esta en riesgo la estabilidad del canal.
- Las Características más importantes de un túnel en una PCH son las siguientes:
- El túnel de conducción en una PCH trabaja a presión atmosférica como un canal abierto con una velocidad que oscila entre 1,5-2,5 m/s
- El túnel debe mantener la pendiente del canal de conducción y seguir la distancia que se ve afectada por la topografía y geología del terreno.
- La forma de la sección del túnel debe ser tal que su área permita la circulación del personal y maquinaria, a su vez deberá resistir las presiones.
- Las presiones ejercidas sobre el túnel determinan su forma y su revestimiento.
- La forma de la sección en los túneles puede ser: circular, herradura o baúl la más utilizada es la sección baúl por su facilidad constructiva.

### Ilustración 19: Túnel de Conducción



**Fuente:** <http://bibliotecadeobrasargos.co/media/works/4c56ff4ce4aaf9573aa5dff913df997a/gallery/T%C3%BAnel.jpg>

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

#### 2.2.2.4.2 DISEÑO

El túnel al ser un canal a presión atmosférica obedece los mismos principios ya tratados en el diseño de canales, pero con ciertas particularidades.

La selección de la forma y tipo de revestimiento está dada por la geología y mecánica de roca ya que el dato más importante es la presión que deberá soportar (empuje de la tierra).

El túnel deberá satisfacer condiciones hidráulicas, estructurales así como también deberá permitir como ya se mencionó la circulación de personal y maquinaria.

Por esto se recomienda que las dimensiones mínimas para las distintas secciones sean las siguientes

1.80m (sección baúl)

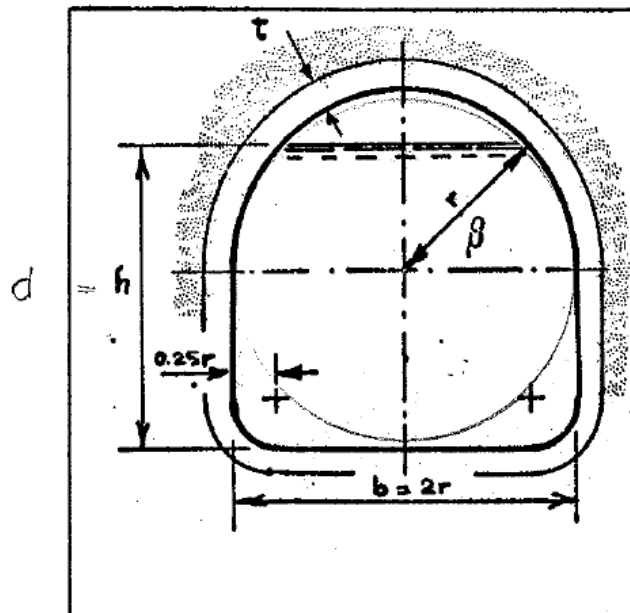
2.00m (herradura)

2.20m (circular)

El cálculo de las dimensiones es algo engorroso y es preferible usar tablas.

A continuación se presenta un esquema de la sección más utilizada que es la tipo baúl.

**Ilustración 20: Túnel Sección Baúl**



**Fuente:** (Krochin, 1978)

$r$ = Radio Bóveda

$\beta$ = Angulo con la horizontal formado por el radio que toca la intersección de la superficie del agua con la bóveda.

$d$ = Cálculo de profundidad del agua.

## 2.2.3 DESARENADOR

### 2.2.3.1 GENERALIDADES

El desarenador es una obra hidráulica de gran importancia dentro de las centrales hidroeléctricas y en general en obras de aprovechamiento de recursos hídricos, este sirve para sedimentar el material sólido en suspensión que lleva el agua de un canal en este caso el canal de conducción para su posterior eliminación. Este acarreo de material sólido en suspensión es posible gracias a que en la toma generalmente la velocidad es suficiente para arrastrarlo, en especial en épocas de creciente puede entrar gran cantidad de sedimentos y estudios experimentales muestran que en ríos de Montaña el volumen de sólidos está entre el 4-6% del volumen del caudal y en ríos de llanura del 0,2-1% (Krochin, 1978).

Esta obra se considera indispensable y sólo se podrá omitir en caso de disponer de agua limpia, captar arenas ocasiona varios prejuicios los principales son:

- Disminución de la sección del canal, debido a la sedimentación de material sólido esto se traduce en aumento de costos de mantenimiento por la necesidad de limpieza del canal.
- Disminución de la capacidad volumétrica y regulatoria del tanque de carga por acumulación de material sólido depositado gracias al proceso de sedimentación el cual se facilita por la velocidad baja dentro de esta estructura.
- En centrales hidroeléctricas las arenas arrastradas pasan a las turbinas desgastándolas, el porcentaje de desgaste es directamente proporcional a la velocidad de las partículas, en consecuencia el rendimiento de las turbinas puede disminuir hasta en un 50% y así también su vida útil que será de cinco a 6 veces menor.

### 2.2.3.2 CRITERIOS DE DISEÑO Y FORMULAS

El propósito principal de los desarenadores es permitir la sedimentación de las partículas de material sólido en suspensión y eliminarlas, estas se encuentran suspendidas gracias a la velocidad del agua en la conducción, para que el proceso de sedimentación pueda ocurrir, es necesario disminuir la velocidad del agua y esto se consigue a través del aumento de la sección transversal, es decir el desarenador deberá tener mayor área que el canal de conducción, por ello debe cumplir con la siguiente expresión.

$$Q = A_c * V_c = A_d * V_d$$

Donde:

Q = Caudal

$A_c$  = Área del Canal

$V_c$  = Velocidad Canal

$A_d$  = Área Desarenador

$V_d$  = Velocidad Desarenador

También es importante tomar en cuenta que la velocidad en el canal de conducción no deberá ser baja para que el material no se decante dentro de este.

Los desarenadores se diseñan para un determinado tamaño de partículas, esto quiere decir que todas las partículas con diámetro mayor al escogido se sedimentarán. Para pequeñas Centrales Hidroeléctricas existen recomendaciones del diámetro máximo admitido hechas por (Ortiz Flórez, 2011) y están en función de la caída. Estas se presentan a continuación:

**Tabla 10: Diámetro de partículas según la caída**

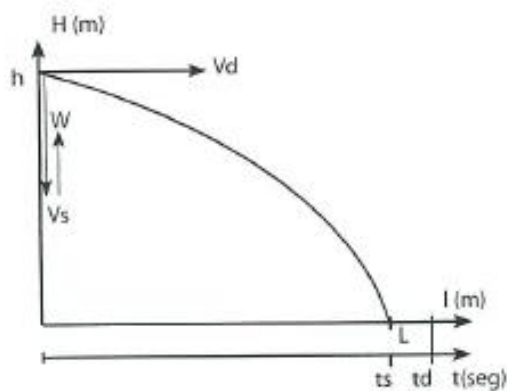
DLIM= (0,2 -- 0,5)mm	$h < 10\text{m}$ (baja caída)
DLIM= (0,1 - 0,2)mm	$h < 100\text{m}$ (media caída)
DLIM=(0,01-0,05)mm	$h \geq 100\text{m}$ (alta caída)

**Fuente:** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

La teoría de la desarenación está basada en la composición de velocidades y obedece a la ecuación de Stokes, el proceso de decantación consiste en disminuir la velocidad de la partícula para que esta se sedimente en la longitud del desarenador, este proceso se lo ilustra en la siguiente figura.

**Ilustración 21 : Proceso de Sedimentacion**



**Fuente:** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

Donde:

$V_d$  = Velocidad Horizontal de la corriente en la cámara de sedimentación

$V_s$  = Velocidad Vertical de sedimentación.

$W$  = Empuje Ascensional Dinámico debido a las turbulencias.

$H$  = Altura de la cámara

$L$  = Longitud de la cámara

$T_s$  = Tiempo de sedimentación

$T_d$  = Tiempo de desplazamiento

El criterio de velocidades en el diseño de la cámara de sedimentación es fundamental, la velocidad horizontal de la corriente ( $V_s$ ) dentro de esta no debe ser superior a 0.5m/s de lo contrario las partículas no podrán detenerse en una superficie lisa como la del fondo del desarenador.

Dubuat propone velocidades límites por debajo de las cuales el agua cesa de arrastrar diversos materiales. Esto indica que el rango de velocidad horizontal admisible ( $V_d$ ) dentro de la cámara oscila entre (0,1- 0,4) m/s y la profundidad media entre (1.5 - 4) m.

En lo que a velocidad de sedimentación ( $V_s$ ) se refiere esta representa la velocidad con la que la partícula cae por efecto de la gravedad.

Arkhangalski propone una tabla de velocidades de sedimentación para distintos diámetros de partículas, misma que se muestra a continuación.

**Tabla 11: Velocidad de sedimentación de las partículas sólidas en suspensión de acuerdo a su tamaño dadas por Arkhangalski (1935)**

d(mm)	$V_s$ (cm/s).	d(mm)	$V_s$ (cm/s).
0,05	0,18	0,50	5,40
0,10	0,69	0,55	5,94
0,15	1,56	0,60	6,48
0,20	2,16	0,70	7,32
0,25	2,70	0,80	8,07
0,30	3,24	1,00	9,44
0,35	3,78	2,00	15,39
0,40	4,32	3,00	19,25
0,45	4,86	5,00	24,90

**Fuente:** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

En el fondo de la cámara se depositan los sedimentos y estos generan una superficie rugosa que ocasiona turbulencias es decir corrientes transversales que causan un empuje ascensional dinámico que no permite la sedimentación que las partículas, el valor de este empuje según Sokolov es igual a:

$$W = 0.152 \cdot V_s$$

Además de los criterios mencionados también será importante asegurar una distribución uniforme de velocidad dentro de la cámara, con el objeto de disminuir las pérdidas hidráulicas en el desarenador, para esto se construye la transición de entrada que conecte el canal con el desarenador, y una de salida que conecte con el tanque de carga en caso de no existir un vertedero de salida.

La transición debe tener un ángulo de divergencia suave ( $12^\circ 30'$ ) y en lo posible las paredes deberán ser tangentes a la dirección del agua en todo punto, la longitud de transición se puede hallar con la siguiente expresión:

$$L = \frac{B - B'}{2 \tan \alpha} \leq \frac{1}{3} L$$

Donde:

L = Longitud de Transición

B = Ancho Desarenador

B' = Ancho Canal

$\alpha = 12^\circ 30'$

L = longitud desarenador

Otro de los criterios importantes para el óptimo funcionamiento del desarenador, está relacionado con los tiempos de sedimentación y decantación de las partículas, el primero se define como el tiempo que demora la partícula en llegar al fondo de la cámara, el segundo como el tiempo que demora la partícula en recorrer la longitud "L" de la cámara hasta llegar al fondo, estos deben cumplir la siguiente condición:

$$t_d > t_s$$

Y sus ecuaciones son:

$$t_d = \frac{L}{V_d}$$

Donde:

L= Longitud efectiva de la cámara de sedimentación.

V<sub>d</sub>= Velocidad horizontal.

$$t_s = \frac{h}{V_s'}$$

Donde:

h= altura de la cámara

V<sub>s</sub>'= Velocidad efectiva de sedimentación.

$$V_s' = V_s - W$$

Dónde:

V<sub>s</sub>= Velocidad de sedimentación

W= empuje ascensional dinámico

La longitud mínima del desarenador se la obtiene igualando el tiempo de sedimentación y decantación, por lo tanto:

$$L = \frac{Vd * h}{Vs - W}$$

Donde:

Vd= Velocidad de decantación.

H = Altura del desarenador

Vs = Velocidad de sedimentación

W = Empuje ascensional dinámico.

### **2.2.3.3 TIPOS**

Hay diferentes tipos de desarenadores pero principalmente se los clasifica de acuerdo a la forma de eliminación de los sedimentos, así pueden ser de lavado continuo o intermitente.

#### **2.2.3.3.1 DESARENADOR DE LAVADO INTERMITENTE**

Este tipo de desarenador es el más común y se caracteriza porque se lava periódicamente, se procura que el lavado dure el menor tiempo posible, para de esta manera reducir al mínimo sus pérdidas de agua, los principales elementos de este tipo de desarenadores son:

**Compuerta de admisión:** Esta obra permite unir la conducción con el desarenador y generalmente son dos, una a la entrada del desarenador y otra a la entrada del canal directo.

**Transición entrada:** Con el objeto de tener una distribución uniforme de velocidades se debe construir esta obra a la entrada para conectar el canal con el desarenador

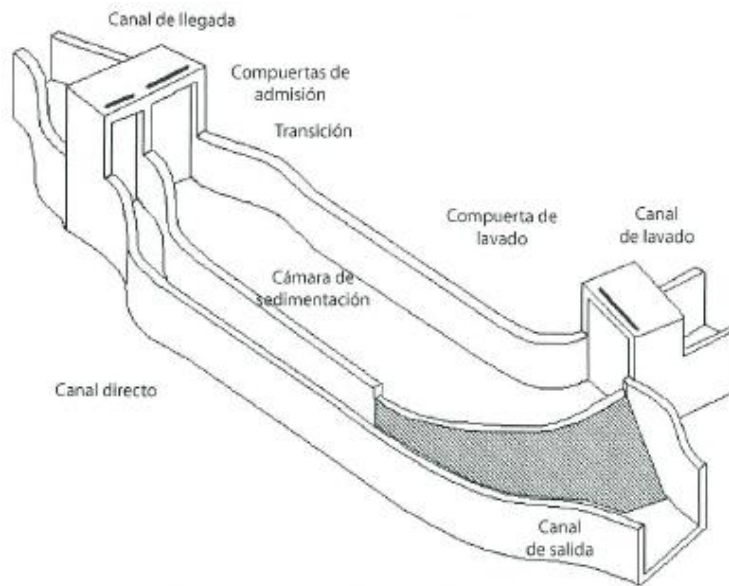
**Transición de sólidos o vertederos:** Generalmente la salida del agua desde el desarenador hasta el tanque de carga se la hace a través de un vertedero ya que las capas superiores de agua son las que primero se limpian, mientras menos sea la velocidad de paso por el vertedero hay menos turbulencia y se arrastra menos material en suspensión, la velocidad y carga máxima en el vertedero recomendado por Krochin son 1m/s y 25cm respectivamente. En caso de no existir un vertedero se construye una transición con los criterios de diseño ya mencionados.

**Cámara de sedimentación:** En esta cámara las partículas se sedimentan, es decir caen al fondo debido a la disminución de velocidad por el aumento de sección , generalmente se utiliza las formas trapezoidal y rectangular, siendo la primera la más conveniente debido a que no necesita resistir el empuje de la tierra por lo que solo precisa de un revestimiento, además es hidráulicamente más eficiente, la pendiente de los taludes recomendada es 1:5, 1:8; al fondo de la cámara también se recomienda darle una pendiente del 2-6% para facilitar el lavado.

**Compuerta de lavado.-** Por esta se desaloja el material depositado en el desarenador generalmente el proceso de lavado exige que las compuertas de admisión se cierren, pero en caso de emergencia debe poder lavarse con dichas compuertas abiertas por esto la compuerta de lavado debe diseñarse para el caudal de lavado más el caudal traído por el canal , el proceso de lavado es sencillo la compuerta de admisión se cierra esta impide la entrada de más agua al desarenador simultáneamente se abren las compuertas de lavado y canal directo, por la primera se desaloja el volumen de agua del desarenador y con este el material depositado, por la segunda se desvía el agua de la conducción.

**Canal Directo.-** Por este canal se conduce el caudal mientras se realiza el lavado del desarenador también tiene una compuerta de admisión.

### Ilustración 22: Desarenador de lavado intermitente



**Fuente:** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

#### 2.2.3.3.2 **DESARENADOR DE CÁMARA DOBLE**

Es una variación del desarenador de lavado intermitente, generalmente cuando el caudal supera los  $10\text{m}^3/\text{s}$ , es recomendable dividir el desarenador en dos cámaras de sedimentación cada uno se calcula para la mitad del caudal, posee los mismos elementos ya mencionados en el desarenador de lavado intermitente, las diferencias radican en que se tiene dos cámaras cada una con una compuerta de lavado independiente, y en que la necesidad de un canal directo se elimina, ya que mientras se lava la una, la otra puede trabajar con todo el caudal.

### Ilustración 23: Desarenador de cámara doble



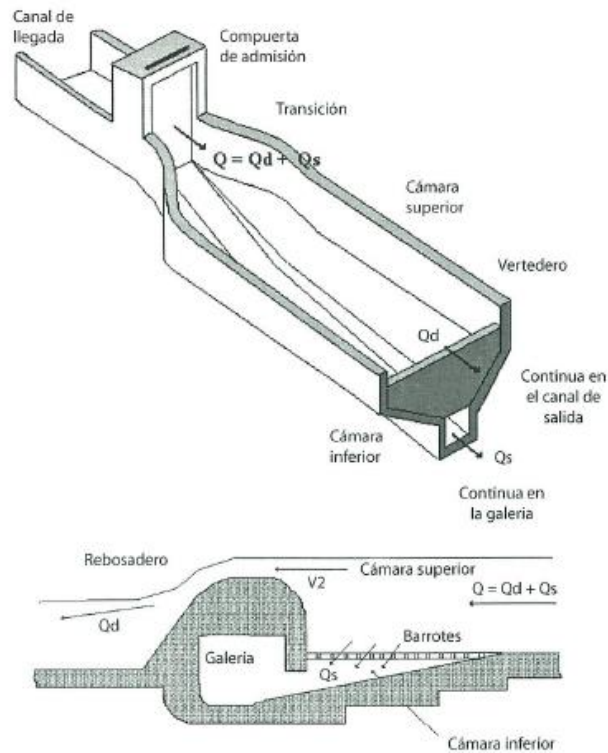
Fuente : <https://www.celec.gob.ec/hidroazogues/images/alazan/DSC03694.JPG>

#### 2.2.3.3.3 *DESARENADOR DE LAVADO CONTINUO*

Este tipo de desarenador es recomendado cuando se dispone de un caudal mayor al que se requiere captar, se caracteriza porque el material depositado en ellos se elimina de forma continua.

Este desarenador consta de dos cámaras (superior e inferior) separados por una reja de barrotes, la cámara superior tiene una sección grande lo que permite que baje la velocidad y los sedimentos se depositen, una vez en el fondo de esta cámara estos son arrastrados hacia la cámara inferior a través de los espacios entre barrotes, posteriormente son encausados en una galería de sección pequeña, gran pendiente y velocidades altas

### Ilustración 24: Desarenador de Lavado Continuo



Fuente: Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

Hay que tomar en cuenta que la velocidad de entrada y salida no son iguales, además debido a que se maneja velocidades diferentes el empuje ascensional dinámico obedece a la siguiente ecuación:

$$W = \frac{Qs}{L \cdot B_{med}}$$

Donde:

Qs= Caudal de lavado continuo

L= longitud de la cámara

Bmed= Ancho medio del desarenador

Y en consecuencia la ecuación de la longitud del desarenador se modifica ya que la sedimentación es más rápido entonces:

$$L = \frac{h}{V_S + W} * \frac{V_1 + V_2}{2}$$

## 2.2.4 TANQUE DE CARGA

El tanque o cámara de carga es una estructura Hidráulica de PCH<sup>9</sup> en derivación para conducciones de longitud relativamente larga, esta se construye al final de la conducción y une el sistema de flujo libre (conducción) con el sistema a presión (Tubería de Presión), debido a que la velocidad en el canal es baja y en la tubería alta, se presentan instantes como los de arranque y parada que el tanque de carga permite realizar a través de un volumen de agua.

El tanque de carga dentro de una PCH cumple con las siguientes funciones.

- Crea un volumen de reserva que permite satisfacer las necesidades de las turbinas durante aumentos bruscos de demanda.
- Permite amortiguar el golpe de ariete originado por paradas bruscas a través de un volumen de seguridad.
- Impide la entrada de materiales sólidos en suspensión en la tubería de presión.
- Evita la entrada de aire en la tubería de presión a través de una altura de agua.
- Desaloja el exceso de agua en horas en las que el caudal consumido por las turbinas es inferior al caudal de diseño.
- Permite decantar materiales sólidos en suspensión y lavarlos.
- Proporciona la conexión necesaria entre tubería de presión y conducción.

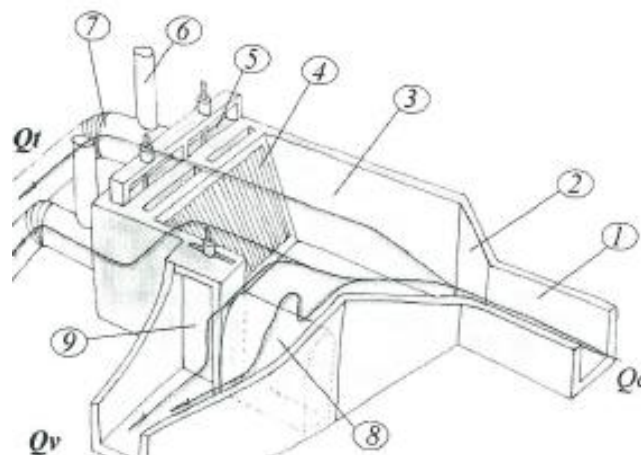
---

<sup>9</sup> PCH: Pequeña Central Hidroeléctrica

Los elementos que componen el tanque de carga son los siguientes:

- Un reservorio con capacidad suficiente para la maniobra de arranque y parada brusca de las turbinas.
- Una transición que conecta el canal con el tanque.
- Una rejilla que impide el paso de material sólido en suspensión.
- Entre la tubería de presión y la rejilla se instalan compuertas de admisión que en caso de necesidad impiden la entrada de agua en la tubería.
- Una compuerta de lavado ubicada en una de las paredes del tanque que desaloja los sedimentos depositados.
- Un canal de lavado a través del cual se desaloja los sedimentos del tanque, este canal tiene gran pendiente por lo que se conoce como “rápido” y desemboca en el río o en lugar donde no cause daño.
- Un vertedero lateral de exceso por el cual el agua puede desbordarse en caso de que el caudal consumido por las tuberías sea menor que el de diseño, este volumen de agua excedente debe desembocar al canal de lavado.

**Ilustración 25: Tanque de carga**



**Fuente:** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

## 2.2.5 TUBERÍA DE PRESIÓN

El agua es llevada desde el tanque de carga a través de una o varias tuberías generalmente de acero hasta las turbinas, en donde la energía cinética se transforma en mecánica

El trazado de la tubería debe ser preferiblemente recto, pero las condiciones topográficas en ocasiones no permiten este tipo de configuración, por lo que se hace necesario utilizar accesorios como son los apoyos, anclajes; los primeros sirven para sostener la tubería, los segundos para variar la pendiente, dependiendo de las necesidades del proyecto, existen otros accesorios con diferentes funciones que se puede utilizar.

**Ilustración 26: Tubería de Presión**



Fuente : [http://www.sima.com.pe/images/img\\_prod\\_mm\\_tberia\\_2.jpg](http://www.sima.com.pe/images/img_prod_mm_tberia_2.jpg)

Los elementos que componen la tubería de presión son las siguientes:

- Toma agua en el tanque de carga
- Rejilla
- Anclajes
- Apoyos
- Codos
- Juntas de unión y contracción.
- Bifurcaciones
- Turbinas

En conjunto forman el sistema de presión y todas son necesarios para el funcionamiento de la tubería. Para el dimensionamiento de la tubería se debe tener en cuenta los siguientes parámetros.

La selección del diámetro de la tubería obedece a un criterio técnico, económico, que permite tener la menor cantidad de pérdidas al menor costo posible.

El espesor de la tubería se elige de acuerdo al golpe de ariete, el peso del agua y de la tubería.

El material de la tubería debe cumplir con especificaciones mecánicas.

## 2.2.6 CASA DE MÁQUINAS

La casa de máquinas es una estructura civil que contiene la mayoría del equipo electromecánico, en ella tiene lugar el proceso de conversión de energía cinética a mecánica y de mecánica a eléctrica por eso tiene gran importancia su ubicación, el sitio de implantación deberá escogerse teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Se debe ubicar en un sitio cercano al fluente para de esta manera entregar a este el agua turbinada.
- El sitio de implantación deberá tener como característica la existencia de un terreno estable, fuera del alcance de riadas.
- Deberán existir facilidades de acceso y de espacio disponible.

El proceso de conversión de energía de cinética a mecánica y de esta a eléctrica requiere que dentro de la casa de máquinas existan equipos destinados a este fin, los elementos constituyentes de una casa de máquinas son los siguientes:

- Bifurcación, que permite dividir el caudal para los diversos hidrogrupos en caso de ser necesario.
- Reducción que empalma la válvula principal con un tramo de la tubería.
- Válvula principal que permite el paso o cierre total del flujo del caudal.
- Turbina o turbinas en donde se transforma la energía cinética en mecánica.
- Generador o generadores en donde se transforma la energía mecánica en eléctrica a través de un acople directo o transmisión.
- Regulador de velocidad que permite variar la potencia, debido a la variación de demanda.
- Voltante de inercia que permite dar estabilidad al grupo de turbina-generador ante la oscilación de la demanda eléctrica.
- Equipos de transmisión
- Accesorios de seguridad.
- Canal de desagüe

**Ilustración 27: Casa de máquinas**



**Fuente :** [http://gczingenieros.com/images/ejecutadas/5\\_Foto\\_1.jpg](http://gczingenieros.com/images/ejecutadas/5_Foto_1.jpg)

### 3 CAPITULO III. DISEÑOS DE PRE FACTIBILIDAD DE LAS OBRAS A FLUJO LIBRE DE LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “ATENAS “(RÍO ZARAPULLO)

#### 3.1 ESTUDIOS BASICOS E INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

##### 3.1.1 UBICACIÓN

El proyecto se encuentra ubicado en las provincias de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas y Cotopaxi, cantones Mejía, Santo Domingo de los Tsáchilas y Sigchos.

Ilustración 28: Ubicación de la Central hidroeléctrica



Fuente : CONELEC

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

El Proyecto de la Pequeña Central Hidroeléctrica “ATENAS” está proyectado para la obtención de Energía Eléctrica aprovechando el potencial del Río Zarapullo, con un caudal medio anual de 14.46 m<sup>3</sup>/s aprovechables para su generación

### COORDENADAS

- LATITUD: 78° 53`15.80 “OESTE
- LONGITUD: 00° 24`44.60 “SUR
- ELEVACION: 1189 msnm

**Ilustración 29: Esquema general del proyecto**



**Fuente:** Google Earth

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

El proyecto está comprendido por un azud vertedero, obras de toma, y un desarenador de lavado intermitente de una cámara, la conducción se la efectúa a través de un túnel sección baúl y de un canal rectangular a flujo libre que transporta el caudal a la casa de máquinas prevista de dos turbinas tipo Francis de eje vertical que aprovechan una caída de 85 m.

### **3.1.2 TOPOGRAFÍA**

#### **3.1.2.1 CARTAS IGM**

Al tratar del diseño de una pequeña Central Hidroeléctrica y de ser un estudio a nivel de pre factibilidad se han empleado para determinar la ubicación de las obras y la caída neta Cartas Topográficas editadas por el instituto Geográfico Militar en escala 1 a 25000.

Las cartas empleadas tienen una distancia entre cotas de 20m lo que ha permitido realizar el estudio de los recursos aprovechables en forma muy aproximada.

La carta que se emplea tiene por nombre "Las Damas" y pertenece a la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, esta carta se junta en los anexos del presente estudio.

#### **3.1.2.2 VISITA DE CAMPO.**

Para complementar y corroborar la información cartográfica in Situ se realizó una visita de campo en donde se tomarán puntos con la ayuda de un GPS para la ubicación de los componentes principales estos puntos se los presenta a continuación.

Finamente se hizo una memoria fotográfica de las Áreas de interés que permite tener una idea más real de las condiciones in situ, (ANEXO 2).

### 3.1.3 GEOLOGIA

El sitio de implantación del proyecto en el Río Zarapullo, se encuentra enclavado<sup>10</sup> en las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental de los Andes. La infraestructura existente en esta Cordillera está constituida por un conjunto de rocas básicas y ultra básicas, similar que en el zócalo de la costa Ecuatoriana, presenta series volcánico-sedimentarias, denominadas hoy en día como formaciones Piñón y Macuchi.

Estas formaciones son constituidas por rocas volcanoclásticas particularmente tobas con clastos de diversos tamaños que se conoce como brecha, flujos de rocas ígneas del tipo de las andesitas, coladas de diabasas enfriadas en profundidad dando una textura porfirítica, mantos de espilitas y ceniza volcánica silicificada hasta formar lutitas duras.

Los afloramientos comunes, ocurren en la parte central y oriental del cuadrante de la hoja geológica, La Delicia. Las rocas han sido definidas como andesitas, que en estado fresco tienen color verde y presentan una compactación apreciable.

Este tipo de rocas constituyen el basamento<sup>11</sup> del Ecuador, desde la depresión interandina hasta el Pacífico y están dadas como Jurásico-Cretácico inferior. Las formaciones Piñón y Macuchi se originan en la corteza oceánica que luego se agrega al Continente Sudamericano por subducción<sup>12</sup> de la placa oceánica debajo de la placa continental y posterior orogénesis <sup>13</sup>andina.

---

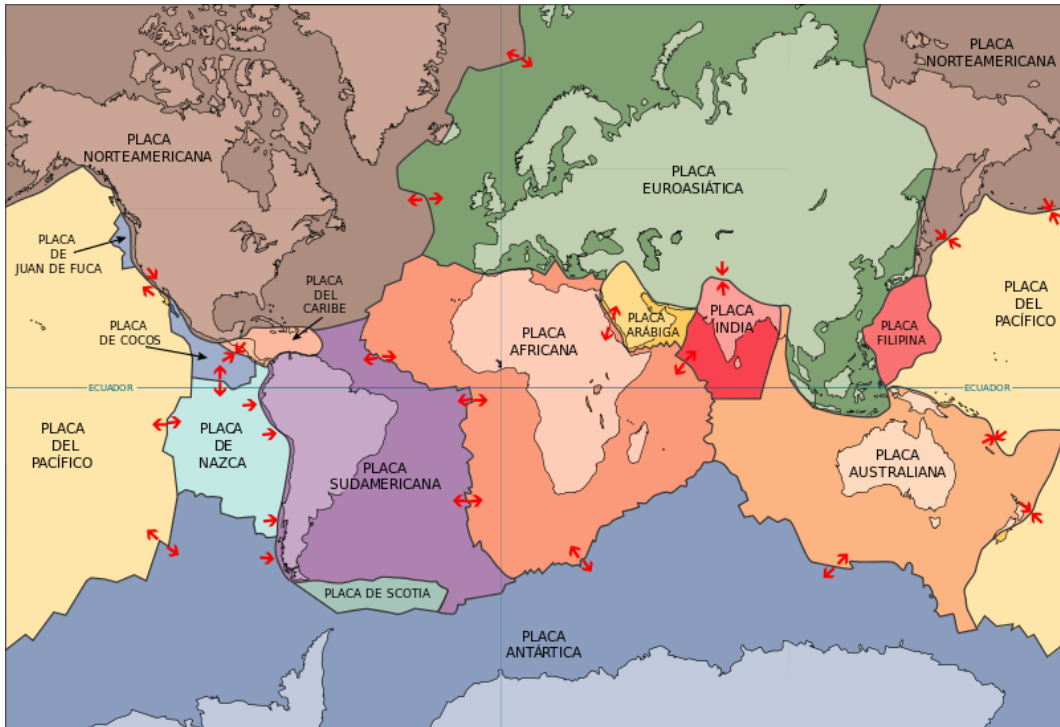
<sup>10</sup> Que está situado o encerrado dentro de otra área.

<sup>11</sup> parte inferior de la estratigráfica Ecuatoriana

<sup>12</sup> es el proceso de hundimiento de una placa litosférica bajo otra en un límite convergente, según la teoría de tectónica de placas

<sup>13</sup> proceso geológico mediante el cual la corteza terrestre se acorta y pliega en un área alargada producto de un empuje

### Ilustración 30: Placas Tectónicas



Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Placa\\_tect](https://es.wikipedia.org/wiki/Placa_tect)

En la zona del proyecto se pudo apreciar tres tipos de formaciones fundamentales que por su edad varían desde el Cretácico al Cuaternario-Reciente:

Las rocas de la corteza pertenecientes al Cretáceo, formado por un conjunto volcánico-sedimentario representado por tobas, lavas y lutitas, predominando las tobas y lavas irregularmente interestratificadas. Como estrato secundario se encuentran lutitas silicificadas y brechas. En el sector se hallan también macizos rocosos constituidos por corrientes de lavas diabásicas, basálticas, andesitas y tobas.

### Ilustración 31: Estratigrafía de la Cuenca del Rio Zarapullo



**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

La brecha tobácea<sup>14</sup>, sobre las rocas del sustrato forman un conjunto de laharíticas constituido por brechas tobáceas, cenizas y aglomerados de origen volcánico.

El origen de esta estratigrafía laharítica está ligada con los deshielos, lluvias torrenciales y volcanismos pleistocénico. El suelo tobáceo constituido por el conjunto de capas superficiales de limo, limo-arcilloso, arcilla, cangagua, es de origen volcánico. Las estructuras llevan una dirección Norte-Sur con buzamientos <sup>15</sup> hacia Este y Oeste, se encuentran fuertemente plegadas y falladas.

---

<sup>14</sup> afloramientos de calizas

<sup>15</sup> Inclinación de un filón o de una capa del terreno.

### 3.1.3.1.1 LITOLOGIA

Se presenta tres tipos de formaciones litológicas en la cuenca del Rio Zarapullo que por su edad varían desde el cretáceo al cuaternario-reciente:

- Las rocas del sustrato antiguo, pertenecientes al cretáceo, atravesadas por cuerpos intrusivos de edad terciaria.
- La brecha tobácea (lahares) del cuaternario.
- El suelo tobáceo reciente.

La depositación<sup>16</sup> laharítica se origina por los deshielos, lluvias torrenciales y volcanismo pleitocénico. Estas corrientes barrosas de origen volcánico (brechas tobáceas, aglomerados, etc.) cubrieron la morfología antigua rellenando depresiones y antiguos causes, formando una extensa planicie (Pampas Argentinas) de gran anchura y de una mayor longitud.

#### Ilustración 32: Rasgos Geomorfológicos en la Cuenca del Rio Zarapullo



Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

El suelo tobáceo se ha denominado al conjunto de capas superficiales constituidas de limo, limo- arcilloso, arcilla, cangahua y lapilli. El suelo tobáceo en función de la topografía varía de espesor desde 0.5 hasta 30 metros, siendo mayor en las partes altas

<sup>16</sup> Proceso geológico por el cual el material se agrega a un accidente geográfico o masa de tierra

y planas , menor en las pendientes. Es de origen volvanico y depositacion eolica ocurrida posiblemente en el Postglacial y Reciente. (ANEXO 3)

### **3.1.4 HIDROLOGÍA**

#### **3.1.4.1 DATOS ESTACIÓN HIDROMÉTRICA**

Los datos utilizados para la estimación del presente estudios corresponde a los del caudales medios diarios del periodo 1946-2010, completando 41 años de información disponible, estos datos fueron obtenidos del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), específicamente de la Estaciones Zarpullo y AJ Platón ubicadas cerca del sitio de implantación del proyecto, por lo que se dispone de una mayor precisión en la estimación de los datos hidrométricos utilizados para el diseño, el 98% de la información corresponde a la estación Zarpullo que ya no se encuentra en operación , el 2% restante se completó con la información de la estación AJ Pilatón.

En los anexos se presenta una tabla con las estaciones hidrométricas que dispone el Inamhi resaltando las utilizadas en el presente estudio

La Recomendación que realiza (Ramiro Ortiz, 2011) para el periodo mínimo de información requerida para realizar el diseño de una Pequeña Central Hidroeléctrica es de 10 años por lo que el periodo de información del presente estudio excede y cubre los requisitos mínimos necesarios.

#### **3.1.4.2 CAUDAL DE DISEÑO**

Para la estimación del caudal de diseño se utilizarán los datos de caudales medios diarios correspondientes al periodo 1946- 2010 de la Estación Zarpullo y AJ Pilatón, el cálculo se lo hizo a través de la estadística inferencial utilizando distribuciones de frecuencia, curvas de frecuencia y de duración. Para el óptimo funcionamiento de una Central Hidroeléctrica, es necesario escoger un caudal de diseño que esté garantizado durante un porcentaje alto de tiempo durante el año.

(Sviatoslav, 1978) presentó un cuadro de los porcentajes recomendados en función del uso del agua y que se ha tomado de referencia en la selección del caudal de diseño. A continuación se presenta este cuadro.

**Tabla 12: Porcentajes Curva de Duración**

PORCENTAJES RECOMENDADOS OBTENIDOS DE LA CURVA DE DURACIÓN PARA DISTINTOS TIPOS DE USO DEL AGUA	
AGUA POTABLE	90 - 97 %
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	75 - 95 %
RIEGO	70-90 %

**Fuente:** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz 2011)

**Elaborado por:** Pablo Racines

Debido a esto se ha seleccionado el caudal correspondiente al **Q75** y este toma un valor de **7.5m<sup>3</sup>/s**, el proceso de cálculo se presenta a continuación.

Cuadro del año utilizado para el estudio estadístico de caudales, cada uno de los 366 datos son el resultado del promedio de los caudales medios diarios de los 41 años de información disponible.

**Tabla 13: Caudales Medios Diarios**

CAUDALES MEDIOS DIARIOS (1964 - 2010)													
DIA	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1		10,97	24,98	27,54	20,78	26,43	16,42	9,97	7,13	6,32	6,49	7,62	8,36
2		11,93	24,67	26,35	22,09	26,30	15,78	9,77	7,01	6,41	6,53	7,35	7,84
3		13,45	23,53	26,43	21,97	28,02	15,72	9,36	6,87	6,31	6,77	7,20	7,78
4		12,56	22,76	25,98	23,03	26,92	15,05	9,35	6,95	6,21	6,74	7,17	8,09
5		12,17	23,66	24,70	21,55	25,01	15,13	9,22	6,80	6,42	6,77	7,48	8,39
6		12,89	25,76	25,28	22,26	24,06	14,66	9,10	6,68	6,31	6,67	7,42	8,55
7		13,71	23,45	26,17	22,18	23,33	14,49	9,25	6,59	6,17	6,84	7,33	8,89
8		13,87	23,07	26,35	21,80	23,38	14,29	9,12	6,57	6,35	6,84	7,47	9,83
9		15,68	22,43	26,06	23,13	23,50	13,99	9,04	6,53	6,30	6,86	7,81	9,55
10		15,74	22,59	25,90	23,17	22,10	14,15	8,92	6,42	6,06	6,70	7,72	9,38
11		15,09	23,74	24,75	23,52	20,81	13,64	8,89	6,44	5,92	7,05	8,10	8,64
12		16,22	24,33	24,00	23,58	20,17	13,15	8,78	6,30	5,91	7,66	8,25	8,73
13		16,62	25,93	28,80	23,76	21,65	12,84	8,76	6,30	5,94	7,49	8,75	8,46
14		16,69	28,78	26,14	25,46	19,41	12,56	8,82	6,29	6,09	7,56	8,70	9,23
15		19,07	28,43	25,22	25,18	19,23	12,56	8,78	6,37	6,05	7,23	8,47	10,27
16		19,95	31,50	26,04	23,56	19,24	12,06	8,68	6,33	6,00	7,11	8,28	9,71
17		29,01	31,52	26,54	23,13	20,58	11,85	8,42	6,30	6,18	7,33	8,26	11,98
18		19,64	30,18	26,26	22,17	20,05	11,61	8,36	6,31	5,98	7,12	8,22	11,81
19		18,33	29,41	28,16	21,33	19,88	11,63	8,28	6,28	6,10	7,17	8,36	12,66
20		16,91	30,15	25,62	22,21	18,90	11,48	8,04	6,30	6,09	6,65	8,30	12,56
21		17,41	28,91	26,43	20,40	17,99	11,31	7,83	6,14	6,40	6,89	8,59	12,28
22		17,69	28,72	27,46	20,93	18,63	11,58	7,74	6,34	6,93	7,61	8,21	12,59
23		17,69	30,39	28,63	23,13	18,09	11,41	7,62	6,13	6,98	7,34	8,05	12,98
24		19,47	30,92	26,68	22,13	17,88	11,29	7,53	6,24	6,71	7,43	8,27	13,03
25		23,30	30,57	27,09	22,10	18,15	10,93	7,37	6,08	6,76	7,24	8,64	12,61
26		27,13	29,04	32,28	22,03	17,88	10,69	7,23	6,18	6,89	7,26	8,11	13,85
27		24,15	28,95	29,85	21,82	17,52	10,53	7,21	6,13	6,89	7,59	7,80	15,85
28		23,21	27,44	28,55	22,40	17,07	10,03	7,09	6,02	6,48	8,43	7,87	13,31
29		24,67	31,16	26,76	22,95	17,35	9,99	7,09	6,14	7,09	7,86	8,20	13,36
30		25,28		27,08	22,00	16,75	10,04	7,04	6,09	7,10	7,24	8,58	13,93
31		25,48		36,94		15,96		6,98	6,15		7,48		12,90
<b>PROMEDIO</b>		18,27	27,02	27,12	28,75	13,64	12,67	8,37	6,40	6,39	7,16	8,02	10,85
<b>MINIMO</b>		3,49	3,80	3,95	4,14	3,95	3,72	3,62	3,07	2,68	2,55	2,89	2,86
<b>MAXIMO</b>		403,34	233,07	418,64	209,94	114,39	68,48	44,61	29,46	28,27	54,81	43,67	94,69

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Para la selección del caudal de diseño se ordenaron los 366 datos de mayor a menor y se construyó una tabla de distribución de frecuencias, misma que se presenta a continuación.

Tabla 14: Tabla de Distribución de Frecuencias

TABLA DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS							
#	INTERVALOS DE CLASE			FRECUENCIAS			
	LI	MARCA	LS	ACUMULADA	RELATIVA	RELATIVA %	RELATIVA ACUMULADA %
1	5.80	5.95	6.10	13	13	3.55	3.55
2	6.11	6.26	6.41	42	29	7.92	11.48
3	6.42	6.57	6.72	54	12	3.28	14.75
4	6.73	6.88	7.03	72	18	4.92	19.67
5	7.04	7.19	7.34	92	20	5.46	25.14
6	7.35	7.50	7.65	107	15	4.10	29.23
7	7.66	7.81	7.96	116	9	2.46	31.69
8	7.97	8.12	8.27	128	12	3.28	34.97
9	8.28	8.43	8.58	141	13	3.55	38.52
10	8.59	8.74	8.89	153	12	3.28	41.80
11	8.90	9.05	9.20	157	4	1.09	42.90
12	9.21	9.36	9.51	163	6	1.64	44.54
13	9.52	9.67	9.82	166	3	0.82	45.36
14	9.83	9.98	10.13	171	5	1.37	46.72
15	10.14	10.29	10.44	172	1	0.27	46.99
16	10.45	10.60	10.75	174	2	0.55	47.54
17	10.76	10.91	11.06	176	2	0.55	48.09
18	11.07	11.22	11.37	178	2	0.55	48.63
19	11.38	11.53	11.68	183	5	1.37	50.00
20	11.70	11.85	12.00	187	4	1.09	51.09
21	12.01	12.16	12.31	190	3	0.82	51.91
22	12.32	12.47	12.62	196	6	1.64	53.55
23	12.63	12.78	12.93	200	4	1.09	54.64
24	12.94	13.09	13.24	203	3	0.82	55.46
25	13.25	13.40	13.55	206	3	0.82	56.28
26	13.56	13.71	13.86	210	4	1.09	57.38
27	13.87	14.02	14.17	213	3	0.82	58.20
28	14.18	14.33	14.48	214	1	0.27	58.47
29	14.49	14.64	14.79	216	2	0.55	59.02
30	14.80	14.95	15.10	218	2	0.55	59.56
31	15.11	15.26	15.41	219	1	0.27	59.84
32	15.42	15.57	15.72	221	2	0.55	60.38
33	15.73	15.88	16.03	225	4	1.09	61.48
34	16.04	16.19	16.34	226	1	0.27	61.75
35	16.35	16.50	16.65	228	2	0.55	62.30
36	16.66	16.81	16.96	231	3	0.82	63.11
37	16.97	17.12	17.27	232	1	0.27	63.39
38	17.28	17.43	17.58	235	3	0.82	64.21
39	17.59	17.74	17.89	239	4	1.09	65.30
40	17.90	18.05	18.20	242	3	0.82	66.12
41	18.21	18.36	18.51	243	1	0.27	66.39
42	18.52	18.67	18.82	244	1	0.27	66.67
43	18.83	18.98	19.13	246	2	0.55	67.21
44	19.14	19.29	19.44	249	3	0.82	68.03
45	19.45	19.60	19.75	251	2	0.55	68.58
46	19.76	19.91	20.06	254	3	0.82	69.40
47	20.07	20.22	20.37	255	1	0.27	69.67
48	20.38	20.53	20.68	257	2	0.55	70.22
49	20.69	20.84	20.99	260	3	0.82	71.04
50	21.00	21.15	21.30	260	0	0.00	71.04
51	21.31	21.46	21.61	262	2	0.55	71.58
52	21.62	21.77	21.92	265	3	0.82	72.40
53	21.93	22.08	22.23	275	10	2.73	75.14
54	22.24	22.39	22.54	278	3	0.82	75.96
55	22.55	22.70	22.85	280	2	0.55	76.50
56	22.86	23.01	23.16	286	6	1.64	78.14
57	23.17	23.32	23.47	292	6	1.64	79.78
58	23.49	23.64	23.79	300	8	2.19	81.97
59	23.80	23.95	24.10	302	2	0.55	82.51
60	24.11	24.26	24.41	304	2	0.55	83.06
61	24.42	24.57	24.72	307	3	0.82	83.88
62	24.73	24.88	25.03	310	3	0.82	84.70
63	25.04	25.19	25.34	314	4	1.09	85.79
64	25.35	25.50	25.65	317	3	0.82	86.61
65	25.66	25.81	25.96	320	3	0.82	87.43
66	25.97	26.12	26.27	326	6	1.64	89.07
67	26.28	26.43	26.58	333	7	1.91	90.98
68	26.59	26.74	26.89	335	2	0.55	91.53
69	26.90	27.05	27.20	339	4	1.09	92.62
70	27.21	27.36	27.51	341	2	0.55	93.17
71	27.52	27.67	27.82	342	1	0.27	93.44
72	27.83	27.98	28.13	343	1	0.27	93.72
73	28.14	28.29	28.44	345	2	0.55	94.26
74	28.45	28.60	28.75	348	3	0.82	95.08
75	28.76	28.91	29.06	354	6	1.64	96.72
76	29.07	29.22	29.37	354	0	0.00	96.72
77	29.38	29.53	29.68	355	1	0.27	96.99
78	29.69	29.84	29.99	356	1	0.27	97.27
79	30.00	30.15	30.30	358	2	0.55	97.81
80	30.31	30.46	30.61	360	2	0.55	98.36
81	30.62	30.77	30.92	361	1	0.27	98.63
82	30.93	31.08	31.23	362	1	0.27	98.91
83	31.24	31.39	31.54	364	2	0.55	99.45
84	31.55	31.70	31.85	364	0	0.00	99.45
85	31.86	32.01	32.16	364	0	0.00	99.45
86	32.17	32.32	32.47	365	1	0.27	99.73
87	32.48	32.63	32.78	365	0	0.00	99.73
88	32.79	32.94	33.09	365	0	0.00	99.73
89	33.10	33.25	33.40	365	0	0.00	99.73
90	33.41	33.56	33.71	365	0	0.00	99.73
91	33.72	33.87	34.02	365	0	0.00	99.73
92	34.03	34.18	34.33	365	0	0.00	99.73
93	34.34	34.49	34.64	365	0	0.00	99.73
94	34.65	34.80	34.95	365	0	0.00	99.73
95	34.96	35.11	35.26	365	0	0.00	99.73
96	35.28	35.43	35.58	365	0	0.00	99.73
97	35.59	35.74	35.89	365	0	0.00	99.73
98	35.90	36.05	36.20	365	0	0.00	99.73
99	36.21	36.36	36.51	365	0	0.00	99.73
100	36.52	36.67	36.82	365	0	0.00	99.73
101	36.83	36.98	37.13	366	1	0.27	100.00
					Σ	100.00	

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

A partir de la tabla anterior y con el objeto de determinar la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los caudales se realizó una tabla ordenada de menor a mayor probabilidad de ocurrencia de caudales con la cual se construyó la curva de duración misma que permite la selección de un caudal de diseño adecuado. Tanto la tabla como la curva de duración se presentan a continuación.

**Tabla 15: Tabla ordenada de probabilidad de ocurrencia de caudales**

#	INTERVALOS DE CLASE			FRECUENCIA			
	LI	Q (m3/s)	LS	CONTEO	RELATIVA %	ACUMULADA	RELATIVA ACUMULADA %
101	36.83	36.98	37.13	1	0.27	1	0.27
100	36.52	36.67	36.82	0	0.00	1	0.27
99	36.21	36.36	36.51	0	0.00	1	0.27
98	35.90	36.05	36.20	0	0.00	1	0.27
97	35.59	35.74	35.89	0	0.00	1	0.27
96	35.28	35.43	35.58	0	0.00	1	0.27
95	34.96	35.11	35.26	0	0.00	1	0.27
94	34.65	34.80	34.95	0	0.00	1	0.27
93	34.34	34.49	34.64	0	0.00	1	0.27
92	34.03	34.18	34.33	0	0.00	1	0.27
91	33.72	33.87	34.02	0	0.00	1	0.27
90	33.41	33.56	33.71	0	0.00	1	0.27
89	33.10	33.25	33.40	0	0.00	1	0.27
88	32.79	32.94	33.09	0	0.00	1	0.27
87	32.48	32.63	32.78	0	0.00	1	0.27
86	32.17	32.32	32.47	1	0.27	2	0.55
85	31.86	32.01	32.16	0	0.00	2	0.55
84	31.55	31.70	31.85	0	0.00	2	0.55
83	31.24	31.39	31.54	2	0.55	4	1.09
82	30.93	31.08	31.23	1	0.27	5	1.37
81	30.62	30.77	30.92	1	0.27	6	1.64
80	30.31	30.46	30.61	2	0.55	8	2.19
79	30.00	30.15	30.30	2	0.55	10	2.73
78	29.69	29.84	29.99	1	0.27	11	3.01
77	29.38	29.53	29.68	1	0.27	12	3.28
76	29.07	29.22	29.37	0	0.00	12	3.28
75	28.76	28.91	29.06	6	1.64	18	4.92
74	28.45	28.60	28.75	3	0.82	21	5.74
73	28.14	28.29	28.44	2	0.55	23	6.28
72	27.83	27.98	28.13	1	0.27	24	6.56
71	27.52	27.67	27.82	1	0.27	25	6.83
70	27.21	27.36	27.51	2	0.55	27	7.38

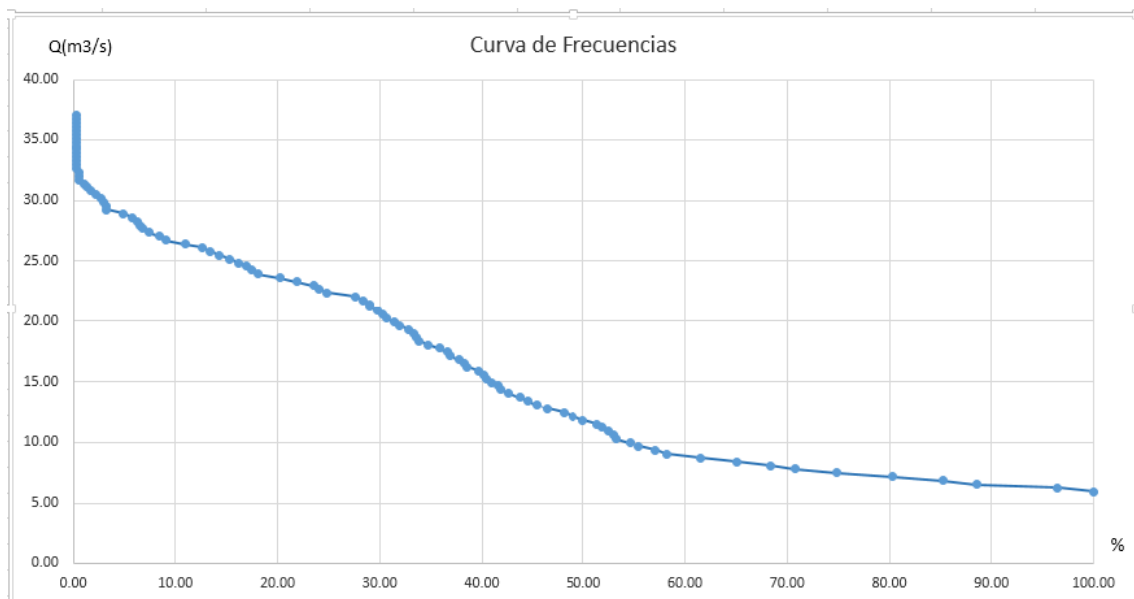
69	26.90	27.05	27.20	4	1.09	31	8.47
68	26.59	26.74	26.89	2	0.55	33	9.02
67	26.28	26.43	26.58	7	1.91	40	10.93
66	25.97	26.12	26.27	6	1.64	46	12.57
65	25.66	25.81	25.96	3	0.82	49	13.39
64	25.35	25.50	25.65	3	0.82	52	14.21
63	25.04	25.19	25.34	4	1.09	56	15.30
62	24.73	24.88	25.03	3	0.82	59	16.12
61	24.42	24.57	24.72	3	0.82	62	16.94
60	24.11	24.26	24.41	2	0.55	64	17.49
59	23.80	23.95	24.10	2	0.55	66	18.03
58	23.49	23.64	23.79	8	2.19	74	20.22
57	23.17	23.32	23.47	6	1.64	80	21.86
56	22.86	23.01	23.16	6	1.64	86	23.50
55	22.55	22.70	22.85	2	0.55	88	24.04
54	22.24	22.39	22.54	3	0.82	91	24.86
53	21.93	22.08	22.23	10	2.73	101	27.60
52	21.62	21.77	21.92	3	0.82	104	28.42
51	21.31	21.46	21.61	2	0.55	106	28.96
50	21.00	21.15	21.30	0	0.00	106	28.96
49	20.69	20.84	20.99	3	0.82	109	29.78
48	20.38	20.53	20.68	2	0.55	111	30.33
47	20.07	20.22	20.37	1	0.27	112	30.60
46	19.76	19.91	20.06	3	0.82	115	31.42
45	19.45	19.60	19.75	2	0.55	117	31.97
44	19.14	19.29	19.44	3	0.82	120	32.79
43	18.83	18.98	19.13	2	0.55	122	33.33
42	18.52	18.67	18.82	1	0.27	123	33.61
41	18.21	18.36	18.51	1	0.27	124	33.88
40	17.90	18.05	18.20	3	0.82	127	34.70
39	17.59	17.74	17.89	4	1.09	131	35.79
38	17.28	17.43	17.58	3	0.82	134	36.61
37	16.97	17.12	17.27	1	0.27	135	36.89
36	16.66	16.81	16.96	3	0.82	138	37.70
35	16.35	16.50	16.65	2	0.55	140	38.25
34	16.04	16.19	16.34	1	0.27	141	38.52
33	15.73	15.88	16.03	4	1.09	145	39.62
32	15.42	15.57	15.72	2	0.55	147	40.16
31	15.11	15.26	15.41	1	0.27	148	40.44
30	14.80	14.95	15.10	2	0.55	150	40.98
29	14.49	14.64	14.79	2	0.55	152	41.53
28	14.18	14.33	14.48	1	0.27	153	41.80
27	13.87	14.02	14.17	3	0.82	156	42.62
26	13.56	13.71	13.86	4	1.09	160	43.72
25	13.25	13.40	13.55	3	0.82	163	44.54
24	12.94	13.09	13.24	3	0.82	166	45.36
23	12.63	12.78	12.93	4	1.09	170	46.45
22	12.32	12.47	12.62	6	1.64	176	48.09
21	12.01	12.16	12.31	3	0.82	179	48.91
20	11.70	11.85	12.00	4	1.09	183	50.00

Q50

19	11.38	11.53	11.68	5	1.37	188	51.37
18	11.07	11.22	11.37	2	0.55	190	51.91
17	10.76	10.91	11.06	2	0.55	192	52.46
16	10.45	10.60	10.75	2	0.55	194	53.01
15	10.14	10.29	10.44	1	0.27	195	53.28
14	9.83	9.98	10.13	5	1.37	200	54.64
13	9.52	9.67	9.82	3	0.82	203	55.46
12	9.21	9.36	9.51	6	1.64	209	57.10
11	8.90	9.05	9.20	4	1.09	213	58.20
10	8.59	8.74	8.89	12	3.28	225	61.48
9	8.28	8.43	8.58	13	3.55	238	65.03
8	7.97	8.12	8.27	12	3.28	250	68.31
7	7.66	7.81	7.96	9	2.46	259	70.77
6	7.35	7.50	7.65	15	4.10	274	74.86
5	7.04	7.19	7.34	20	5.46	294	80.33
4	6.73	6.88	7.03	18	4.92	312	85.25
3	6.42	6.57	6.72	12	3.28	324	88.52
2	6.11	6.26	6.41	29	7.92	353	96.45
1	5.80	5.95	6.10	13	3.55	366	100.00
			Σ		366		

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Gráfico 6: Curva de Duración



Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

De esta curva de la cual se obtiene el caudal de diseño también se puede resaltar como valor notable el Q50 que se usa para evaluar la potencia adicional con almacenamiento. El Q50 tiene un valor de 11.85m<sup>3</sup>/s.

### 3.1.4.3 CAUDAL MÁXIMO (CRECIENTE)

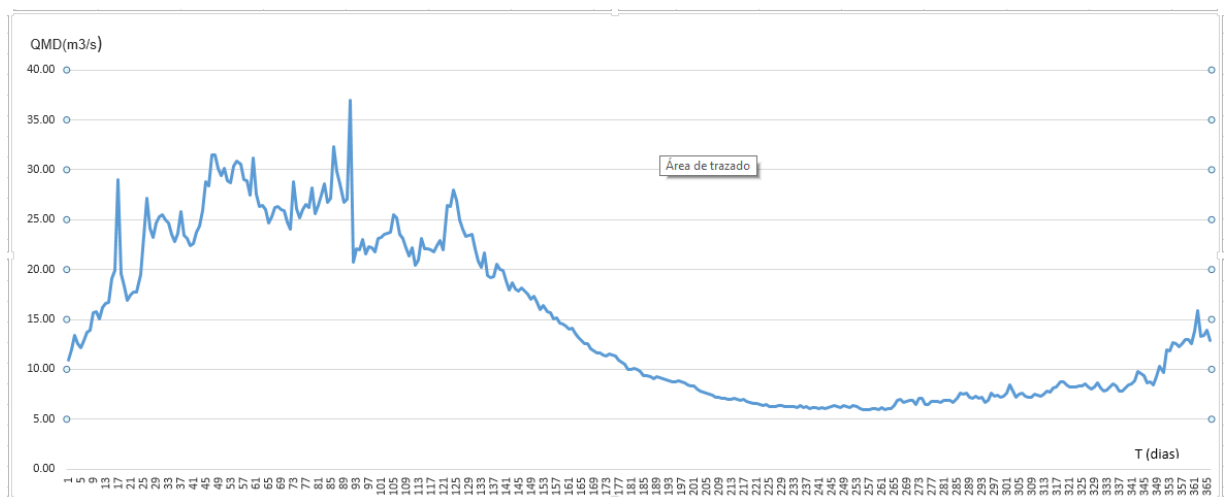
El caudal máximo o de creciente dependiendo de la cantidad de información disponible se puede determinar mediante diferentes métodos descritos a continuación:

- Método de cálculo Creciente.
- Fórmulas empíricas
- Directo a la base de observaciones el río.
- Métodos estadísticos.
- Hidrograma Unitario.

En el presente estudio se ha optado por calcular por dos métodos, el primero el Método Directo debido a la disponibilidad de 41 años de información a través de la Curva de Caudales o Hidrograma en donde el caudal máximo corresponde al valor pico de la gráfica, este valor de caudal máximo es de  $36.94 \text{ cm}^3/\text{s}$

A continuación se presenta el Hidrograma:

**Gráfico 7: Hidrograma**



**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

El segundo método utilizado para el cálculo consiste en utilizar fórmulas empíricas, la fórmula que se aplicó fue la del INERHI ( Instituto Nacional de Recursos Hídricos del Ecuador) se escogió esta fórmula debido a que su origen está basado en el estudio de 42 cuencas del ecuador, la expresión utilizada se muestra a continuación:

$$Q_c = \frac{25 * A * K}{(A + 57)^{0.5}} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Donde:

Qc = Caudal de crecida

A = Superficie de la cuenca en Km<sup>2</sup>

K = Coeficiente

El coeficiente K fue analizado por ingenieros del INERHI y es función del periodo de retorno en años y se muestra sus valores en la siguiente tabla.

**Tabla 16: Coeficiente K según INERHI**

COEFICIENTE K (INERHI)							
TR (Años)	1000	500	100	50	25	5	1
k	1	0,856	0,646	0,547	0,507	0,361	0,139

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

La OLADE presenta una tabla de periodos de retorno recomendados en función del tipo de central según su caída, dicha tabla se presenta a continuación.

**Tabla 17: Periodo de retorno según OLADE**

Tipo de PCH	MicroCHE	MiniCHE	PCH
Periodo de retorno(años)	20-25	50-100	100-150

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Al reemplazar todos los valores en la expresión del caudal máximo obtenemos lo siguiente:

$$Q_c = \frac{25 * 110.81 * 0.646}{(110.81 + 57)^{0.5}}$$

El resultado al operar da un caudal máximo de creciente igual a **140m<sup>3</sup>/s**.

Finalmente se ha comparado los dos datos de caudal de creciente obtenidos y se ha escogido el segundo valor por razones de seguridad y la posibilidad de que crecidas con mayor periodo de retorno al considerado puedan ocurrir.

#### **3.1.4.4 CAUDAL MEDIO**

El caudal medio es el caudal equivalente al promedio de los caudales medios durante un lapso de tiempo en el presente estudio con caudales medios diarios.

Al realizar el cálculo del promedio aritmético de los 366 datos se obtiene que el caudal medio es igual a **14.60m<sup>3</sup>/s**.

### 3.1.4.5 CAUDAL ECOLÓGICO

El caudal ecológico es el caudal necesario para preservar los valores ecológicos en el cauce del río. El CONELEC recomienda que el caudal ecológico sea definido como el 10% del caudal medio entonces:

$$Q_{ec} = 0.1Q_m$$

$$Q_{ec} = 0.1 * 14.6$$

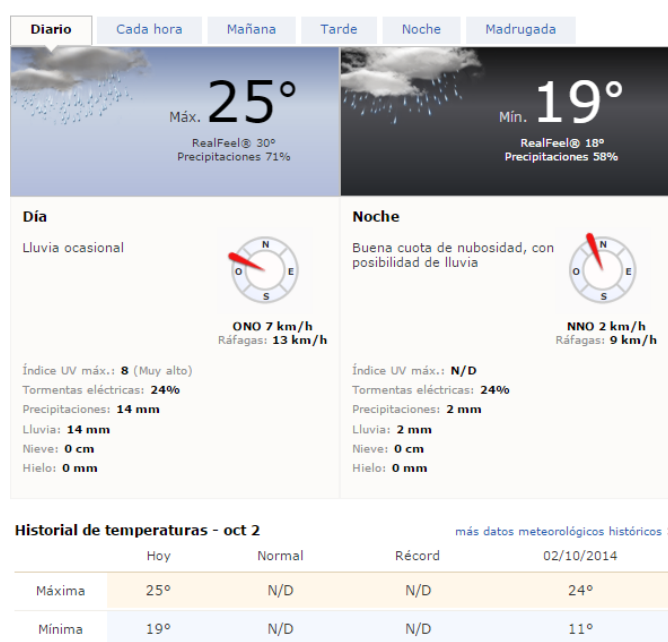
El valor obtenido finalmente como Q ecológico es de **1.5m<sup>3</sup>/s**.

### 3.1.5 METEOROLOGIA

La cuenca del Rio Zarapullo se extiende en una superficie de 110,81  $km^2$ . Se orienta la cuenta Sur-Norte y su divortium aquarum<sup>17</sup> tiene los siguientes límites: al Este el cerro Corazón (4788 msnm) y el nevado de los Ilinizas (5250 msnm); al Sur el cerro Era Urcu (4473 msnm) que forma parte de la Cordillera de Angamarca; al Oeste por la Cordillera de Chugchillàn (3663 m); hacia el norte la cuenca se junta con la del río Pilatón.

La parte superior de la cuenca posee bastante actividad agrícola, sus valles estrechos se encuentran cubiertos de abundante capa vegetal, con pendientes pronunciadas y lluvias de más de 2000 mm/año. Las condiciones climáticas que se hallan anualmente son:

Ilustración 33: Detalle meteorológico diario en la cuenca del rio zarapullo



Fuente : Accu Weather

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

<sup>17</sup> La línea divisoria de las aguas, divisoria de drenaje o simplemente divisoria es el límite entre dos cuencas hidrográficas contiguas.

EVAPORACION MEDIA 300mm/año

#### TEMPERATURA DEL AIRE

MAXIMA MEDIA ANUAL 26.5 °C

MEDIA ANUAL 19.0 °C

MÍNIMA MEDIA ANUAL 12.5 °C

#### HUMEDAD

MAXIMA MEDIA MENSUAL (TODO EL AÑO) 92%

MEDIA MENSUAL (TODO EL AÑO) 90%

MINIMA MEDIA MENSUAL (TODO EL AÑO) 88%

MÁXIMA DIARIA (MADRUGADA) 98%

MÍNIMA DIARIA (AL EMPEZAR LA TARDE) 82%

#### NUBOSIDAD (ANEXO 4)

EN MEDIA SIEMPRE NUBLADO ENTRE 5/8

Y 7/8. DURANTE LOS 5 PRIMEROS MESES

DEL AÑO EXISTE MAYOR NUBOSIDAD

#### LLUVIA

MEDIA DE LAS CUENCAS 2500 mm/año

La estación seca (menos lluviosa) va desde junio a septiembre.

La estación de lluvias va desde enero a mayo.

Las altas precipitaciones en la cuenca del Río Zarapullo y las condiciones del clima, nos indica que el sitio es apto para el buen funcionamiento del proyecto, a continuación en la ilustración N° 34 se indica las temperaturas registradas en el mes de Septiembre del 2015.

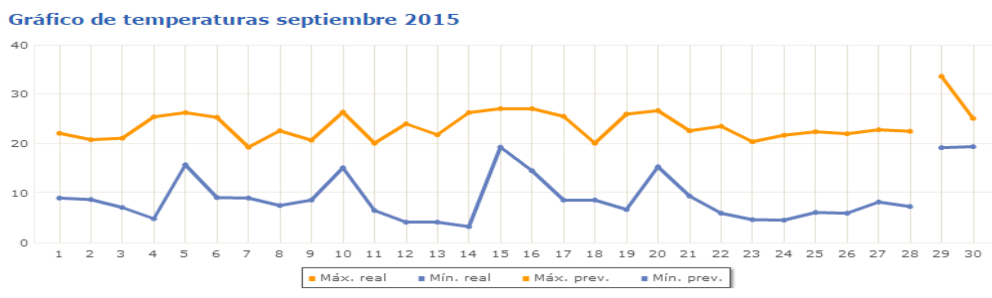
**Ilustración 34: Temperatura correspondiente al mes de septiembre 2015**

< agosto 2015		Vista:		septiembre 2015		octubre 2015 >	
domingo	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	
ago 30	31	sep 1	2	3	4	5	
Temp. real 27° Mín. 6° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 25° Mín. 17° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 22° Mín. 9° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 21° Mín. 9° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 21° Mín. 7° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 25° Mín. 5° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 26° Mín. 16° Media histórica N/D Mín. N/D	
6	7	8	9	10	11	12	
Temp. real 25° Mín. 9° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 19° Mín. 9° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 23° Mín. 8° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 21° Mín. 9° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 26° Mín. 15° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 20° Mín. 6° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 24° Mín. 4° Media histórica N/D Mín. N/D	
13	14	15	16	17	18	19	
Temp. real 22° Mín. 4° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 26° Mín. 3° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 27° Mín. 19° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 27° Mín. 14° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 26° Mín. 9° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 20° Mín. 9° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 26° Mín. 7° Media histórica N/D Mín. N/D	
20	21	22	23	24	25	26	
Temp. real 27° Mín. 15° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 23° Mín. 9° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 24° Mín. 5° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 20° Mín. 5° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 22° Mín. 4° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 22° Mín. 6° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 22° Mín. 6° Media histórica N/D Mín. N/D	
27	Ayer 28	Esta noche 29	30	oct 1	2	3	
Temp. real 23° Mín. 8° Media histórica N/D Mín. N/D	Temp. real 22° Mín. 7° Media histórica N/D Mín. N/D	Algo de lluvia Mín. 19° Media histórica N/D Mín. N/D	Algunas tormentas severas Mín. 19° Media histórica N/D Mín. N/D	Lluvia Mín. 19° Media histórica N/D Mín. N/D	Lluvia ocasional Mín. 19° Media histórica N/D Mín. N/D	Lluvia Mín. 19° Media histórica N/D Mín. N/D	

Fuente :accu weather

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

**Gráfico 8: Temperatura correspondiente mes de septiembre 2015**



Fuente :Accu weather

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

## **3.2 DISEÑOS DE PREFACTIBILIDAD**

### **3.2.1 CRITERIOS DE IMPLANTACIÓN**

#### **3.2.1.1 CAPTACIÓN**

La implantación de la captación es una constante en todas las alternativas, se escogió este lugar para la ubicación de las obras de captación ya que dispone de un terreno plano y con suficiente espacio para el desripador, además se escogió el sitio estratégicamente para evitar en lo posible la entrada de sedimentos por esta razón se ubica la toma en una zona de transición, entre la parte cóncava y convexa del río en ese sitio, además su ubicación obedece al objetivo de lograr la cota más alta para de esta manera conseguir la máxima caída, y en consecuencia generar la mayor potencia, el sitio descrito se muestra a continuación.

#### **3.2.1.2 CONDUCCIÓN**

En lo que respecta a la conducción se maneja varias alternativas que se las mencionará posteriormente, el criterio que se maneja en el trazado está basado en la longitud de la conducción, y en la posibilidad de la construcción de un túnel debido a la topografía.

#### **3.2.1.3 TANQUE DE CARGA**

La implantación de esta obra en la cual se inició el aprovechamiento del agua para la producción de energía, posee varias alternativas que se mencionará posteriormente, al ubicarla se busca conseguir un lugar para obtener la mayor caída, y que dicho lugar tenga espacios disponibles del tanque de carga.

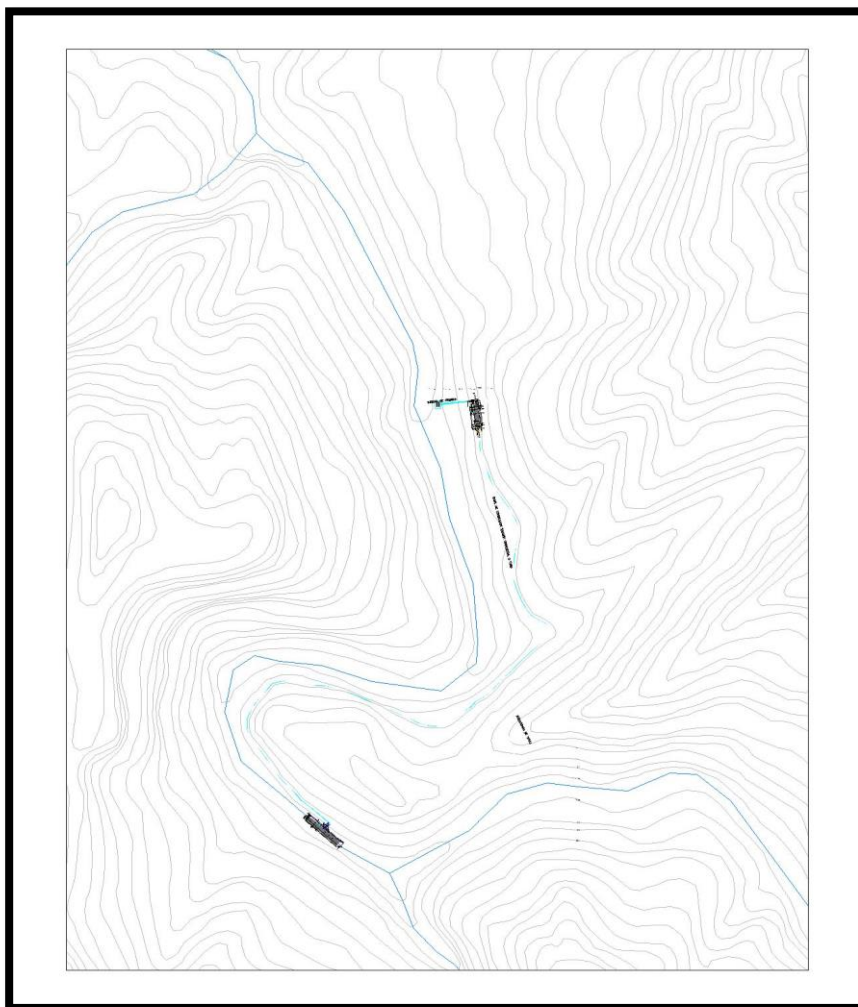
#### **3.2.1.4 CASA DE MÁQUINAS**

La implantación de esta obra tiene varias alternativas que posteriormente se mencionaran, se buscó un lugar de cota baja para obtener la mayor caída; además de esta se buscó una zona de terreno estable, con disponibilidad de espacio, y que este fuera del alcance de crecidas.

## 3.2.2 ALTERNATIVAS DE IMPLANTACIÓN

### 3.2.2.1 ALTERNATIVA1

Ilustración 35: Alternativa 1

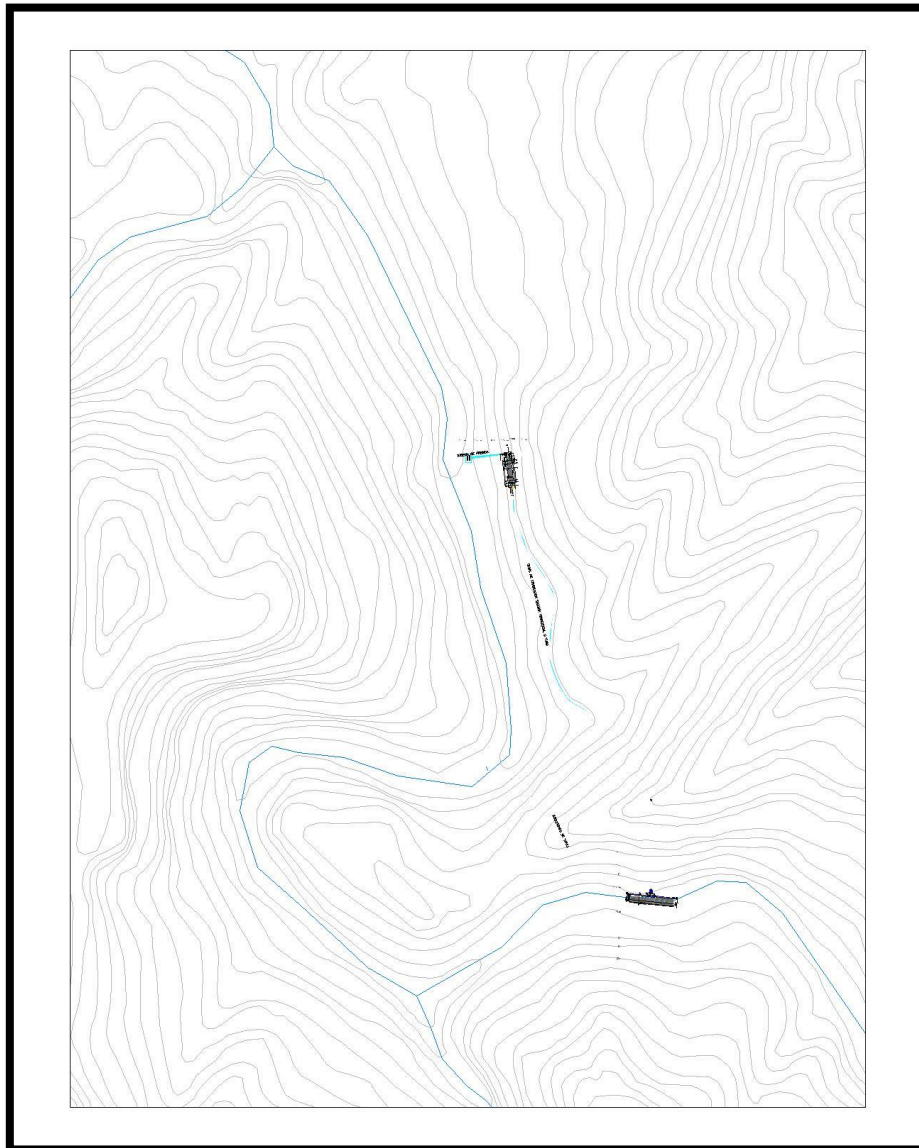


**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

La Alternativa número uno consiste en implantar la captación en la cota 1140 msnm en el lugar mostrando en el esquema de arriba; la conducción sigue la topografía del terreno, rodeando una montaña que se presenta como obstáculo, y tiene una longitud de 2160 msnm hasta el punto de aprovechamiento del agua (tanque de carga) que tiene una cota 1135 msnm finalmente la casa de máquina está ubicada a una cota de 1070msnm con lo que se obtiene una caída de 65 m.

### 3.2.2.2 ALTERNATIVA2

Ilustración 36: Alternativa 2



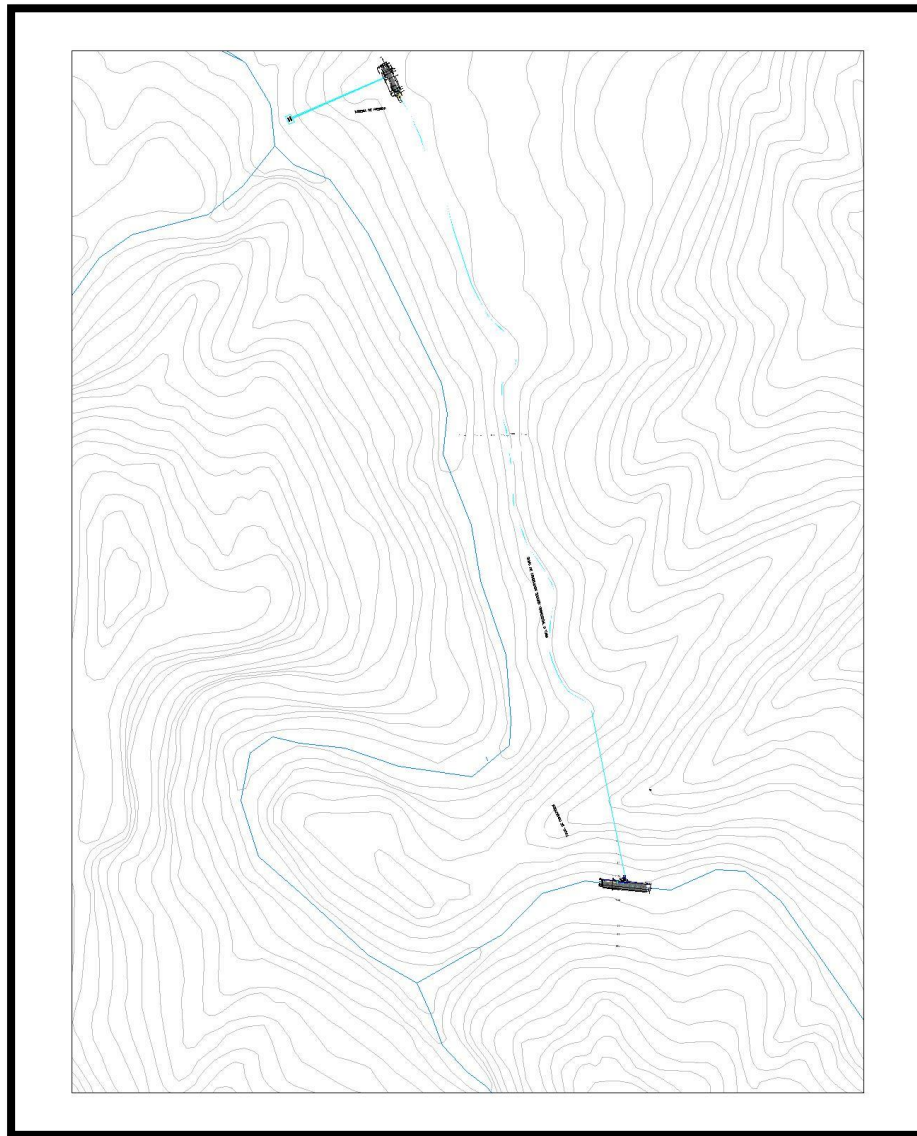
**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

La Alternativa número dos al igual que la número uno tiene la captación implanta en el mismo lugar en la cota 1140msnm; la conducción en su tramo inicial atraviesa la montaña por medio de un túnel de longitud de 306 m logrando de esta manera una reducción en la longitud de la misma.

La longitud total alcanza un valor de 880m hasta el punto de aprovechamiento del agua (Tanque de carga), la pendiente longitudinal es la misma 2/1000; la cota en el tanque de carga es 1138 msnm; finalmente la casa de máquina está a una cota de 1070 msnm con lo que se obtiene una caída de 68m.

### 3.2.2.3 ALTERNATIVA 3

Ilustración 37: Alternativa 3



Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

La alternativa número tres al igual que las predecesoras tiene implantado la captación en el lugar indicado a una cota de 1140 msnm; la condición en su tramo inicial atraviesa una montaña por medio de un túnel de longitud igual a 306 m, la longitud total hasta el punto de aprovechamiento del agua es 1526 m, la pendiente longitudinal se mantiene constante igual a 2/1000; la ubicación del tanque de carga se desplaza aguas abajo como se muestra en la figura ya que en ese lugar existe mayor disponibilidad de espacio para la implantación del desarenador, la cota del tanque es 1135 msnm; finalmente la casa de máquinas también se desplaza aguas abajo y está ubicada en una cota igual a 1050 msnm el lugar de implantación de la casa de máquinas también ofrece mayor espacio, en consecuencia de esto se obtiene una caída de 85m.

#### **3.2.2.4 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS**

Posteriormente a la presentación de las tres alternativas, se decide optar por la alternativa 3, para tomar esta decisión se evaluó los criterios ya mencionados anteriormente, la alternativa ganadora a diferencia de las otras dos, tiene una mayor caída (85m) por lo que se puede obtener mayor energía, además los sitios de implantación tanto de captación, tanque de carga y casa de máquinas presentan condiciones favorables tanto en espacios como en seguridad para las obras a implantar.

## 3.2.3 DIMENSIONAMIENTO OBRAS DE FLUJO LIBRE

### 3.2.3.1 CAPTACIÓN

La toma de la central hidroeléctrica “Atenas” tiene por objeto captar un caudal de diseño  $Q=7.5m^3/s$ , se trata de una toma convencional compuesta por Azud, rejilla, desripador, transición, compuerta de purga y compuerta de limpieza, el diseño hidráulico de las obras cumple con los objetivos de captar el recurso y permitir el paso de la creciente sin que las obras sufran daños.

A continuación se presenta le proceso detallado de dimensionamiento.

#### 3.2.3.1.1 AZUD

El azud a implementarse como parte de las obras de captación en el Río Zarpullo es una estructura que se compone de una cresta de Cimacio o tipo Ogge con delantal y un zampeado que constituye un dissipador sumergido tipo Esquí los cuales han sido diseñados considerando las recomendaciones de diseño presentes en el texto “Small Dams” (United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1987).

El azud ha sido ubicado en el sitio seleccionado y diseñado para que sobre el transiten los caudales que recorren el Río Zarpullo, en su cresta se ubica el canal colector de la captación. Al funcionar el azud en combinación con el vertedero frontal ubicado en el muro de ala izquierdo, el caudal de diseño total de ambas estructuras corresponde al caudal máximo determinado para un periodo de retorno de 100 años, es decir,  $360 \frac{m^3}{s}$ , sin embargo considerando únicamente al azud, el caudal de diseño de este es de  $8 \frac{m^3}{s}$ , parámetros obtenidos de la recopilación de datos del anuario hidrológico (1964-2010).

La carga de agua sobre la cresta para el caudal de diseño es 0.57 metros y para el caudal máximo en 100 años es de 7.20 metros.

Las ecuaciones empleadas para el dimensionamiento del azud son las que se muestran a continuación en el Cuadro No. 1.2.

**Tabla 18: Ecuaciones Azud**

<b>Ecuación</b>	<b>Descripción</b>
$q = C * h_o^{\frac{3}{2}}$	Caudal Unitario Sobre la Cresta
$v_a = \frac{q}{P + h_o}$	Velocidad del Flujo Aguas Arriba
$h_o = \frac{q^2}{2 * g * (P + h_o)^2}$	Carga Aguas Arriba
$\frac{y}{h_o} = -k * \left(\frac{x}{h_o}\right)^n$	Ecuación del Perfil del Azud
$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$	Calado Crítico
$Q = \frac{A^{\frac{5}{3}} * j^{\frac{1}{2}}}{n * p^{\frac{2}{3}}}$	Ecuación General del Flujo Uniforme
$v_t = \sqrt{2 * g * h_{vt}}$	Velocidad del Flujo
$d_t = \frac{q}{v_t}$	Profundidad del Flujo
$F_t = \frac{v_t}{\sqrt{g * d_t}}$	Número de Froude

**Fuente:** (United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1987)

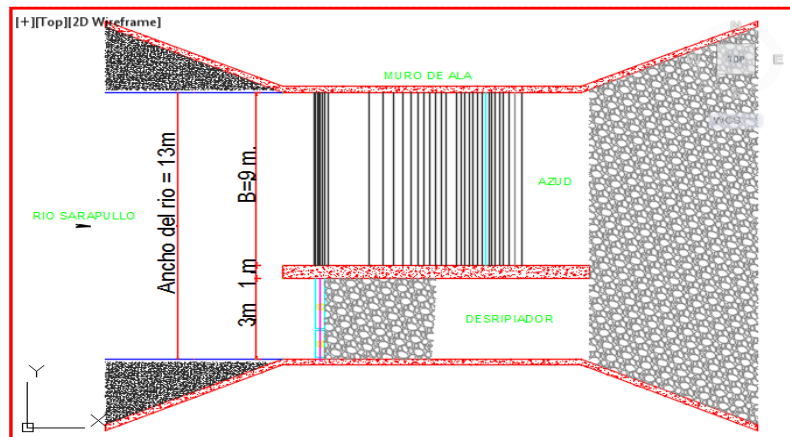
**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

El cálculo detallado de este elemento se encuentra en el Anexo No. 1.1: Memoria de Cálculo Azud.

### 3.2.3.1.1.1 DESARROLLO

De acuerdo a las características del Río Zarapullo, se consideró la siguiente implantación para el diseño del Azud.

**Gráfico 9: Planta del Azud**

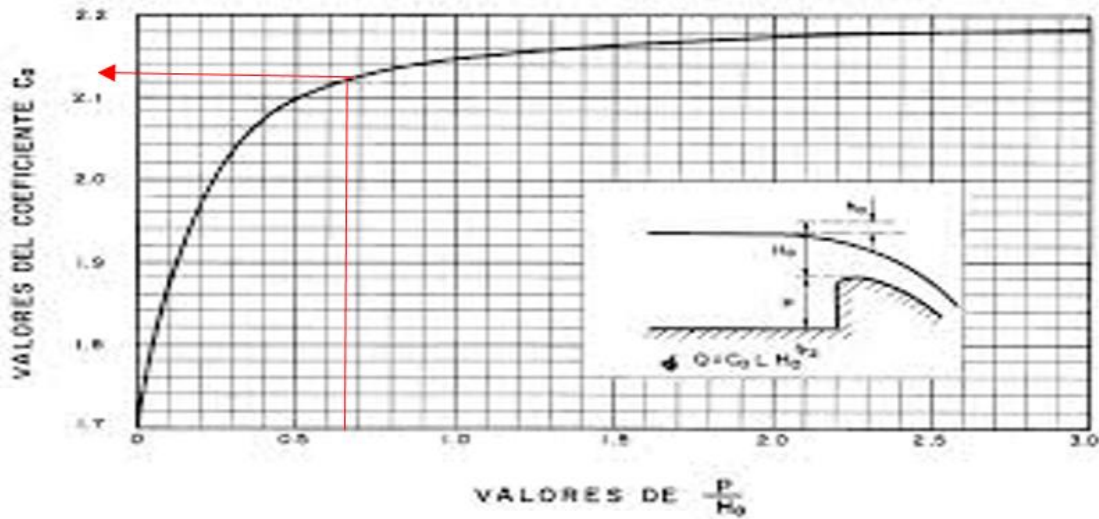


**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

#### **DATOS INICIALES:**

- Q crecida = 140 m<sup>3</sup>/s
- Q diseño = 7.5 m<sup>3</sup>/s
- Ancho del Río = 13m
- Ancho de solera B = 9m
- P = 2.5m ( Paramento Vertical)

**Gráfico 10: Coeficientes de Descarga para las Crestas de Cimacio en Pared Vertical**



**Fuente:** (United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1987)

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Tenemos:

$$Q = C_o * L * H_o^{\frac{3}{2}} \Rightarrow \text{asumimos } C_o = 2.05$$

$$140 = 2.05 * 9 * H_o^{\frac{3}{2}} \Rightarrow H_o = 3.861\text{m}$$

### 1º VERIFICACIÓN

$$\frac{P}{H_o} = \frac{2.50}{3.861} = 0.648 \quad \frac{\text{TABLA}}{\text{USBR}} \rightarrow C_o \text{ calculado} \neq C_o \text{ asumido} \rightarrow 2.13 \neq 2.05$$

$$\Rightarrow \text{asumimos } C_o = 2.13$$

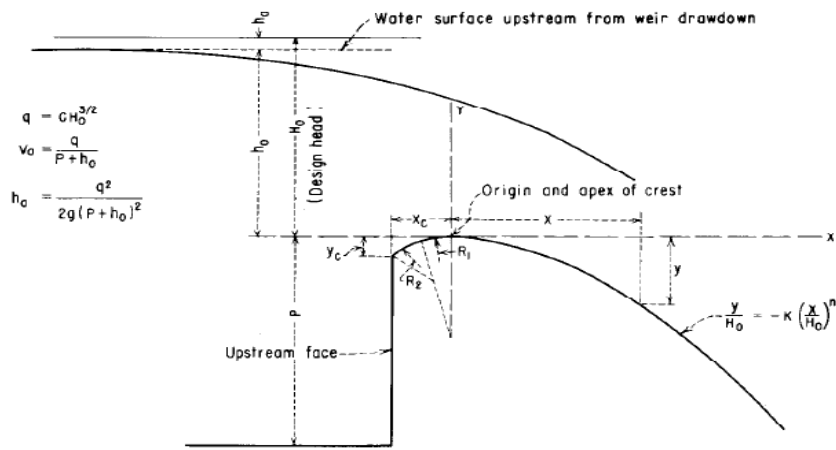
$$140 = 2.13 * 9 * H_o^{\frac{3}{2}} \Rightarrow H_o = 3.76\text{m}$$

**2º VERIFICACIÓN**

$$\frac{P}{H_0} = \frac{2.50}{3.76} = 0.665 \quad \frac{\text{TABLA}}{\text{USBR}} \rightarrow C_o \text{ calculado} = C_o \text{ asumido} \rightarrow 2.13 = 2.13 \quad \checkmark \checkmark \text{ok}$$

**3.2.3.1.1.1 PERFIL DE CREAGER**

**Ilustración 38: Parámetros perfil de Creager**



**(A) ELEMENTS OF NAPPE-SHAPED CREST PROFILES**

**Fuente:** (United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1987)

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

**DATOS:**

$$C_o=2.13$$

$$H_o=3.76m$$

$$Q=140 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$.r_1 = 0.5 * h_o = 0.5 * 3.76 = 1.88m$$

$$.r_2 = 0.2 * h_o = 0.2 * 3.76 = 0.75m$$

$$.a = 0.175 * h_o = 0.175 * 3.76 = 0.65m$$

$$.b = 0.282 * h_o = 0.282 * 3.76 = 1.06m$$

El perfil de Creager será constituido por la siguiente función:

$$x^{1.85} = 2 * H_o^{0.85} * y$$

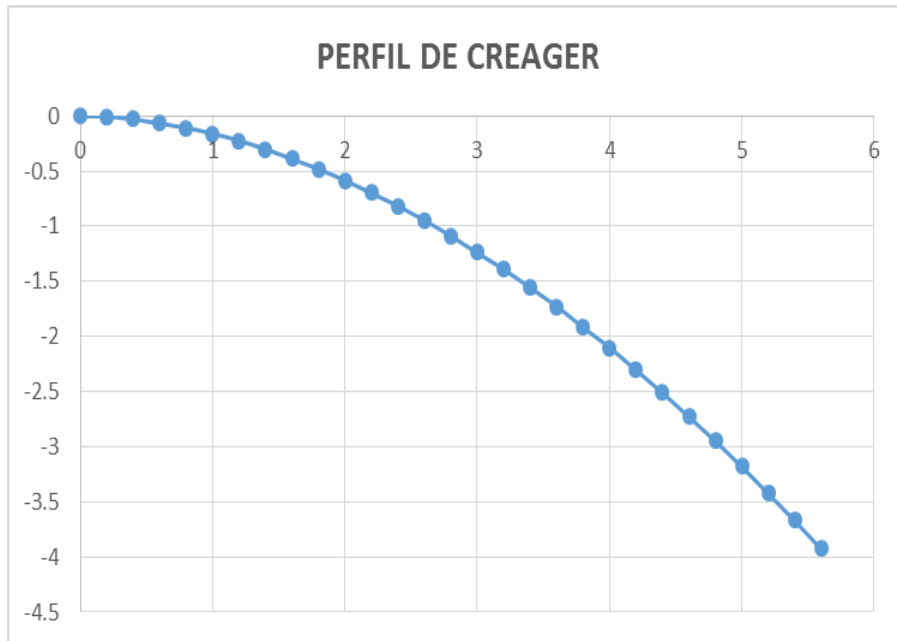
$$\text{Donde: } y = \frac{x^{1.85}}{2 * H_o^{0.85}} = 0.162 * x^{1.85}$$

**Tabla 19: Perfil de Creager**

<b>X</b>	<b>Y</b>
0	0
0.2	-0.00824936
0.4	-0.02973898
0.6	-0.06296436
0.8	-0.10720906
1	-0.162
1.2	-0.22698665
1.4	-0.30189219
1.6	-0.38648886
1.8	-0.48058382
2	-0.5840103
2.2	-0.69662166
2.4	-0.8182873
2.6	-0.94888965
2.8	-1.08832191
3	-1.23648638
3.2	-1.39329306
3.4	-1.55865864
3.6	-1.73250558
3.8	-1.91476142
4	-2.10535821
4.2	-2.30423199
4.4	-2.51132237
4.6	-2.72657221
4.8	-2.94992724
5	-3.18133587
5.2	-3.42074893
5.4	-3.66811945
5.6	-3.9234025

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

**Gráfico 11: Perfil de Creager**



**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Para un Caudal cualquiera  $Q=C*L*H^{(3/2)}$

$$1) H = h_r + \frac{V_a^2}{2g} \quad 2) V_a = \frac{Q}{A_a} = \frac{Q}{B_a * t} \quad 3) h_r = t - p$$

3) y 2) en 1)

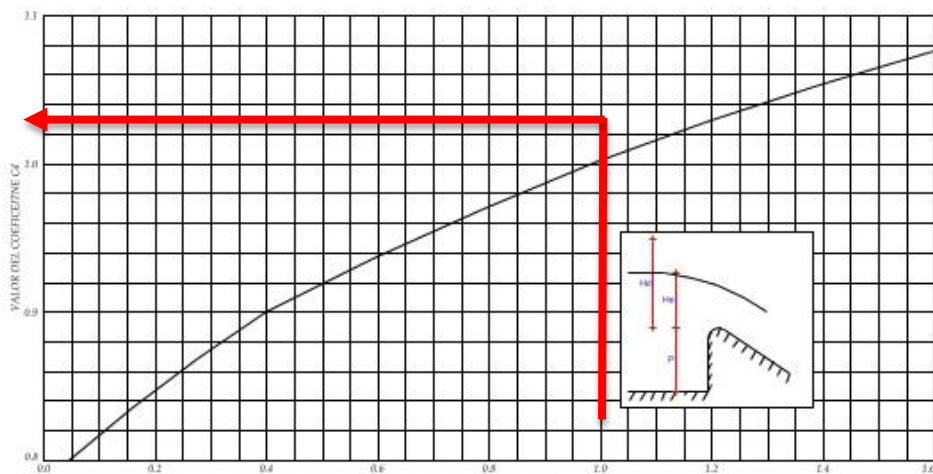
$$H = t - p + \frac{Q^2}{(B_a * t)^2 * 2g} = t - 2.5 + \frac{Q^2}{1589.22 * t^2}$$

**Tabla 20: Calculo de pérdidas para un caudal cualquiera**

H(m)	H/Ho	C/Co	C	Q=CLH <sup>3/2</sup>	$H = t - 2.5 + \frac{Q^2}{1589.22 * t^2}$	hr=t-2.5	$Va = \frac{Q}{Ba * t}$	$\frac{Va^2}{2g}$
3.5	0.930851064	0.98	2.0874	123.012786	5.61	3.11	2.772826302	0.39187389
3.75	0.997340426	0.99	2.1087	137.81745	5.89	3.39	2.64101113	0.35550152
3.76	1	1	2.13	139.766754	5.9	3.40	2.63653484	0.35429745
4	1.063829787	1.005	2140.65	154126.8	6.17	3.67	2.521159733	0.32396771
4.25	1.130319149	1.008	2147.04	169303.54	6.45	3.95	2.41171404	0.2964508
4.5	1.196808511	1.021	2174.73	186838.609	6.72	4.22	2.314814815	0.27310742
4.75	1.263297872	1.028	2189.64	204011.966	6.99	4.49	2.225401367	0.25241648
5	1.329787234	1.04	2.2152	222.9002	7	4.7	2.160493827	0.23790691

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

**Gráfico 12: Relación de carga sobre la cresta a la carga del proyecto=H<sub>o</sub>/H<sub>o</sub>**



**Fuente:** (United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1987)

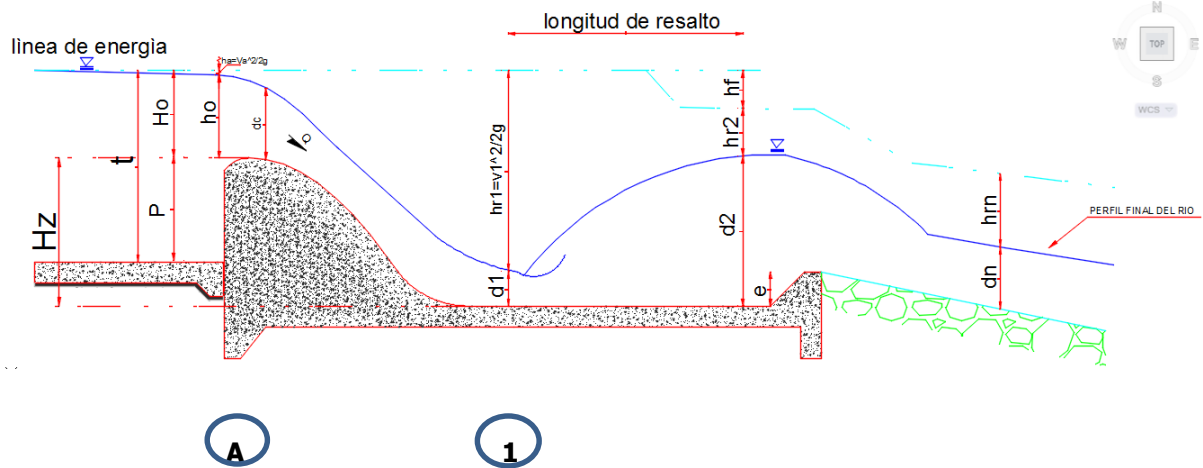
**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

### 3.2.3.1.1.1.2 DIMENSIONAMIENTO DEL COLCHON AMORTIGUADOR (ZAMPEADO)

#### DATOS:

- $P=2.5\text{m}$
- $H_o=3.76\text{m}$
- $h_r=3.40\text{m}$
- $\frac{va^2}{2g} = 0.354$
- $t=5.9\text{m}$
- $h_{nr}=2.5$

Gráfico 13: Parámetros de Diseño Del Colchón Amortiguador Zampeado



Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

**Donde:**

- $d_c$ = tirante crítico que define el estado de flujo crítico o supercrítico
- $d_1$ =tirante contraído
- $d_2$ =tirante conjugado
- $d_n$ =tirante normal del río para descargar Q.

**CASOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA**

- a)  $d_2=d_n$ ; El resalto se forma enseguida de  $d_1$ .
- b)  $d_2>d_n$ ; El resalto es realizado aguas abajo en el río, curva de remanso inversa.
- c)  $d_2<d_n$ ; El resalto es sumergido (calado del río al tope del AZUD)

### 3.2.3.1.1.1.3 DETERMINACION DE LOS TIRANTES CONJUGADOS (BERNOULLI – TANTEO)

#### a) TIRANTE CONTRAIDO

Cálculo del resalto para  $H_z=P$ ;  $h_f A-1 = 0.05 V_1^2/2g$ ;  $h_1=??$

BERNOULLIE A-1; LINEA BASE AL PIE DEL AZUD

$$H_z + H_o = d_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$1) \frac{V_a^2}{2g} + t = \frac{V_1^2}{2g} + h_1 + 0.05 \frac{V_1^2}{2g}$$

$$2) V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{d_1 * B}; \quad t = H_o + P$$

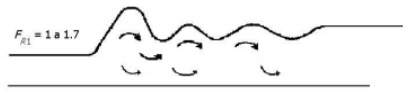

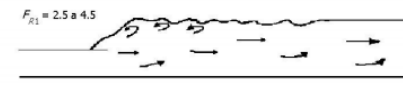
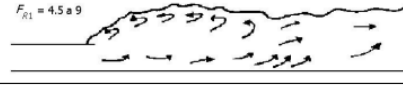
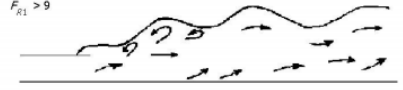
$$2) \text{ EN 1) } H_o + P = 1.05 * \left( \frac{Q^2}{d_1^2 * B^2 * 2g} \right) + d_1$$

$$3.76 + 2.5 = 1.05 * \left( \frac{140^2}{d_1^2 * 9^2 * 19.62} \right) + d_1 \quad ; \quad \mathbf{d_1 = 1.79m}$$

$$\text{en 2) } V_1 = \frac{140}{1.79 * 9} = 8.69 \text{ m/s}$$

$$FR = \frac{V}{\sqrt{g * h_1}} = \frac{8.69}{\sqrt{9.81 * 1.79}} = 2.074 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \approx \quad \mathbf{RESALTO DEBIL}$$

**Tabla 21: Clasificación de los Resaltos Hidráulicos Modificado en Marbello 1997**

$F_{R1}$	Tipo	Características del resalto	Esquema
$F_{R1} = 1$		Flujo crítico, por lo que no se forma ningún resalto.	
$1 < F_{R1} < 1.7$	Ondular	La superficie de agua presenta la tendencia a la formación de ondulaciones. La disipación de energía es baja, menor del 5%.	
$1.7 < F_{R1} < 2.5$	Débil	El ondulamiento de la superficie en el tramo de mezcla es mayor y aguas abajo las perturbaciones superficiales son menores. Se generan muchos rodillos de agua en la superficie del resalto, seguidos de una superficie suave y estable. La energía disipada está entre el 5%-15%.	
$2.5 < F_{R1} < 4.5$	Oscilante	Presenta un chorro intermitente sin ninguna periodicidad, que parte desde el fondo y se manifiesta hasta la superficie, y retrocede nuevamente. Cada oscilación produce una gran onda que puede viajar largas distancias. La disipación de energía es del 15%-45%.	
$4.5 < F_{R1} < 9.0$	Permanente o Estable	Se trata de un resalto plenamente formado, con mayor estabilidad y el rendimiento es mejor, pudiendo variar la energía disipada entre 45 % a 70 %.	
$F_{R1} > 9.0$	Fuerte	Resalto con gran disipación de energía (hasta 80 %), gran ondulación de la superficie con tendencia de traslado de la zona de régimen supercrítico hacia aguas abajo. Caracterizado por altas velocidades y turbulencia, con generación de ondas y formación de una superficie tosca aguas abajo.	

Fuente [http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/11\\_resalto.pdf](http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/11_resalto.pdf)

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

**b) TIRANTE CONJUGADO  $d_2=?$**

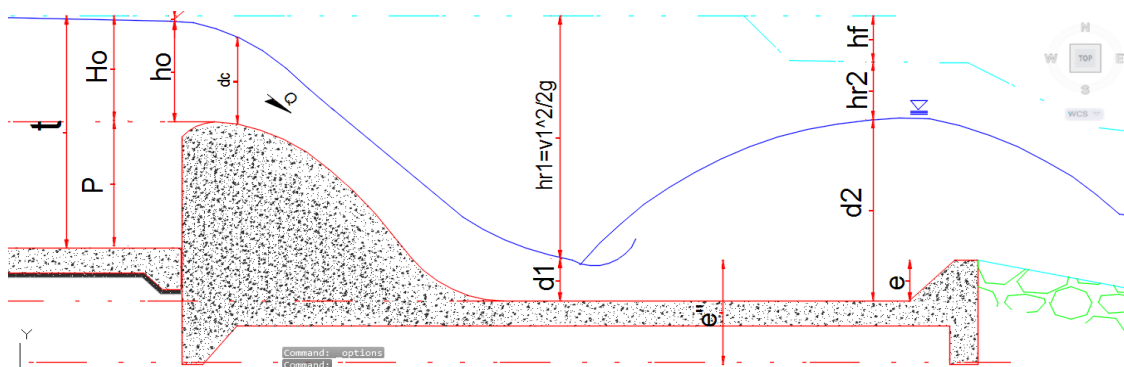
$$d_2 = \frac{d_1}{2} (\sqrt{1 + 8 * FR^2} - 1) = \frac{1.791}{2} (\sqrt{1 + 8 * 2.074^2} - 1) = 4.43m$$

$\therefore h_2 > h_{nr} ; 4.43 > 2.5$  caso b de resalto hidralico

**Observación:**

Caso común el resalto hidráulico no se forma, el resalto se corre aguas abajo hasta un sitio x que forma otro resalto hidráulico en el cual  $h_{2x}=h_{nrx}$ , se requeriría proteger el lecho del río hasta el sitio del nuevo resalto x, esta es una solución que repercute en los costos del proyecto, la solución práctica es profundizar “e” del zampeado al pie del azud, formando un estanque disipador de energía que cumpla  $h_2=h_{nr} +e$ .

**Gráfico 14: Parámetros de diseño de la profundidad (e) del colchón amortiguador**



**Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines**

1ER TANTEO; se profundiza  $e1 = h2 - hnr = 4.43 - 2.5 = 1.93m$

$$\therefore H_z = 2.5 + 1.93 = 4.43m$$

BERNOULLIE A-1

$$H_z + H_o = 1.05 \frac{V_1^2}{2g} + d_1$$

$$4.43 + 3.76 = 1.05 \frac{140^2}{9^2 * d_1^2 * 2 * 9.81} + d_1 \quad \therefore \quad d_1 = 1.379m$$

$$V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{d_1 * B} = \frac{140}{1.379 * 9} = 11.28 \text{ m/s}$$

$$.FR = \frac{V1}{\sqrt{g * d1}} = \frac{11.28}{\sqrt{9.81 * 1.379}} = 3.067m$$

$$.d2 = \frac{d1}{2} (\sqrt{1 + 8 * FR^2} - 1) = \frac{1.379}{2} (\sqrt{1 + 8 * 3.067^2} - 1) = 5.331m$$

$$\therefore d2 > hnr + e1; \quad 5.331 > 2.5 + 1.93 = 4.43m \quad \text{caso b}$$

**2do TANTEO; se profundiza e2 = d2 - hnr = 5.331 - 4.43 = 0.901m**

$$\therefore Hz = 2.5 + 1.93 + 0.901 = 5.331m$$

#### **BERNOULLIE A-1**

$$Hz + Ho = 1.05 \frac{V1^2}{2g} + d1$$

$$5.331 + 3.76 = 1.05 \frac{140^2}{9^2 * d1^2 * 2 * 9.81} + d1 \quad \therefore \quad d1 = 1.288m$$

$$. V1 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{d1 * B} = \frac{140}{1.288 * 9} = 12.077 \text{ m/s}$$

$$.FR = \frac{V1}{\sqrt{g * d1}} = \frac{12.077}{\sqrt{9.81 * 1.288}} = 3.39m$$

$$.d2 = \frac{d1}{2} (\sqrt{1 + 8 * FR^2} - 1) = \frac{1.288}{2} (\sqrt{1 + 8 * 3.39^2} - 1) = 5.56m$$

$$\therefore d2 > hnr + e1 + e2; \quad 5.56 > 2.5 + 1.93 + 0.901 = 5.331\text{m} \quad \text{caso b}$$

**3er TANTEO; se profundiza e3 = 5.56 – 5.331 = 0.229m**

$$\therefore Hz = 2.5 + 1.93 + 0.901 + 0.229 = 5.56\text{m}$$

### **BERNOULLIE A-1**

$$Hz + Ho = 1.05 \frac{V1^2}{2g} + d1$$

$$5.56 + 3.76 = 1.05 \frac{140^2}{9^2 * d1^2 * 2 * 9.81} + d1 \quad \therefore \quad \mathbf{d1 = 1.268m}$$

$$. V1 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{d1 * B} = \frac{140}{1.268 * 9} = 12.26 \text{ m/s}$$

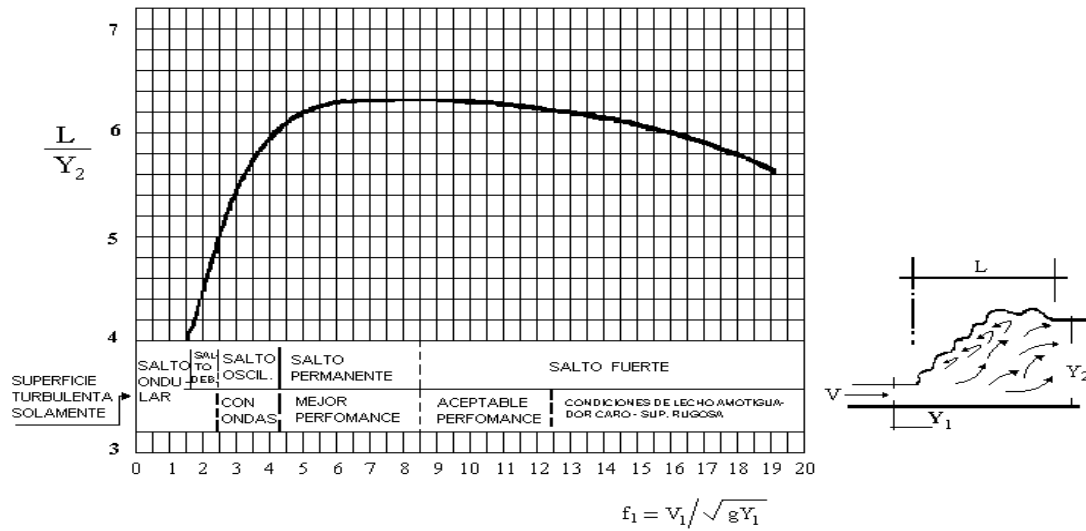
$$. FR = \frac{V1}{\sqrt{g * d1}} = \frac{12.26}{\sqrt{9.81 * 1.268}} = 3.47\text{m}$$

$$. d2 = \frac{d1}{2} (\sqrt{1 + 8 * FR^2} - 1) = \frac{1.268}{2} (\sqrt{1 + 8 * 3.47^2} - 1) = \mathbf{5.63m}$$

$$\therefore \mathbf{d2 = hnr + e1 + e2 + e3; \quad 5.63 \cong 2.5 + 1.93 + 0.901 + 0.229 = 5.57\text{m} \quad \checkmark\checkmark\text{ok}}$$

$$. Rz = 0.25 * Hz = 0.25 * 5.56 = \mathbf{1.39 \cong 1.40}$$

**Gráfico 15: Longitud del Resalto Hidráulico en Función del tirante conjugado**



**Fuente:** (United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1987)

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

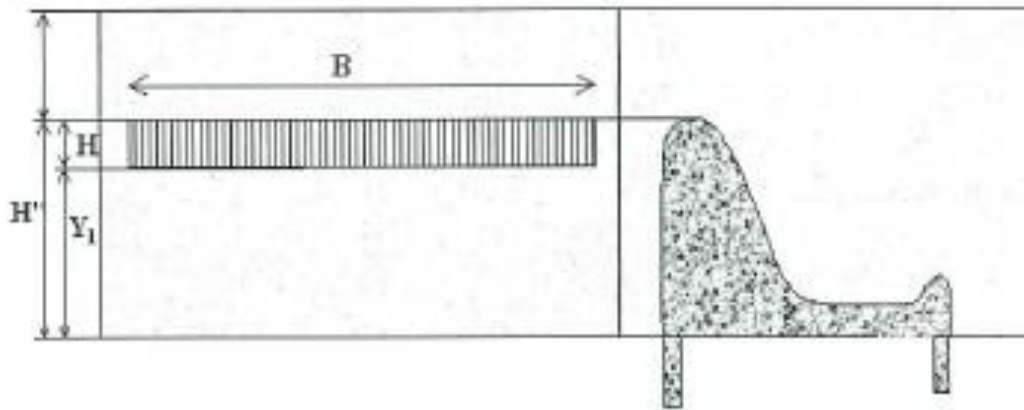
*tabla USBR Long. Resalto* ;  $\frac{L}{d_2} = 5.5$  ;  $L = 5.5 * 5.63 = 30.96m$

**SEGÚN BAKCHMETEV-MAZTKE (1936)**

$$L = 5 * (d_2 - d_1) = 5 * (5.63 - 1.26) = 21.80m$$

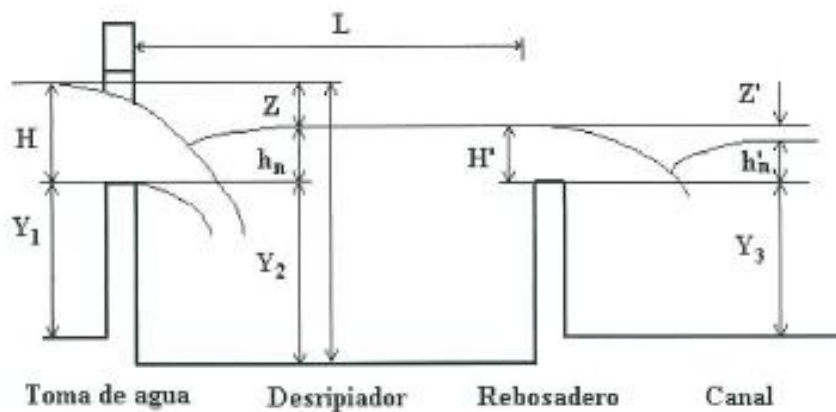
### 3.2.3.1.2 REJILLA

Ilustración 39: Corte Toma Convencional



Fuente: Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz Flórez, 2011)

Ilustración 40: Toma de agua, Desripiador y Rebosadero de una Bocatoma Lateral.



Fuente: Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz Flórez, 2011)

Los datos utilizados para el dimensionamiento de la rejilla son los siguientes:

$$Qd = 7.5 \frac{m^3}{s}$$

$$Qm = 14.6 \frac{m^3}{s}$$

$$Srio = 0.05$$

$$Hazud = Hcrecida = H'' = 2.5m$$

$$\text{Altura M\u00ednima del Umbral (Y1)} = (0.6 - 0.8)m$$

$$\text{Altura del Umbral (Y1)} = 1m$$

A continuaci\u00f3n se presenta el proceso para el dimensionamiento de la rejilla.

$$\text{Altura del Agua (H)} = 2.5 - 1 = 1.5 \text{ m}$$

$$\text{Altura de la Rejilla (Hr)} = 1.5m$$

$$\text{Desnivel entre Superficies (Z)} = 0.1m$$

$$\text{Altura del Desripiador (Y2)} = 1.3m$$

$$\text{Ancho Barrotes } (a') = 0.15\text{m}$$

$$\text{Separación entre Barrotes } (b') = 0.1\text{m}$$

$$\text{Velocidad de entrada en los barrotes } (V_e) = 0.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Elevación Agua bajo el vertedero } (h_n) = H - Z = 1.5 - 0.1 = 1.4 \text{ m}$$

$$\text{Altura de Agua en el desripiador } (h_2) = Y_2 + h_n = 1.3 + 1.4 = 2.7 \text{ m}$$

#### **Cálculo del Coeficiente de Corrección por Sumersión (Bazin)**

$$s = 1.05 \left( 1 + 0.2 \cdot \frac{h_n}{Y_2} \right) \cdot \left( \frac{Z}{H} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$s = 1.05 \left( 1 + 0.2 \cdot \frac{1.4}{1.3} \right) \cdot \left( \frac{0.1}{1.5} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$s = 0.52$$

#### **Cálculo del coeficiente M (Konovalov)**

$$M = \left[ 0.407 + \left( \frac{0.045 \cdot H}{H + Y_1} \right) \right] \cdot \left[ 1 + 0.285 \cdot \left( \frac{H}{H + Y_1} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{2g}$$

$$M = \left[ 0.407 + \left( \frac{0.045 \cdot 1.5}{1.5 + 1} \right) \right] \cdot \left[ 1 + 0.285 \cdot \left( \frac{1.5}{1.5 + 1} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81}$$

$$M = 2.12$$

A través de la ecuación de caudal para un vertedero sumergido se determina el ancho de la toma b1.

$$b1 = \frac{Q}{KsMH^{\frac{3}{2}}}$$

El coeficiente K =0.9 considera las pérdidas en la rejilla.

$$b1 = \frac{7.5}{0.9 * 0.52 * 2.12 * 1.5^{\frac{3}{2}}}$$

$$b1 = 4.11$$

$$b1 \approx 4.15 \text{ m}$$

**Se determina el número de espacios**

$$n = \frac{b1}{b'}$$

$$n = \frac{4.15}{0.1}$$

$$n = 41.5 \approx 42$$

**Número total de barrotes**

$$N = n - 1$$

$$N = 42 - 1$$

$$N = 41$$

**Se determina el ancho de la rejilla**

$$B = b_1 + N * a'$$

$$B = 4.15 + 41 * 0.15$$

$$B = 10.3 \text{ m}$$

### **3.2.3.1.3 DESRIPIADOR - CANAL DE LIMPIEZA – COMPUERTA**

Esta obra se la ha diseñado para acumular el material sólido que logre atravesar la rejilla y eliminarlo a través de una compuerta con salida a un canal cuyo destino final es el río, el proceso detallado del dimensionamiento de estas obras se presenta a continuación:

#### **3.2.3.1.3.1 DESRIPIADOR**

Los datos utilizados para el diseño del desripiador son los siguientes:

$$Q_d = 7.5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Altura Umbral Desripiador (Y2) = 1.3m

Altura de Agua (H') = 1.4m

Desnivel entre Superficies (Z') = 0.1m

Altura del Canal de Conducción (Y3) = 1.1m

Elevación Agua bajo el vertedero (h'n) = 1.3m

Ancho Rejilla (B) = 10.3m

### Cálculo Coeficiente de Corrección por Sumersión (Bazin)

$$s = 1.05 \left( 1 + 0.2 \cdot \frac{hn}{Y2} \right) \cdot \left( \frac{Z}{H} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$s = 1.05 \left( 1 + 0.2 * \frac{1.3}{1.1} \right) * \left( \frac{0.1}{1.4} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$s = 0.54$$

### Cálculo del Coeficiente M (Konovalov)

$$M = \left[ 0.407 + \left( \frac{0.045 \cdot H}{H + Y1} \right) \right] \cdot \left[ 1 + 0.285 \cdot \left( \frac{H}{H + Y1} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{2g}$$

$$M = \left[ 0.407 + \left( \frac{0.045 * 1.4}{1.4 + 1.3} \right) \right] * \left[ 1 + 0.285 * \left( \frac{1.4}{1.4 + 1.3} \right)^2 \right] * \sqrt{2 * 9.81}$$

$$M = 2.05$$

### Cálculo del Vertedero de Salida (b2)

$$b1 = \frac{Q}{KsMH^{\frac{3}{2}}}$$

$$b2 = \frac{7.5}{0.54 * 2.05 * 1.4^{\frac{3}{2}}}$$

$$b2 = 4.1 \text{ m}$$

La longitud del desripiador es aproximadamente igual a la longitud de una transición.

$$L = \frac{b_1 - b_2}{2 * \operatorname{tg} 12.5^\circ} \quad (\text{United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1987})$$

$$L = \frac{10.3 - 4,1}{2 * \operatorname{tg} 12.5^\circ}$$

$$L = 15.30 \text{ m}$$

### 3.2.3.1.3.2 CANAL DE LIMPIEZA DESRIPIADOR

Los datos para el diseño del canal de limpieza son los siguientes:

$$Q_d = 7.5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$b = 1.3\text{m}$$

$$Y = 1.8\text{m}$$

$$n = 0.025 \text{ (Canal con piedras)}$$

Propiedades Geométricas e Hidráulicas (Condicionadas por el espacio disponible y calado en el desripiador).

$A = b * y$	$P = b * 2y$	$R = \frac{A}{P}$
$A = 1.80 * 1.3$	$P = 1.8 * (2 * 1.3)$	$R = 2.34/4.4$
$A = 2.34 \text{ m}^2$	$P = 4.4\text{m}$	$R = 0.532\text{m}$

### Cálculo pendiente del canal

$$AR^{\frac{2}{3}} = \frac{nQ}{\sqrt{S}}$$

$$\sqrt{S} = \frac{n * Q}{A * R^{\frac{2}{3}}}$$

$$\sqrt{S} = \frac{0.025 * 7.5}{2.34 * 0.532^{\frac{2}{3}}}$$

$$S = 0.0015 < 0,05 \text{ OK}$$

### Cálculo Velocidad

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{7.5}{2.34}$$

$$V = 3.2 > 2 \text{ m/s OK}$$

#### 3.2.3.1.3.3 COMPUERTA DE LIMPIEZA DESRIPIADOR

Hay que comprobar también que en el primer ínstate en que la compuerta se abre, tenga una capacidad mayor de  $Q = 7.5\text{m}^3/\text{s}$  para que el desripiador pueda vaciarse hasta el calado  $y = 1.3\text{m}$  (alto del vertedero salida). El procedimiento detallado del cálculo se presenta a continuación.

Trabajo como compuerta libre

$$Q = Cab\sqrt{2g(H - ea)}$$

a = Abertura Compuerta

b = Ancho Compuerta

C = Coeficiente = k\*e

H = Altura de Agua detrás de la Compuerta

**Cálculo Coeficiente C**

$$\frac{a}{H} = \frac{1.5}{2.6} = 0.58$$

**Tabla 22: Coeficiente C**

COEFICIENTE C			
a/H	e	k=0.95	k=0.97
		C	C
0.00	0.611	0.58	0.593
0.1	0.615	0.584	0.597
0.15	0.618	0.587	0.569
0.20	0.620	0.589	0.601
0.25	0.622	0.591	0.603
0.30	0.625	0.594	0.606
0.35	0.628	0.597	0.579
0.40	0.630	0.599	0.611
0.45	0.638	0.606	0.619
0.50	0.645	0.613	0.626
0.55	0.650	0.618	0.631
0.60	0.660	0.627	0.64
0.65	0.675	0.641	0.655
0.70	0.690	0.656	0.669
0.75	0.705	0.670	0.684
0.80	0.720	0.684	0.698
0.85	0.745	0.708	0.723
0.90	0.780	0.741	0.757
0.95	0.835	0.793	0.81
1.00	1.000	0.95	0.97

**Fuente:** (Sviatoslav, 1978)

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

**Interpolación:**

$$Y = \frac{(X - X_1)}{(X_2 - X_1)} \cdot (Y_2 - Y_1) + Y_1$$

$$Y = \frac{(0.58 - 0.55)}{(0.60 - 0.55)} \cdot (0.627 - 0.618) + 0.618$$

$$Y = C = 0.623$$

Cálculo Caudal

$$Q = C a b \sqrt{2g(H - ea)}$$

$$Q = 0.623 * 1.5 * 1.80 \sqrt{19.62(2.6 - 0.656 * 1.5)}$$

$$Q = 9.50 \text{ m}^3/\text{s} > 7.5 \text{ m/s OK}$$

### 3.2.3.2 CONDUCCIÓN

La alternativa de implantación seleccionada tiene como característica en la conducción, la construcción de 300m de túnel, la longitud total de conducción e de 1800m hasta el punto de aprovechamiento del agua (Tanque de agua), se han manejado 2 alternativas en cuanto a geometría; el ancho B se ha predefinido como 3.5 debido a que durante el proceso constructivo se provee el paso de maquinaria pequeña a través de la conducción.

El proceso de cálculo detallado se muestra a continuación

#### 3.2.3.2.1 OPCIÓN 1 (SECCIÓN RECTANGULAR)

Los datos utilizados para el dimensionamiento son los siguientes:

$$Q_d = 7.5 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_m = 14.6 \frac{m^3}{s}$$

$$S = 0.002$$

$$n = 0.014 \text{ (Hormigón con huellas de tabla)}$$

$$b = 3.5m \text{ (Ancho necesario para el paso de maquinaria)}$$

### Cálculo Profundidad Normal

$$AR^{\frac{2}{3}} = \frac{nQ}{\sqrt{S}}$$

$$A = b * y$$

$$P = b * 2y$$

$$R = \frac{b * y}{b + 2y}$$

$$(b * y) * \left( \frac{b * y}{b + 2y} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{n * Q}{\sqrt{S}}$$

$$(b * y) * \left( \frac{b * y}{b + 2y} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{n * Q}{\sqrt{S}}$$

$$(3.5 * y) * \left( \frac{3.5 * y}{3.5 + 2y} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{0.015 * 7.5}{\sqrt{0.05}}$$

### Resolviendo la ecuación

$$y = 0.98 \text{ m}$$

### Propiedades Geométricas e Hidráulicas

$$A = b * y$$

$$P = b * 2y$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$A = 3.5 * 0.98$$

$$P = 3.5 * (2 * 0.98)$$

$$R = 3.43/5.46$$

$$A = 3.43 \text{ m}^2$$

$$P = 5.46 \text{ m}$$

$$R = 0.63 \text{ m}$$

### Borde Libre y Altura Total del Canal

$$b_L = 0,55208695 * \sqrt{Cy}$$

$$b_L = 0,55 * \sqrt{2,5 * 0,98} \text{ m}^2$$

$$b_L = 0,9 \text{ m}$$

$$H = y + b_L$$

$$H = 0,98 + 0,9$$

$$H = 1,88\text{m}$$

$$H \approx 1,9 \text{ m}$$

### Características del flujo en el canal

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \frac{1}{0,015} * 0,63^{\frac{2}{3}} * 0,002^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 2,19 \text{ m/s}$$

$$q = \frac{Q}{B}$$

$$q = \frac{7,5}{3,5}$$

$$q = 2,14 \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$Y_c = \sqrt{\frac{2.14^2}{9.81}}$$

$$Y_c = 0.78 \text{ m}$$

$$Y > Y_c$$

$$0.98 > 0.78 \text{ (Flujo Subcrítico)}$$

$$FR = \frac{V}{\sqrt{gY}}$$

$$FR = \frac{2.19}{\sqrt{9.81 * 0.98}}$$

$$FR = 0.706 < 1 \text{ (Flujo Subcrítico)}$$

### **Cálculo de la Conductividad**

$$K = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}}$$

$$K = \frac{1}{0.015} * 3.43 * 0.63^{\frac{2}{3}}$$

$$K = 168.05$$

### 3.2.3.2.2 OPCIÓN 2 (SECCIÓN TRAPEZOIDAL)

Los datos utilizados para el dimensionamiento son los siguientes:

$$Qd = 7.5 \frac{m^3}{s}$$

$$S = 0.002$$

$$n = 0.014 \text{ (Hormigón con huellas de tabla)}$$

$$b = 3.5m$$

$$z = 1$$

#### Cálculo Profundidad Normal

$$AR^{\frac{2}{3}} = \frac{nQ}{\sqrt{S}}$$

$$A = (b + zy)y$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

$$R = \frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$$

$$(b + zy)y * \left( \frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{n * Q}{\sqrt{S}}$$

$$(3.5 + 1y)y * \left( \frac{(3.5 + 1y)y}{3.5 + 2y\sqrt{1 + 1^2}} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{0.014 * 7.5}{\sqrt{0.002}}$$

### Resolviendo la ecuación

$$y = 0.82 \text{ m}$$

### Propiedades Geométricas e Hidráulicas

$$A = (b + zy)y$$

$$A = (3.5 + 1 * 0.82)0.82$$

$$A = 3.54 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

$$P = 3.5 + 2 * 0.82\sqrt{1 + 1^2}$$

$$P = 5.82 \text{ m}$$

$$R = \frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$$

$$R = \frac{(3.5+1*0.82)*0.82}{3.5+2*0.82\sqrt{1+1^2}}$$

$$R = 0.61$$

$$T = b+2zy$$

$$T = 3.5 + 2*1*0.82$$

$$T = 5.1 \text{ m}$$

$$D = \frac{A}{T}$$

$$D = \frac{(b+zy)y}{b+2zy}$$

$$D = \frac{(3.5+1*0.82)*0.82}{3.5+2*1*0.82}$$

$$D = 0.69 \text{ m}$$

### **Borde Libre y Altura Total del Canal**

$$b_L = 0,55208695 * \sqrt{Cy}$$

$$b_L = 0.55 * \sqrt{2.5 * 0.82} \text{ m}^2$$

$$b_L = 0.8 \text{ m}$$

$$H = y + b_L$$

$$H = 0.82 + 0.8$$

$$H = 1.62 \text{ m}$$

$$H \approx 1.6 \text{ m}$$

### Características del flujo en el canal

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \frac{1}{0.015} * 0.61^{\frac{2}{3}} * 0.002^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 2.14 \text{ m/s}$$

$$q = \frac{Q}{B}$$

$$q = \frac{7.5}{3.5}$$

$$q = 2.14 \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{Ac^3}{T}$$

$$Ac = (b + zYc)Yc$$

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{((b + zYc)Yc)^3}{b + 2zYc}$$

$$\frac{7.5^2}{9.81} = \frac{((3.5 + 1Yc)Yc)^3}{3.5 + 2 * 1Yc}$$

### Resolviendo la ecuación

$$Y_c = 0.72\text{m}$$

$$Y > Y_c$$

$$0.82 > 0.72 \text{ (Flujo Subcrítico)}$$

$$FR = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

$$FR = \frac{2.14}{\sqrt{9.81 * 0.69}}$$

$$FR = 0.823 < 1 \text{ (Flujo Subcrítico)}$$

### Cálculo de la Conductividad

$$K = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}}$$

$$K = \frac{1}{0.015} * 3.54 * 0.61^{\frac{2}{3}}$$

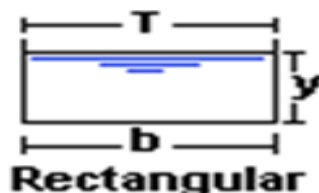
$$K = 169.75$$

### 3.2.3.2.3 EVALUACIÓN ALTERNATIVAS

Se ha presentado dos alternativas, al analizar los resultados se puede observar que en cuanto a la conductividad los valores de las dos secciones se asemejan, algo parecido sucede con las áreas, el resultado tiene lógica ya que se ha pre definido el ancho de la sección como 3.50m ya que es el ancho necesario para el paso de la maquinaria.

En lo que a economía se refiere la sección rectangular tiene un menor volumen de excavación y presenta mayor facilidad de construcción en consecuencia se acoge como definitiva la sección rectangular.

A continuación se presenta una tabla con la geometría y una figura que muestra la forma del canal.



**CUADRO DE RESULTADOS**

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
<b>B (m)</b>	3.5	Ancho solera
<b>T (m)</b>	3.5	Ancho Superficial
<b>Y (m)</b>	0.93	Profundidad Agua
<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	3.26	Área
<b>P (m)</b>	5.36	Perímetro mojado
<b>R</b>	0.61	Rádío Hidráulico
<b>BL (m)</b>	0.8	Borde libre
<b>H (m)</b>	1.73	Altura Total (Yn +BL)
<b>K</b>	167.49	Conductividad

### CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO

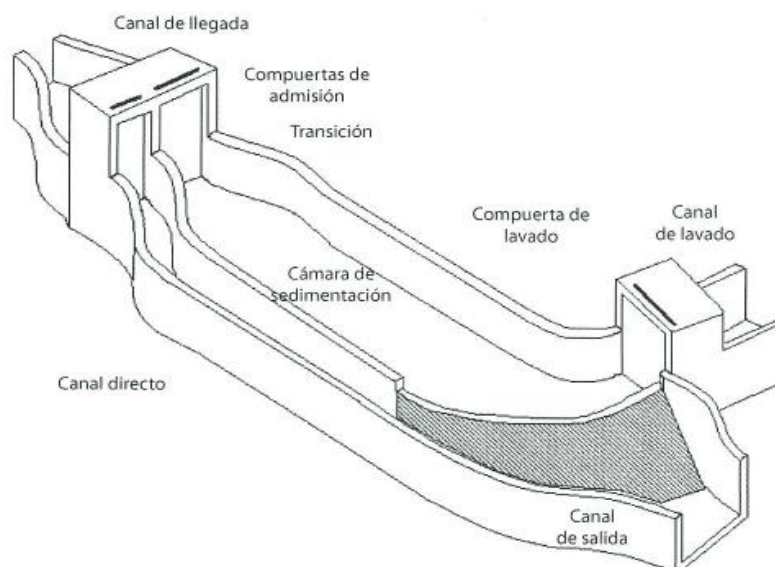
<b>V (m/s)</b>	2.3
<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	7.5
<b>g (m/s<sup>2</sup>)</b>	9.81
<b>q (m)</b>	2.14
<b>Yc (m)</b>	0.78
<b>Vc (m/s)</b>	2.77
<b>FR</b>	0.761
<b>Tipo de Flujo</b>	<b>SUBCRÍTICO</b>

### 3.2.3.3 DESARENADOR

El funcionamiento de los desarenadores se basa en la reducción de la velocidad del agua y de las turbulencias, permitiendo así que el material sólido transportado en suspensión se deposite en el fondo por la disminución de velocidad y aumento de sección en el desarenador.

Se diseñará de un desarenador de lavado intermitente, puesto que por el caudal de 7.5 m<sup>3</sup>/s es viable el diseño de una cámara desarenadora y un canal directo, Krochin recomienda un desarenador de dos cámaras paralelas para caudales mayor de 10 m<sup>3</sup>/s.

**Ilustración 41: Desarenador Intermitente**

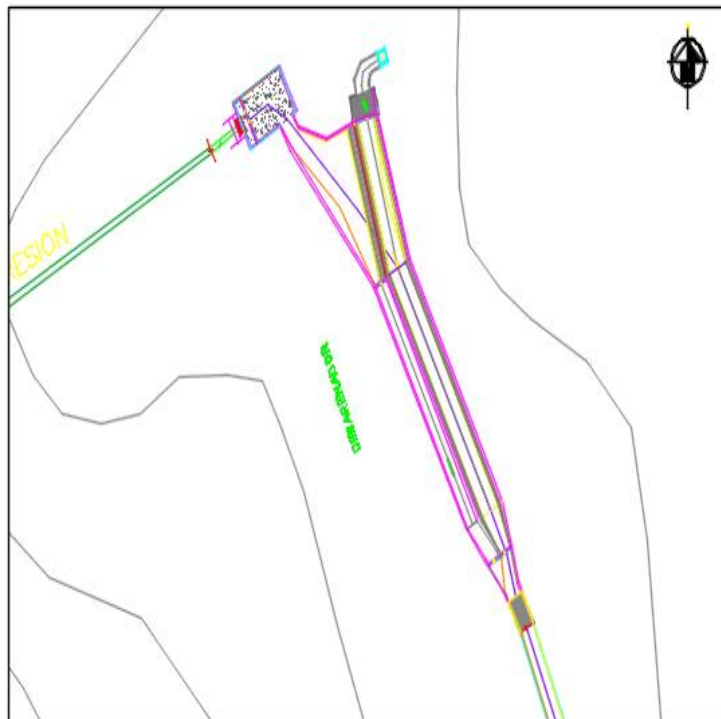


**Fuente :** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (Ortiz Flórez, 2011)

### 3.2.3.3.1 UBICACIÓN

La estructura principal y las obras complementarias del desarenador del Proyecto Hidroeléctrico Zarapullo, se ubican luego del portal de salida del canal de conducción donde se adecuará para la implantación de éste y antes del tanque de sugerencia y su paso a la tubería de presión.

**Gráfico 16: Implantación Desarenador**



**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

### 3.2.3.3.2 CÁLCULO COMPONENTES DEL DESARENADOR

Los principales elementos de la estructura a ser diseñados son:

- Canal de Ingreso
- Transición
- Cámara Desarenadora

- Canal de Directo
- Vertedero del desarenador (Hacia el tanque de sumergencia)

### 3.2.3.3.2.1 CANAL DE INGRESO

El agua que se transporta por el canal de conducción ingresa al desarenador a través de un canal que tiene como función servir de ingreso hacia el desarenador, el caudal de diseño tanto de la conducción como del canal de ingreso es de  $7.5 \frac{m^3}{s}$ .

El canal de ingreso constituye una estructura de hormigón armado de sección rectangular, de 6.50 metros de ancho por 0.70 metros de altura. El calado de agua para el caudal de diseño es 0.51 metros y tiene un borde libre de 0.19 metros en el muro derecho e izquierdo. La pendiente del canal para estas condiciones es 0.3%.

Adicionalmente se ha verificado el dimensionamiento del canal de ingreso para el caudal de crecida que puede ser transportado por la conducción, es decir, aproximadamente  $9.075 \frac{m^3}{s}$  para el cual, el calado es de 0.61 metros quedando un borde libre de 0.09 metros en el muro derecho e izquierdo. Con la pendiente del 0.3%.

Las ecuaciones empleadas para el dimensionamiento del canal de ingreso son las que se muestran a continuación en el Cuadro No. 1.2.

**Tabla 23: Ecuaciones Canal de Ingreso Desarenador**

<b>Ecuación</b>	<b>Descripción</b>
$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$	Calado Crítico
$Q = \frac{A^{\frac{5}{3}} * j^{\frac{1}{2}}}{n * p^{\frac{2}{3}}}$	Ecuación General del Flujo Uniforme

## DESARROLLO DISEÑO CANAL DE INGRESO

### DATOS INICIALES

B= 6.50 m (ancho del canal)

J=0.002 (pendiente del canal)

n= 0.014 (Rugosidad)

Q= 7.5 m<sup>3</sup>/s (Caudal de diseño)

### Calculo del caudal unitario

$$q = \frac{Q}{B} = \frac{7.5 * 1000}{6.50} = 1153.85 \frac{l}{s}$$

### Calado critico

$$y_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{1/3} = \left( \frac{(1153.85/1000)^2}{9.81} \right)^{1/3} = 0.51 \text{ m}$$

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} * J^{1/2} = \frac{(6.50 * 0.51)^{5/3} * 0.002^{1/2}}{0.014 * (6.50 + 2 * 0.51)^{2/3}} = 6.215 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{7.5}{6.5 * 0.51} = 2.24 \frac{\text{m}}{\text{s}} < 3.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \checkmark \checkmark \text{ok}$$

∴ **FLUJO SUBCRÍTICO** ✓✓OK

### LONGITUD DEL CANAL DE ENTRADA

$$B1=3.50 \text{ m}$$

$$B2=6.50 \text{ m}$$

$$\Theta=12.5^\circ$$

$$L_{\text{horizontal}} = \frac{(B2 - B1)}{2 * \text{tg}(\Theta)} = \frac{(6.50 - 3.50)}{2 * \text{tg}(12.5)} = 6.76 \cong \mathbf{7\text{m}}$$

$$l_{\text{inclinada}} = \sqrt{l_{\text{horizontal}}^2 + \left(\frac{B2 - B1}{2}\right)^2} = \sqrt{7^2 + \left(\frac{6.50 - 3.50}{2}\right)^2} = 7.159 \cong \mathbf{7.20\text{m}}$$

#### 3.2.3.3.2 TRANSICIÓN

A continuación del canal de ingreso se ubica la transición que tiene como función realizar cambios en las secciones transversales desde el canal de ingreso hasta la cámara desarenadora. El caudal de diseño para la transición es de  $7.5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ .

La geometría diseñada debe tener la capacidad de producir variaciones en el régimen hidráulico que sean admisibles. Para evitar las pérdidas y los efectos de ondas superficiales, es recomendable que los cambios en la transición sean lo más graduales posibles. Las transiciones se pueden clasificar en contracciones y expansiones, pero su análisis hidráulico es semejante.

La transición diseñada corresponde a un cambio de sección de 3.0 metros, que es el ancho del canal de ingreso a 6.30 metros que es el ancho de la cámara de sedimentación

Las ecuaciones empleadas para el dimensionamiento de la transición son las que se muestran a continuación en el Cuadro No. 1.4.

**Tabla 24: Ecuaciones de Transición Desarenador**

<b>Ecuación</b>	<b>Descripción</b>
$L = \frac{(B2 - B1)}{2 * \tan \theta}$	Longitud de la Transición
$Q = m * L * h * \sqrt{2 * g * h}$	Caudal en la Transición
$L' = m * L - 0.4 * h$	Ancho Mínimo al Final de la Transición

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

El cálculo detallado de este elemento se encuentra en el Anexo No. ¿?: Memoria de Cálculo Transición.

### **DESARROLLO DISEÑO TRANSICIÓN HIDRAULICA**

$$B1=3.00 \text{ m}$$

$$B2=6.30 \text{ m}$$

$$\Theta=12.5^\circ$$

$$L_{\text{horizontal}} = \frac{(B2 - B1)}{2 * \text{tg}(\Theta)} = \frac{(6.30 - 3.00)}{2 * \text{tg}(12.5)} = 7.44 \cong \mathbf{7.50m}$$

$$l_{\text{inclinada}} = \sqrt{l_{\text{horizontal}}^2 + \left(\frac{B2 - B1}{2}\right)^2} = \sqrt{7.44^2 + \left(\frac{6.30 - 3.00}{2}\right)^2} = 7.62 \cong \mathbf{7.60m}$$

### 3.2.3.3.2.3 CÁMARA DESARENADORA

La cámara desarenadora se ubica luego de las compuertas, cuenta con un canal directo que facilita el mantenimiento y limpieza de la misma cuando no esté operando. El caudal utilizado para su diseño es de 7.5 m<sup>3</sup>/s.

La partícula a ser sedimentada es de 0.2 mm, por lo que sedimentarán todas las partículas cuyo tamaño sea 0.2 mm o mayor. La eficiencia de la cámara desarenadora es de C=1.2.

La sección trapezoidal de la cámara permitirá una mejor sedimentación de la partícula depositándola en el fondo de la misma que será llevada hacia la compuerta de lavado y a su vez a la evacuación de los sedimentos.

Las ecuaciones empleadas para el dimensionamiento de la cámara desarenadora se muestran a continuación en el Cuadro No. 1.6.

**Tabla 25: Ecuaciones Cámara Desarenadora**

<b>Ecuación</b>	<b>Descripción</b>
$V_s = \frac{g}{18} * \frac{(\rho - \rho_s)}{\mu} * d^2$	Velocidad de Sedimentación
$L_c = \frac{k * h_c * V}{V_s}$	Longitud de la Cámara

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

El cálculo detallado de este elemento se encuentra en el Anexo No. 1.5: Memoria de Cálculo Cámara Desarenadora.

### **DESARROLLO DISEÑO HIDRÁULICO CAMARA DESARENADORA**

#### **Datos**

$Q=7.5 \text{ m}^3/\text{s}$  (caudal de diseño)

$D=0.2 \text{ mm}$  (diámetro de la partícula a sedimentarse)

$\gamma=2.5 \text{ t/m}^3$  (peso específico de la partícula)

$T=20^\circ\text{C}$  (temperatura ambiente)

#### **Cálculo de la velocidad de sedimentación de la partícula**

**Tabla 26: Velocidades de Sedimentación  $w$  ( $V_s$ ) calculado por Arkhangalski (1935) en función del diámetro de las partículas**

<b>d (mm)</b>	<b>w (cm/s)</b>
0.05	0.178
0.10	0.692
0.15	1.560
0.20	2.160
0.25	2.700
0.30	3.240
0.35	3.780
0.40	4.320
0.45	4.860
0.50	5.400
0.55	5.940
0.60	6.480
0.70	7.320
0.80	8.070
1.00	9.44
2.00	15.29
3.00	19.25
5.00	24.90

**Fuente :** Diseño Hidraulico (Krochin, 1978)

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera

Para un  $d=0.2$  mm la velocidad de sedimentación ( $V_s$ ) corresponde a 2.16 cm/s

#### Calculo del área necesaria ( $A_s$ )

$$A_s = \frac{Q}{V_s} = \frac{7.5}{\frac{2.16}{100}} = 347,222 \text{ m}^2$$

#### Calculo del área transversal ( $A_t$ )

La velocidad del agua ( $V_a$ ) en el desarenador debe estar dentro del rango de 0.1 m/s a 0.4 m/s, dicho este parámetro adoptamos una velocidad de 0.3 m/s.

$$A = \frac{Q}{V_a} = \frac{7.5}{0.3} = 25 \text{ m}^2$$

#### Geometría cámara desarenador.

Las paredes del desarenador tendrán un talud de  $m=0.5$

Adoptamos una relación de ancho/alto=2

$$\text{Entonces: } A = b * h \quad ; \quad b = 2h$$

$$25 = 2.5 * h^2 \quad h = 3.16 \text{ m} \quad \wedge \quad b = 6.325 \text{ m}$$

**Observación:** Por aspectos constructivos adoptamos  **$b = 6.30$  m**, una profundidad

**$h = 3.00$  m.**

### **Cálculo de la longitud del desarenador**

**Tabla 27: Eficiencia del Desarenador**

<b>CL</b>	<b>Eficiencia del desarenador</b>
1.2-1.4	MUY BUENA
1.5-1.8	BUENA
2	POBRE

**Fuente :** (United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1987)

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Asumiendo una eficiencia del desarenador Muy Buena de  $Cl= 1.2$  tenemos:

$$L = Cl * h * \frac{Va}{Vs} = 1.2 * 3.00 * \frac{0.3}{0.0216} = \mathbf{50 \text{ m}}$$

$$\text{Chequeo: } \frac{L}{b} \geq 4 \quad \frac{50}{6.30} = 7.93 \gg 4 \therefore \checkmark \checkmark \mathbf{ok}$$

### **Cálculo del Volumen Necesario (V)**

$$V = At * L = 25 * 50 = 1250 \text{ m}^3$$

### **Cálculo del Área Real (Ar)**

$$A = \frac{V}{h} = \frac{1250}{3.00} = 416.667 \text{ m}^2 \geq 347.222 \text{ m}^2 \text{ (Área necesaria)} \therefore \checkmark \checkmark \mathbf{ok}$$

### **Eficiencia del desarenador $t_d > t_s$**

#### **Tiempo de Flujo**

$$t_d = \frac{V}{Q} = \frac{1250}{7.5} = 166.66 \text{ s}$$

$$t_s = \frac{h}{V_s} = \frac{3.00}{0.0216} = 138.889 \text{ s}$$

entonces:  $166.66 \gg 138.889$  ;  $t_d > t_s$        $\checkmark\checkmark\text{ok}$

### 3.2.3.3.2.4 CANAL DIRECTO

Por este medio se mantiene en funcionamiento la central, mientras se está lavando el desarenador, por lo general el lavado se efectúa en un tiempo corto. Nos sirve también para dar un mantenimiento a la cámara del desarenador sin interrumpir el paso del agua hacia el tanque de carga y a su vez a la tubería de presión. Para este fin contamos con dos compuertas al desarenador, una de entrada a la cámara desarenadora y otra al canal directo.

De acuerdo a los parámetros de diseño se consideró  $Q_{max} \leq 1.2 Q_{diseño}$ , siendo el caudal de diseño  $Q = 9 \frac{m^3}{s}$ . El canal directo constituye una estructura de hormigón armado con malla electrosoldada, de sección rectangular, de 2.50 metros de ancho por 1.60 metros de altura. El calado de agua para el caudal de diseño es 1.30 metros y tiene un borde libre de 0.30 metros en los muros derecho e izquierdo. La pendiente del canal para estas condiciones es 0.2%.

Las ecuaciones empleadas para el dimensionamiento del canal de ingreso son las que se muestran a continuación en el Cuadro No. 1.3.

**Tabla 28: Ecuaciones Canal Directo Desarenador**

<b>Ecuación</b>	<b>Descripción</b>
$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$	Calado Crítico
$Q = \frac{A^{5/3} * j^{1/2}}{n * p^{3/2}}$	Ecuación General del Flujo Uniforme

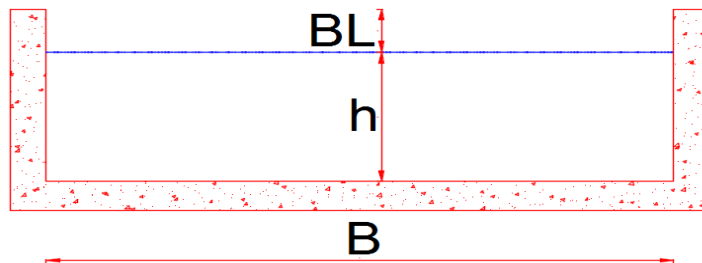
**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

## DESARROLLO DEL DISEÑO HIDRAULICO DEL CANAL DIRECTO

### Datos

- $Q=7.5\text{m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{max}}=9\text{m}^3/\text{s}$
- $J=0.002$
- $n=0.014$  (tabla rustica)
- $B=3.00$  (Asumido)

Gráfico 17: Parámetros generales canal directo Desarenador



Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} * J^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$$\triangleright A = B * h = 3.00 * h$$

$$P = B + 2h = 3.00 + 2h$$

$$\cdot \frac{Q * n}{\sqrt{J}} = \frac{(3.00 * h)^{\frac{5}{3}}}{(3.00 + 2h)^{\frac{2}{3}}}$$

$$\cdot \frac{9 * 0.014}{\sqrt{0.002}} = \frac{(3.00 * h)^{\frac{5}{3}}}{(3.00 + 2h)^{\frac{2}{3}}} \quad \therefore h = 1.22m \cong 1.25 m$$

### Número de Froude

$$\cdot F = \frac{V}{\sqrt{g * h}}$$

$$\cdot V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B * h} = \frac{9}{3.00 * 1.22} = 2.45 \text{ m/s}$$

$$\cdot A = 3.00 * 1.22 = 3.66 \text{ m}^2$$

$$\cdot h = \frac{A}{B} = \frac{3.66}{3.00} = 1.22 \text{ m} \quad \checkmark\checkmark\text{ok}$$

$$\Rightarrow F = \frac{2.45}{\sqrt{9.81 * 1.22}} = 0.708 < 1.00 \quad \therefore \text{FLUJO SUBCRÍTICO } \checkmark\checkmark\text{OK}$$

### Comprobación de la Velocidad en el Canal

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * J^{\frac{1}{2}}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{3.165}{(2.5 + 2 * 1.266)} = 0.63$$

$$V = \frac{1}{0.014} * 0.63^{\frac{2}{3}} * 0.002^{\frac{1}{2}} = 2.34 \frac{\text{m}}{\text{s}} < 3.5 \text{ m/s} \quad \checkmark\checkmark\text{ok}$$

#### 3.2.3.3.2.5 VERTEDERO DE PASO

La función del vertedero es pasar agua limpia hacia la transición de salida que dirige al tanque de carga y a su vez a la tubería de presión, las capas superiores del agua son las que primero se limpian, por este motivo la necesidad de diseñar un vertedero que trabaje con descarga libre, mientras menor sea la velocidad de paso por el vertedero menor será la turbulencia que podría generar una mayor velocidad suspendiendo los materiales que deben sedimentarse. Como máximo se recomienda que la velocidad puede llevar  $V=1\text{m/s}$  valor a considerar para el cálculo, a su vez se considera un máximo valor de carga de agua sobre la cresta de  $h=0.25 \text{ m}$ .

Como el ancho de la cámara del desarenador no es suficiente para construir el vertedero de manera recta o perpendicular a la dirección del agua, por este motivo se lo construye con una geometría de semi-arco que empieza en uno de los muros laterales hasta la compuerta de limpieza, de este modo el mantenimiento se realiza con mayor facilidad haciendo que el material a sedimentarse sigue trayectorias curvas al igual que el flujo espiral que se origina aleja estos materiales del vertedero de paso.

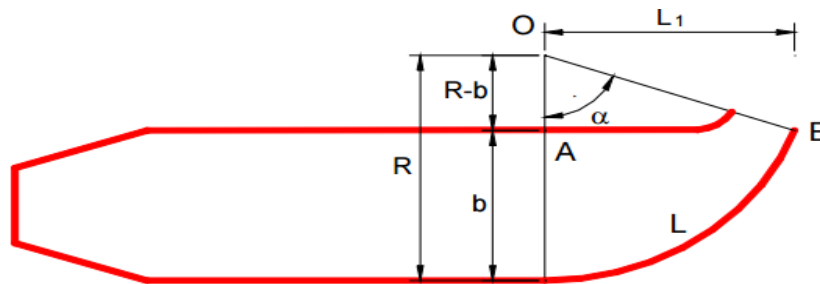
Tabla 29: Ecuaciones Vertedero (Hacia Tanque de Carga)

Ecuación	Descripción
$\mu = 1.02 - \frac{1.015}{\frac{h}{r} - 2.08} + \left[ 0.04 * \left( \frac{h}{r} + 0.19 \right)^2 + 0.0223 \right] * \frac{r}{w}$	Coeficiente de los Vertederos
$L = \frac{Q}{C * h^{3/2}}$	Longitud del vertedero

Elaborado por: Alejandro Cabrera

### DESARROLLO DEL DISEÑO HIDRAULICO DEL VERTEDERO DE PASO

Gráfico 18: Esquema del Vertedero de Paso - Desarenador



Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

### Cálculo de la longitud del vertedero

Datos:

$h=0.25\text{m}$  (Carga de agua sobre el vertedero)

$C=2$  (Coeficiente de descarga para un perfil de Creager)

$Q=7.5\text{ m}^3/\text{s}$  (Caudal de diseño)

$$L = \frac{Q}{C * h^{3/2}} = \frac{7.5}{2 * 0.25^{3/2}} = 30\text{ m}$$

### Perfil de Creager

$$x^{1.85} = 2 * H_0^{0.85} * y$$

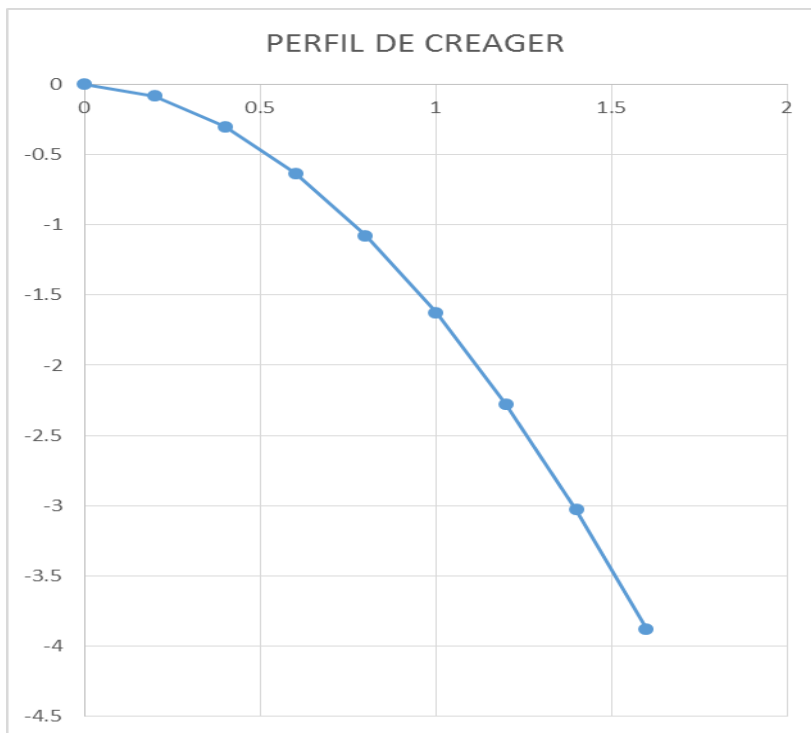
$$\text{Donde: } y = \frac{x^{1.85}}{2 * H_0^{0.85}} = 1.625 * x^{1.85}$$

**Tabla 30: Perfil de Creager Desarenador**

x	y
0	0
0.2	-0.0827483
0.4	-0.2983076
0.6	-0.631587
0.8	-1.0753995
1	-1.625
1.2	-2.2768723
1.4	-3.0282396
1.6	-3.8768173

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

**Gráfico 19 : Perfil de Creager Desarenador**



**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

**Cálculo del ángulo central  $\alpha$  y el radio R con que se traza la longitud del vertedero.**

Se conoce:  $2\pi R$  ---- 360

L ----  $\alpha$

$$\rightarrow L = \frac{2\pi R}{360} = \frac{\pi R}{180} \quad \text{despejando: } R = \frac{180 * L}{\pi * \alpha} \quad \mathbf{1)}$$

Del gráfico 18, tomando el triángulo OAB tenemos:

$$\cos \alpha = \frac{R - b}{R}$$

**Donde:**

$$R * \cos \alpha = R - b$$

$$b = R(1 - \cos \alpha)$$

$$R = \frac{b}{1 - \cos \alpha} \quad 2)$$

Igualando 1) y 2):

$$\frac{180 * L}{\pi * \alpha} = \frac{b}{1 - \cos \alpha}$$

$$\frac{\alpha}{1 - \cos \alpha} = \frac{180 * L}{\pi * b} \quad 3)$$

L y b son conocidos por tanto hallamos  $\alpha$ :

$$\frac{\alpha}{1 - \cos \alpha} = \frac{180 * 30}{\pi * 6.30} \quad \text{despejando } \alpha = 270.5^\circ$$

**Cálculo de R**

$$R = \frac{180 * L}{\pi * \alpha} = \frac{180 * 30}{\pi * 270.5^\circ} = \mathbf{6.35 \text{ m} \approx 6.40 \text{ m}}$$

***Cálculo de la longitud de la proyectada longitudinal del vertedero (L1)***

Tomando el triángulo OAB:

$$\text{Sen } \alpha = \frac{L1}{R} \quad \text{Dónde : } L1 = \text{Sen } \alpha * R = \text{Sen}(270.5) * 6.35 = \mathbf{6.35 \text{ m}}$$

***Cálculo de la longitud total del desarenador***

$$L \text{ tot} = L_t + L + \bar{L}$$

Donde:

$L_t$  = longitud de la transición

$L$  = longitud de la cámara de sedimentación

$\bar{L}$  = longitud promedio: longitud del vertedero y proyectada longitudinal

$$L \text{ tot} = L_t + L + \bar{L} = 7.60 + 50 + \frac{(30 + 6.35)}{2} = \mathbf{75.78 \approx 75.80 \text{ m}}$$

***Cálculo de la altura de la cresta del vertedero con respecto al fondo***

Para facilitar el lavado al fondo del desarenador se dará una pendiente del 2%. Ésta pendiente comienza al finalizar la transición.

$$h_c = 0.02 * L_{\text{tot}} = 0.02 * 75.80 = \mathbf{1.51 \text{ m} \approx 1.50 \text{ m}}$$

### 3.2.4 POTENCIA CENTRAL ATENAS

La Potencia en una central hidroeléctrica se encuentra en función del desnivel existente entre el nivel de la captación, del nivel en la casa de máquinas y el caudal turbinable, a su vez las características de los equipos ya sean las turbinas y los generadores usados en la transformación de la energía potencial a energía eléctrica.

**Tabla 31: Ecuación cálculo de la potencia**

Ecuación	Descripción
$P_e = \rho * 9.81 * \eta_t * \eta_g * \eta_m * Q * H$	Potencia Hidroeléctrica
$H = \text{Desnivel entre la captación y el eje de la turbina}$	H

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Dónde:

- $P_e$  = Potencia en vatios (W)
- $\rho$  = densidad del fluido en  $kg/m^3$
- $\eta_t$  = rendimiento de la turbina hidráulica (entre 0.85 y 0.94)
- $\eta_g$  = rendimiento del generador eléctrico (entre 0.92 y 0.97)
- $\eta_m$  = rendimiento mecánico del acoplamiento turbina alternador (0.95/0.99)
- $Q$  = caudal turbinable en  $m^3/s$

## CÁLCULO DE LA ALTURA

Cota casa de máquinas: 1050.00 m

Cota del tanque de carga: 1145.00 m

$$H = 1140 - 1050 = 85 \text{ m}$$

## CÁLCULO DE LA POTENCIA

DATOS:

- $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
- $\eta_t = 0.94$
- $\eta_g = 0.92$
- $\eta_m = 0.99$
- $Q = 7.5 \text{ m}^3/\text{s}$

$$P_e = 1000 * 9.81 * 0.94 * 0.92 * 0.99 * 7.5 * 85$$

$$P_e = 5354267.6 \text{ w}$$

$$P_e = 5.35 \text{ Mw}$$

Adicionalmente se ha hecho el estudio de la potencia que puede generar el proyecto por días en kw.

MES DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	4.22	3.62	3.74	4.58	5.14
2	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	4.13	3.69	3.77	4.38	4.75
3	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	4.03	3.61	3.95	4.27	4.71
4	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	4.09	3.54	3.93	4.25	4.93
5	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	3.97	3.69	3.95	4.48	5.16
6	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	3.88	3.61	3.88	4.43	5.27
7	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	3.82	3.51	4.01	4.37	5.53
8	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	3.80	3.64	4.01	4.47	5.58
9	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	3.77	3.60	4.02	4.72	5.58
10	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.56	3.69	3.42	3.90	4.66	5.58
11	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.53	3.71	3.32	4.16	4.94	5.35
12	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.45	3.60	3.31	4.61	5.06	5.41
13	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.43	3.61	3.33	4.49	5.42	5.21
14	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.48	3.60	3.45	4.54	5.39	5.58
15	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.44	3.66	3.41	4.30	5.22	5.58
16	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.38	3.62	3.38	4.20	5.08	5.58
17	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.18	3.60	3.52	4.37	5.06	5.58
18	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.13	3.61	3.37	4.21	5.03	5.58
19	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.08	3.59	3.45	4.25	5.14	5.58
20	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	4.90	3.60	3.45	3.87	5.09	5.58
21	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	4.74	3.48	3.67	4.04	5.31	5.58
22	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	4.67	3.64	4.07	4.58	5.03	5.58
23	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	4.58	3.47	4.11	4.38	4.91	5.58
24	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	4.52	3.56	3.91	4.44	5.07	5.58
25	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	4.40	3.44	3.95	4.30	5.34	5.58
26	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	4.29	3.51	4.04	4.32	4.95	5.58
27	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	4.28	3.48	4.04	4.56	4.72	5.58
28	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	5.58	4.19	3.39	3.73	5.19	4.77	5.58
29	5.58		5.58	5.58	5.58	5.58	4.19	3.48	4.19	4.76	5.02	5.58
30	5.58		5.58	5.58	5.58	5.58	4.15	3.45	4.20	4.30	5.30	5.58
31	5.58		5.58		5.58		4.11	3.49		4.48		5.58

### 3.2.5 ENERGÍA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “ATENAS”

A continuación se presenta una tabla con la energía d que se podrá obtener de la central en estudio en unidades kw/día

DIA	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	101.21	86.80	89.76	109.96	123.31
2		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	99.08	88.51	90.47	105.23	113.98
3		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	96.66	86.67	94.76	102.48	112.95
4		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	98.10	84.94	94.33	102.01	118.34
5		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	95.35	88.53	94.80	107.46	123.88
6		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	93.21	86.71	93.08	106.41	126.59
7		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	91.67	84.20	96.19	104.84	132.65
8		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	91.24	87.40	96.14	107.32	133.97
9		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	90.47	86.46	96.37	113.34	133.97
10		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.35	88.55	82.12	93.53	111.73	133.97
11		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	132.63	88.94	79.63	99.87	118.59	128.29
12		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	130.70	86.38	79.49	110.71	121.32	129.90
13		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	130.42	86.55	80.03	107.64	130.13	125.11
14		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	131.56	86.29	82.79	108.98	129.40	133.97
15		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	130.67	87.74	81.94	103.12	125.25	133.97
16		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	129.04	86.96	81.03	100.89	121.81	133.97
17		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	124.31	86.46	84.38	104.89	121.48	133.97
18		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	123.24	86.60	80.79	101.05	120.68	133.97
19		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	121.91	86.15	82.88	102.09	123.25	133.97
20		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	117.59	86.46	82.76	92.76	122.22	133.97
21		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	113.79	83.63	88.19	97.03	127.33	133.97
22		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	112.18	87.24	97.74	109.91	120.61	133.97
23		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	109.98	83.37	98.66	105.07	117.73	133.97
24		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	108.41	85.46	93.74	106.66	121.73	133.97
25		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	105.64	82.51	94.71	103.28	128.25	133.97
26		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	103.07	84.26	97.03	103.62	118.79	133.97
27		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	102.73	83.45	96.96	109.55	113.16	133.97
28		133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	133.97	100.64	81.42	89.64	124.50	114.50	133.97
29		133.97	0.00	133.97	133.97	133.97	133.97	100.60	83.53	100.64	114.27	120.45	133.97
30		133.97		133.97	133.97	133.97	133.97	99.67	82.79	100.73	103.28	127.13	133.97
31		133.97		133.97		133.97		98.53	83.87		107.46		133.97

Sumando los valores de la tabla se obtiene una energía anual de 44.1 Mw.

## **4 SOFTWARE LIBRE EN EL DISEÑO Y MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LOS COMPONENTES A FLUJO LIBRE DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “ATENAS”**

### **4.1 SOFTWARE LIBRE**

El concepto de software libre debe cumplir ciertos parámetros los mismos que indiquen que un programa sea considerado como de libre uso. Este se enuncia como el software que se dispone en libertad de uso de los usuarios y comunidad, los mismos que pueden ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software, sin que tenga un costo de uso o descarga, considerándolo como gratuito, dando al usuario el control sobre el programa y su función, al mencionar al programa que el usuario no pueda controlarlo o que se define como privativo se lo conoce como “no libre” donde el usuario debe pagar un costo para hacer uso del mismo.

Se considera a un software como libre si los usuarios disponen de las siguientes libertades esenciales:

- La libertad de operar el programa a criterio del usuario, con cualquier propósito.
- La libertad de estudiar cómo funciona el programa, y cambiarlo para que haga lo que el usuario desee.
- La libertad de compartirlo con su comunidad para un bien común o ayudar a su similar.
- La libertad de distribuir copias de sus versiones modificadas a terceros (libertad 3). Esto le permite ofrecer a toda la comunidad la oportunidad de beneficiarse de las modificaciones.

Un software se considera libre si otorga a los usuarios todas las posibilidades de operarlo de una manera adecuada caso contrario no se lo considera como libre. También debe tener la libertad de hacer modificaciones y usarlas en privado para su propio trabajo o pasatiempo, sin siquiera mencionar que existen. Si publica sus cambios,

no debe estar obligado a notificarlo a nadie en particular, ni de ninguna manera en particular.

La libertad de operar el programa significa que cualquier persona u entidad es libre de usarlo en cualquier tipo de sistema de computación, para cualquier tipo de trabajo y finalidad, sin que exista el requerimiento de comunicar al programador u organización responsable de programar el software.

## 4.2 PROGRAMAS

### 4.2.1 (HCANALES)

#### 4.2.1.1 GENERALIDADES

H-Canales es un programa que nos permite calcular la geometría de un canal y algunas propiedades del flujo, este programa es gratuito y de libre uso, el lenguaje de programación de este software libre permite una interacción muy simplificada entre el usuario y la interfaz del programa, ya que es una plataforma que permite comparar resultados obtenidos en el cálculo manual a su vez ganar tiempo al diseñar obras hidráulicas.

Ilustración 42: Software HCANALES



Fuente : Software HCANALES

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

La simplificación en cálculos laboriosos y es una gran ventaja que nos ofrece este programa, ya que se puede comprobar de manera rápida y eficaz cualquier tipo de proyecto ahorrando costos de consultoría y tiempo de personal.

Algunos de los diversos tipos de cálculos se enuncian a continuación:

- Calcular el tirante crítico
- Calcular el tirante normal
- Calcular la curva de remanso
- Calcular caudales
- Calcular el resalto hidráulico

#### **4.2.1.2 INGRESO DE DATOS**

##### **4.2.1.2.1 AZUD**

El programa H-Canales nos brinda la posibilidad de comprobar el diseño de nuestro azud en función de varios parámetros, los mismos que al ser ingresados compararemos con el caudal de diseño, parámetro inicial analizado para realizar el cálculo manual.

Nuestro diseño trata de un vertedero rectangular con un perfil de Creager, siendo el caso que vamos a seleccionar en H-Canales ya que nos da la posibilidad de seleccionar: vertedero rectangular, triangular o trapezoidal.

## ➤ INGRESO DE DATOS AZUD

A continuación ingresaremos los siguientes datos que fueron analizados y calculados en el proceso de desarrollo manual del diseño y los ingresaremos al programa para su comprobación.

### DATOS:

- Q crecida=140 m<sup>3</sup>/s
- Ancho de solera B=9m ( Longitud de cresta)
- Co=2.13 ( coeficiente de descarga)
- Ho=3.76m (carga sobre el vertedero)

Ilustración 43: Ingreso de datos “Vertedero”

The screenshot shows the 'Cálculos en vertederos' software interface. The 'Vertedero rectangular' tab is active. The 'Datos del vertedero' section contains the following input fields:

- Longitud de cresta (L): 9 m
- Carga sobre el vertedero (h): 3.76 m
- Número de contracciones (n): 0
- Coefficiente de descarga (Cd): 2.13

The 'Tipo' section has three radio buttons: 'Cresta aguda' (unselected), 'Perfil Creager' (selected), and 'Cresta ancha' (unselected). To the right, a graph titled 'Perfil Creager' shows a cross-section of the weir with the label 'perfil Creager Cd=2'. Below the graph, the 'Resultados' section has two empty input fields for 'Caudal (Q):' with units 'm<sup>3</sup>/s' and 'l/seg'. On the left, a 3D diagram of a rectangular weir is shown with labels 'h' and 'd ≥ 4h'. The 'Ecuación' section displays the formula: 
$$Q = C_d (L - 0.1nh) h^{\frac{3}{2}}$$

donde:

- Q = caudal que fluye por el vertedero, m<sup>3</sup>/s
- L = longitud de cresta del vertedero, m
- h = carga sobre el vertedero, m
- n = número de contracciones (0, 1 ó 2)
- C<sub>d</sub> = coeficiente de descarga

At the bottom of the interface, there are buttons for 'Calcular', 'Limpiar Pantalla', 'Imprimir', 'Menú Principal', and 'Calculadora'. The status bar at the very bottom shows 'Retorna al Menú principal', '12:32', and '26/11/2015'.

Fuente : Software HCANALES

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Una vez ingresados los datos ya calculados anteriormente pulsamos el botón calcular del programa, en el recuadro de resultados, H-Canales nos da un Caudal el mismo que debe corresponder con el caudal que se realizó el diseño manual del azud.

### ➤ RESALTO HIDRÁULICO

Para el cálculo del resalto hidráulico usaremos el parámetro del tirante contraído que ya fue calculado, dato necesario para ingresar en el programa.

DATOS:

- $Q$  crecida=140 m<sup>3</sup>/s ( $Q_{\text{diseño}}$ )
- Ancho de solera  $B=9\text{m}$  ( Longitud de cresta)
- $Y=5.63\text{m}$  (Tirante)

**Ilustración 44: Ingreso de datos "Resalto Hidráulico"**

Cálculo del Resalto Hidráulico Sección Rectangular

Lugar: RIO ZARAPULLO Proyecto: ATENAS  
Tramo: CAPTACION

**Datos:**  
Caudal (Q): 140 m<sup>3</sup>/s  
Ancho de solera (b): 9 m  
Tirante (y): 5.63 m

**Resultados:**  
Tirante conjugado (y): m  
Número de Froude conjugado (F):  
Altura del resalto: m  
Longitud del resalto (L): m  
Pérdida de energía en el resalto: m

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ingresar el valor del tirante (profundidad de agua en el canal) 14:07 26/11/2015

Fuente : Software HCANALES

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Una vez ingresados los datos requeridos dejamos que el programa compile los resultados para comparar los resultados obtenidos en el cálculo manual ya desarrollado anteriormente.

#### 4.2.1.2.2 CANAL DE CONDUCCIÓN

##### ➤ INGRESO DE DATOS

Para el diseño del canal de conducción partiremos con un ancho de solera asumido para determinar el tirante normal y crítico, los parámetros requeridos se los enuncia a continuación:

DATOS:

- $Q=7.5\text{m}^3/\text{s}$  (Caudal de diseño para la conducción)
- $B=3.50$  (Asumido-ancho de solera)
- $n=0.014$  (rugosidad)
- $J=0.002$  (pendiente)

**Ilustración 45: Ingreso de datos "Conducción"**

Fuente : Software HCANALES

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

#### 4.2.1.2.3 CANAL DIRECTO DESARENADOR

DATOS:

- $Q=7.5\text{m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{max}}=9\text{m}^3/\text{S}$
- $J=0.002$
- $n=0.014$  (tabla rustica)
- $B=3.00$  (Asumido)

Ilustración 46: Ingreso de datos "Canal directo desarenador"

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: RIO ZARAPULLO Proyecto: ATENAS  
Tramo: DESARENADOR Revestimiento: HORMIGON

**Datos:**

Caudal (Q): 9 m<sup>3</sup>/s  
Ancho de solera (b): 3 m  
Talud (Z): 0  
Rugosidad (n): 0.014  
Pendiente (S): 0.002 m/m

**Resultados:**

Tirante normal (y): m  
Area hidráulica (A): m<sup>2</sup>  
Espejo de agua (T): m  
Número de Froude (F):  
Tipo de flujo:  
Perímetro (p): m  
Radio hidráulico (R): m  
Velocidad (v): m/s  
Energía específica (E): m-Kg/Kg

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ingresar el nombre del tramo del canal 10:37 28/11/2015

Fuente : Software HCANALES

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

#### **4.2.1.3 RESULTADOS (DISEÑO MANUAL VS HCANALES)**

Una vez realizado los cálculos por el programa HCANALES se realizara una comparación utilizando las memorias de cálculo, donde se visualizara de una mejor manera que el software nos brinda resultados conservadores ahorrándonos tiempo en el cálculo al igual que es una herramienta para comprobar características hidráulicas de los diferentes tipos de obras que componen el proyecto, a continuación compararemos las siguientes obras: Azud, canal de conducción y canal directo del desarenador, el cálculo manual se ha plasmado en una hoja de cálculo para facilidad de presentación de resultados.

# AZUD

## CENTRAL HIDROELECTRICA ATENAS DISEÑO DE LA CAPTACION PERFIL DEL AZUD

= Datos

### 1. DATOS INICIALES

$Q_{crec} =$	140.00 [m <sup>3</sup> /s]	Caudal de crecida
$Q_{azud} =$	11.80 [m <sup>3</sup> /s]	Caudal de diseño azud
$L_r =$	13.00 [m]	Ancho del Rio
$L_v (B) =$	9.00 [m]	Ancho de la solera (lavadero)
$P =$	2.50 [m]	Altura libre
$C_o \text{ asumido} =$	2.05	Coefficiente de descarga
$g =$	9.81 [m <sup>2</sup> /s]	Aceleracion de la gravedad.

$$Q = C_o * L * H_o^{3/2}$$

$H_o =$  3.861 [m]      Altura de carga de diseño para descarga de Q.

### 2. VERIFICACION "C"

#### 1ra Verificación

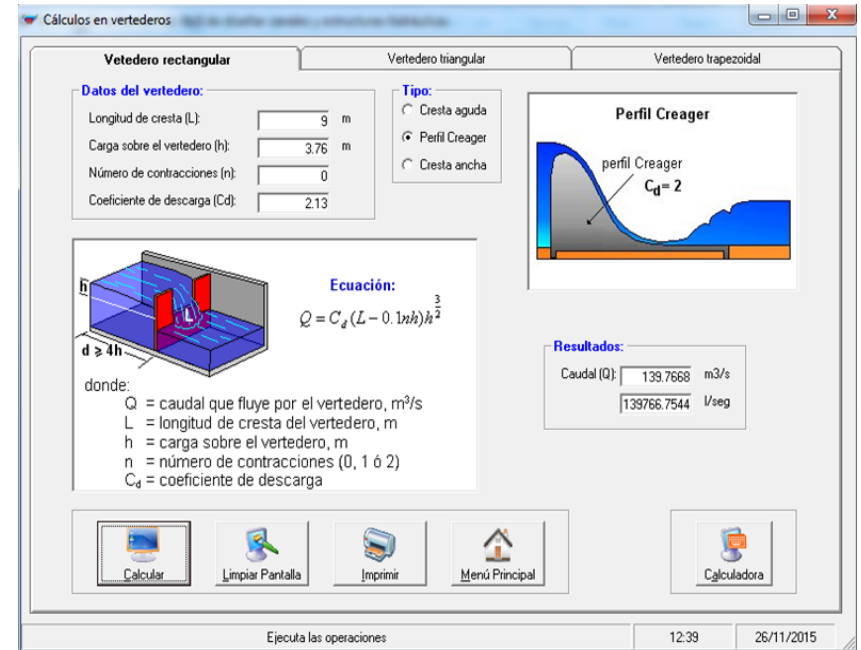
			<i>o calculad</i>	<i>Co asumido</i>	
$P/H_o =$	0.647	TABLA USBR	=	2.13	≠ 2.05 <b>XX ASUMIR Co</b>

#### 2da Verificación

$C_o \text{ asumido} =$  2.13      Coeficiente de descarga  
 $H_o =$  3.764 [m]      Altura de carga de diseño para descarga de Q.

			<i>o calculad</i>	<i>Co asumido</i>	
$P/H_o =$	0.664	TABLA USBR	=	2.13	= 2.13 <b>✓✓ ok</b>

## Ilustración 47: Resultados vertedero HCANALES



Fuente : H- Canales

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Como podemos observar el Caudal calculado por el programa es de  $Q=139.7668\text{m}^3/\text{s}$  cifra que redondeando equivale a  $140\text{ m}^3/\text{s}$  comprobándose que es igual al caudal de diseño  $Q_{diseño}=140\text{ m}^3/\text{s}$  calculado para realizar el diseño manual, así que el diseño del azud es correcto cumpliéndose todos los parámetros requeridos.

**Ilustración 48: Resultados vertedero Resalto Hidráulico HCANALES**

**1er TANTEO**  
 e1= 1.93 [m]      espesor a profundizar  
 ==> Hz= 4.43 [m]

**Bernoullie:**  $4.43 + 3.76 = 1.05 \frac{140^2}{9^2 * d1^2 * 2 * 9.81} + d1$

despejando **d1= 1.38** [m]      tirante contraido  
**V1= 11.27** [m/s]      velocidad en 1  
**FR= 3.064**      Numero de FROUDE  
**d2= 5.33** [m]      tirante conjugado  
 d2>dnr+e1  
 ==> **CASO b Profundizar (e)**

**2do TANTEO**  
 e2= 0.90 [m]      espesor a profundizar  
 ==> Hz= 5.33 [m]

**Bernoullie:**  $5.331 + 3.76 = 1.05 \frac{140^2}{9^2 * d1^2 * 2 * 9.81} + d1$

despejando **d1= 1.29** [m]      tirante contraido  
**V1= 12.06** [m/s]      velocidad en 1  
**FR= 3.39**      Numero de FROUDE  
**d2= 5.57** [m]      tirante conjugado  
 d2>dnr+e1+e2  
 ==> **CASO b Profundizar (e)**

**3er TANTEO**  
 e3= 0.24 [m]      espesor a profundizar  
 ==> Hz= 5.57 [m]

**Bernoullie:**  $5.56 + 3.76 = 1.05 \frac{140^2}{9^2 * d1^2 * 2 * 9.81} + d1$

despejando **d1= 1.27** [m]      tirante contraido  
**V1= 12.25** [m/s]      velocidad en 1  
**FR= 3.47**      Numero de FROUDE  
**d2= 5.63** [m]      tirante conjugado  
 d2=dnr+e1+e2+e3      **5.57**  
 ==> **O.K.**

**APROX:**  
**5.6**  
**5.6**

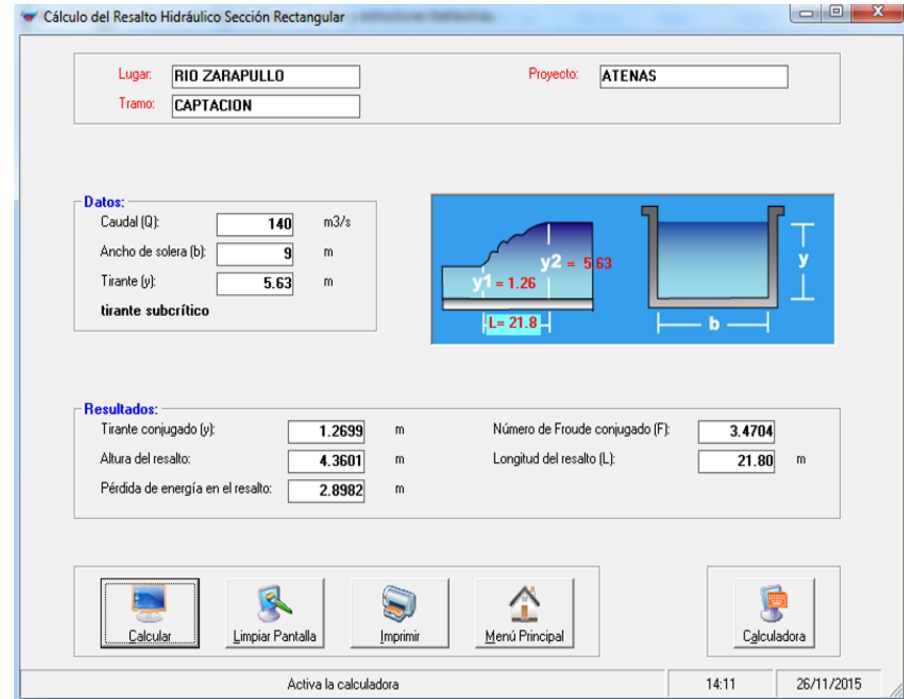
**RADIO Y LONGITUD DEL COLCHON AMORTIGUADOR**

Rz= 1.4 [m]      Radio al final del perfil de Creager

**TABLA USBR : L/Y2= 5.5**  
 L= **31.0** [m]

**SEGÚN BAKCHMETEV-MAZTKE (1936)  $L = 5 * (d2 - d1)$**  <sup>195</sup>

L= **21.80** [m]



**Fuente : H-CANALES**  
**Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines**

**PROYECTO HIDROELECTRICO ATENAS  
DISEÑO CONDUCCIÓN**

SECCIÓN RECTANGULAR		
B(m)	3.5	Ancho de la Solera
T(m)	3.5	Ancho superficial
Yn(m)	0.93	Profundidad Normal

**CUADRO DE RESULTADOS**

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
B (m)	3.5	Ancho solera
T (m)	3.5	Ancho Superficial
Y (m)	0.93	Profundidad Agua
A (m <sup>2</sup> )	3.26	Área
P (m)	5.36	Perímetro mojado
R	0.61	Rádío Hidráulico
BL (m)	0.8	Borde libre
H (m)	1.73	Altura Total (Yn +BL)
K	167.49	Conductividad

**Ilustración 49: Resultados canal de conducción HCANALES**

**Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular**

Lugar: RIO ZARAPULLO Proyecto: ATENAS  
Tramo: CONDUCCIÓN Revestimiento: HORMIGON

**Datos:**  
Caudal (Q): 7.5 m<sup>3</sup>/s  
Ancho de solera (b): 3.5 m  
Talud (Z): 0  
Rugosidad (n): 0.014  
Pendiente (S): 0.002 m/m

**Resultados:**  
Tirante normal (y): 0.9338 m  
Perímetro (p): 5.3676 m  
Área hidráulica (A): 3.2683 m<sup>2</sup>  
Radio hidráulico (R): 0.6089 m  
Espejo de agua (T): 3.5000 m  
Velocidad (v): 2.2948 m/s  
Número de Froude (F): 0.7582  
Energía específica (E): 1.2022 m-Kg/Kg  
Tipo de flujo: Subcrítico

Calculador Limpia Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ejecuta las operaciones 14:37 26/11/2015

**Fuente : HCANALES**


**Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines**

Cálculos varios en sección trapezoidal, rectangular y triangular

**Cálculo del ancho solera (b)**      Cálculo de la pendiente (S)      Cálculo de la rugosidad (n)

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
Tirante (y):  m  
Talud (Z):   
Rugosidad (n):   
Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Ancho de solera (b):  m  
Area hidráulica (A):  m<sup>2</sup>  
Espejo de agua (T):  m  
Número de Froude (F):   
Tipo de flujo:

Perímetro (p):  m  
Radio hidráulico (R):  m  
Velocidad (v):  m/s  
Energía específica (E):  m-Kg/Kg

Calcular    Limpiar Pantalla    Imprimir    Menú Principal    Calculadora

Ejecuta las operaciones      14:51      26/11/2015

Fuente : HCANALES  
Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

# PROYECTO HIDROELECTRICO ATENAS DISEÑO DEL DESARENADOR CANAL DIRECTO

                     = Datos

## A. CAUDAL DE DISEÑO

### 1. GEOMETRIA Y DATOS HIDRAULICOS

Q=	<span style="background-color: yellow;">7.50</span> [m3/s]	Caudal de ingreso
Qmax=	<span style="background-color: yellow;">9.00</span> [m3/s]	Caudal maximo= 1.2 del Qdiseño
b=	<span style="background-color: yellow;">3.00</span> [m]	Ancho libre del canal
n =	<span style="background-color: yellow;">0.014</span>	Rugosidad
J=	<span style="background-color: yellow;">0.002</span>	Pendiente
g=	<span style="background-color: yellow;">9.81</span> [m/s2]	Aceleracion de la gravedad

### 2. CÁLCULO DEL CALADO

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{5/3}}{P^{3/2}} * J^{1/2}$$

$$A = b * h \quad P = b + 2 * h \quad \frac{9 * 0.014}{\sqrt{0.002}} = \frac{(3.00 * h)^{5/3}}{(3.00 + 2h)^{3/2}}$$

despejamos h= 1.22 [m]  $\approx$  1.25 [m]

Ilustración 50: Resultados canal directo del desarenador

Fuente : HCANALES

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Ilustración 51: Resultados canal directo desarenador 2

2. CÁLCULO DEL NÚMERO DE FROUDE

$$F = \frac{V}{\sqrt{g * h}}$$

V= 2.46 [m/s] Velocidad  
 A= 3.66 [m<sup>2</sup>] Área  
 P= 5.44 [m] Perimetro mojado  
 h'= 1.22 [m] ==> **O.K.**  
 F= 0.71079932 Número de Froude

tipo de flujo= SUBCRITICO ==> **O.K.**

3. CHEQUEO DE LA VELOCIDAD

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * J^{1/2}$$

R= 0.67 Radio hidráulico  
 Vmax= 3.5 [m/s] Velocidad maxima en canales  
 V= 2.45 [m/s]  
 ==> **O.K.**

**Datos:**  
 Lugar: RIO ZARAPULLO Proyecto: ATENAS  
 Tramo: DESARENADOR Revestimiento: HORMIGON

**Datos:**  
 Tirante (y): 1.22 m  
 Ancho de solera (b): 3 m  
 Talud (Z): 0  
 Coeficiente de rugosidad (n): 0.014  
 Pendiente (S): 0.002 m/m

**Resultados:**  
 Caudal (Q): 8.9768 m<sup>3</sup>/s Velocidad (v): 2.4527 m/s  
 Area hidráulica (A): 3.6600 m<sup>2</sup> Perimetro (p): 5.4400 m  
 Radio hidráulico (R): 0.6728 m Espejo de agua (T): 3.0000 m  
 Número de Froude (F): 0.7090 Energía específica (E): 1.5266 m-Kg/Kg  
 Tipo de flujo: Subcrítico

**Cálculo del ancho solera (b)**  
**Datos:**  
 Caudal (Q): 9 m<sup>3</sup>/s  
 Tirante (y): 1.22 m  
 Talud (Z): 0  
 Rugosidad (n): 0.014  
 Pendiente (S): 0.002 m/m

**Resultados:**  
 Ancho de solera (b): 3.0060 m Perimetro (p): 5.4460 m  
 Area hidráulica (A): 3.6673 m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R): 0.6734 m  
 Espejo de agua (T): 3.0060 m Velocidad (v): 2.4541 m/s  
 Número de Froude (F): 0.7094 Energía específica (E): 1.5270 m-Kg/Kg  
 Tipo de flujo: Subcrítico

## **4.2.2 SIMULACION HIDRAULICA – (HEC RAS)**

### **4.2.2.1 GENERALIDADES**

El Software U.S Army Corps of Engineers River Analysis System (HEC – RAS) fue desarrollado en los Estados Unidos por el cuerpo de Ingenieros de ese país, específicamente por el Hydrologic Engineering Center en un proyecto al que lo llamaron Next Generation (NexGen) en donde el objetivo era crear herramientas computacionales para el análisis de datos hidrológicos e hidráulicos, como resultado de este proyecto se obtiene varios softwares entre los cuales está el Hec-Ras que se lo utiliza en la modelación hidráulica de los componentes a flujo libre del proyecto Hidroeléctrico Atenas, si bien es cierto la especialidad de este software es la simulación de corrientes naturales como lo son ríos, es habilidad del usuario adaptar las características de su proyecto para el análisis y modelación requeridos, y precisamente esto se ha hecho en la presente investigación.

El Hec – Ras permite realizar análisis unidimensionales de corrientes a flujo libre y presenta cuatro tipos de análisis al usuario, estos son:

- Análisis y Simulación de corrientes con Flujo Permanente
- Análisis y Simulación de corrientes con Flujo No Permanente
- Análisis del transporte de sedimentos
- Análisis de Calidad del Agua

En la presente investigación se utiliza la primera opción que permite realizar analizar el comportamiento hidráulico del agua dentro de nuestras estructuras a flujo libre como lo son: el desripiador, canal de conducción y desarenador. De esta manera se busca comprobar el funcionamiento de las mismas.

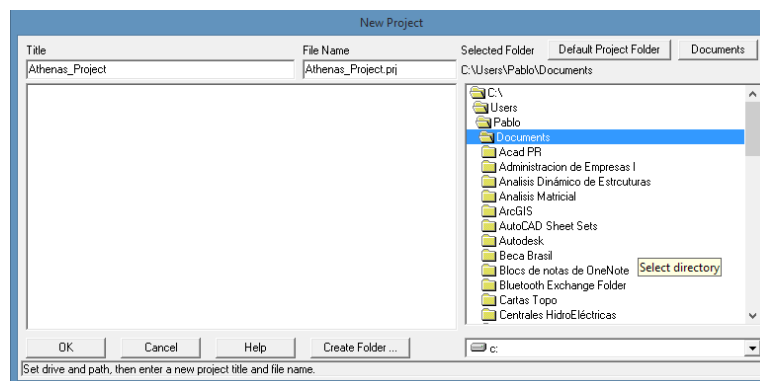
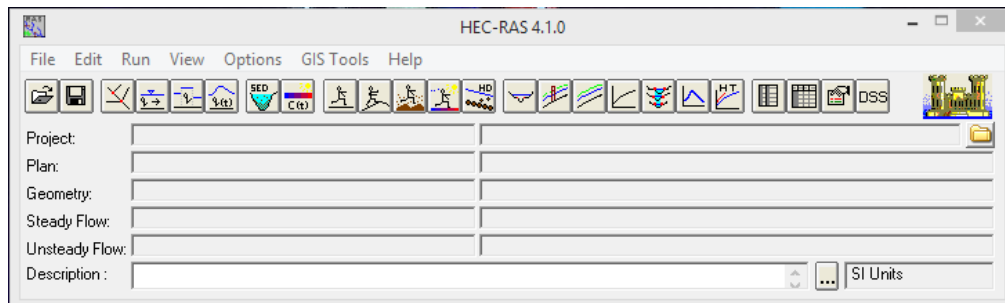
## 4.2.2.2 INGRESO DE DATOS

Dentro del software Hec – Ras se deberá ingresar todas las características del proyecto en estudio para esto se debe seguir 3 pasos fundamentales que son:

- Iniciar un nuevo proyecto y guardarlo
- Ingresar datos geométricos
- Ingresar datos del flujo y condiciones de borde

### Inicio de un Nuevo Proyecto

Este es el primer paso y a través de este se asignamos un nombre a nuestro proyecto, especificamos el destino en donde este se guardará, de esta manera todos los archivos referentes a este proyecto serán colocados en la ubicación especificada, la extensión de un archivo del Hec – Ras es (.prj).



**Fuente :** Hec- Ras

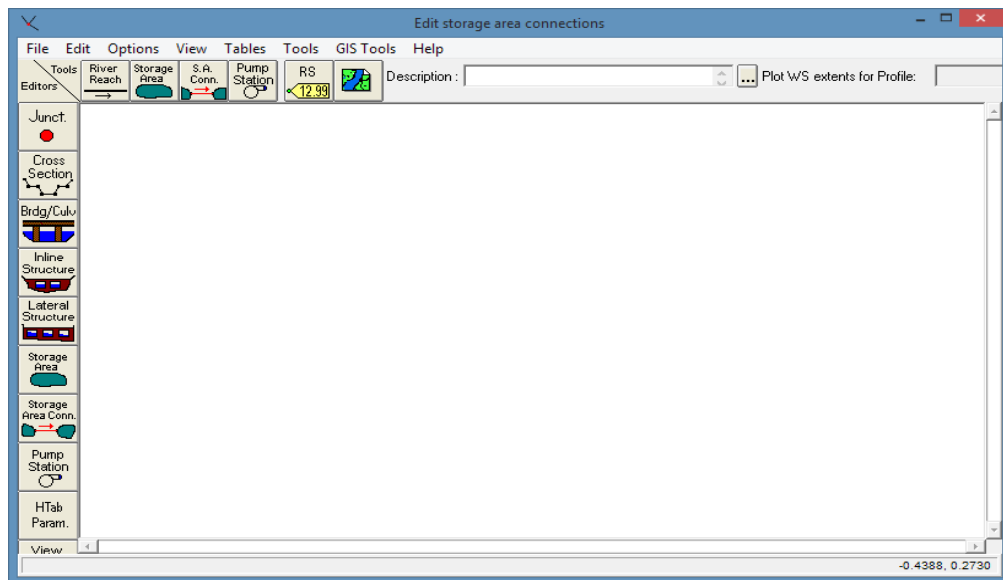
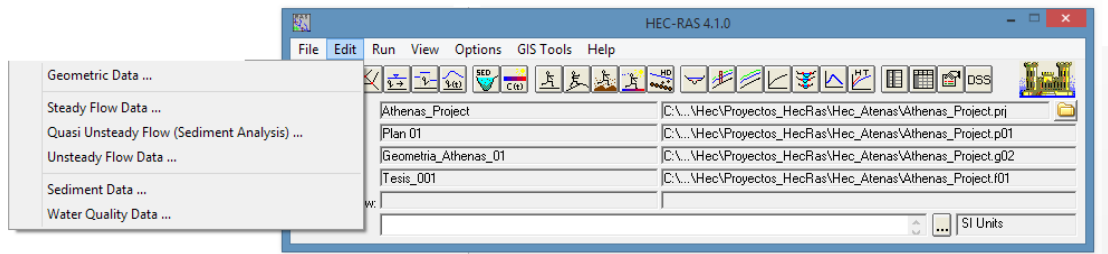
**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

## Ingresar Datos Geométricos

Después de haber guardado nuestro proyecto el siguiente paso es ingresar los datos geométricos de nuestro proyecto dentro de los datos que se debe ingresar están:

- Esquema del Río o de la corriente
- Trazado Secciones Transversales
- Geometría de las Secciones Transversales
- Datos de obras hidráulicas especiales dentro del cauce

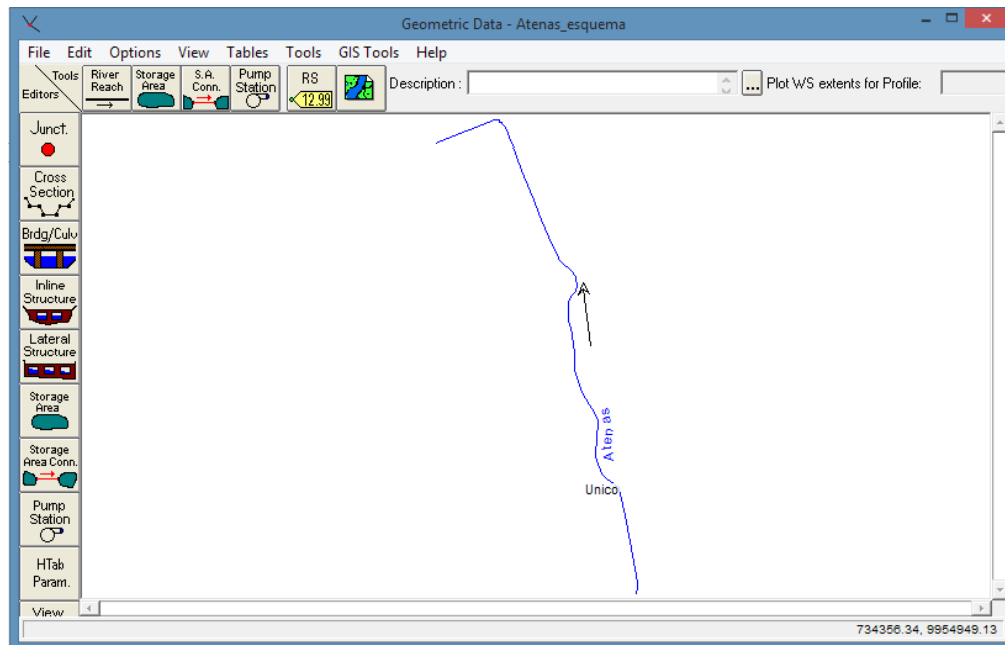
El Hec – ras en la barra de herramientas presenta una pestaña Edit en donde a su vez se puede encontrar la opción Geometric Data dentro de la cual se podrá ingresar toda la información antes mencionada.



Fuente : Hec- Ras

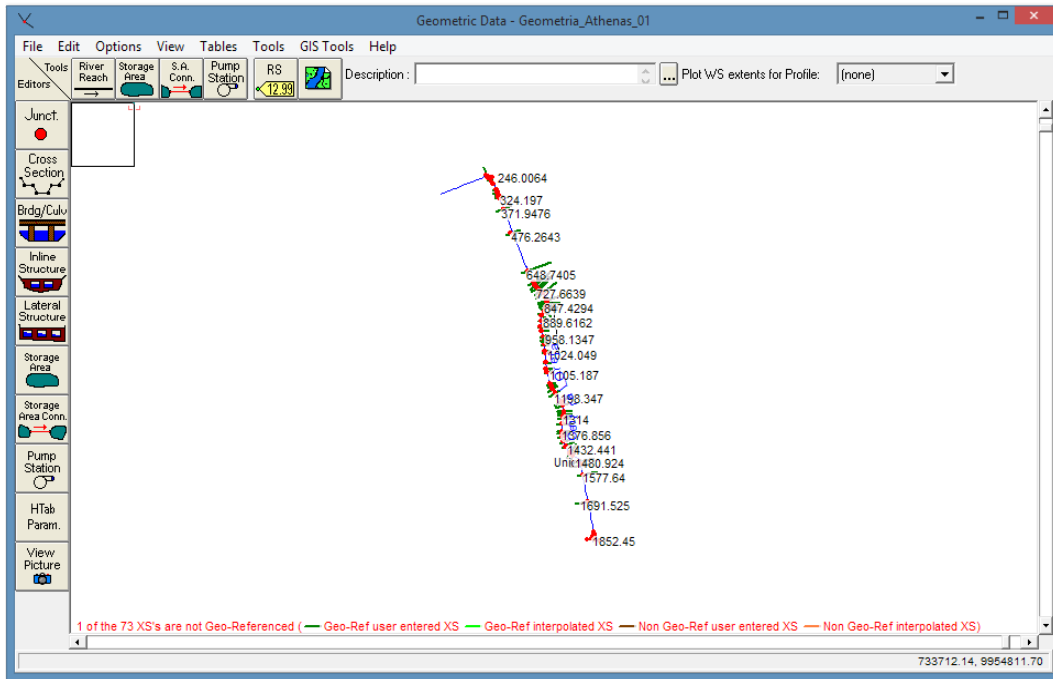
Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

En nuestro proyecto en particular el objetivo es recrear el flujo del agua dentro de las estructuras hidráulicas a flujo libre por lo que el esquema se lo hizo como si fuese un río; por lo tanto nuestro río hipotético comienza en la rejilla y termina donde así lo hace el desarenador.



**Fuente :** Hec- Ras  
**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Posteriormente el Hec – Ras nos ofrece la posibilidad de trazar manualmente las secciones transversales o también de trazarlas automáticamente especificando el intervalo, se optó por la primera opción.



**Fuente :** Hec- Ras  
**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Una vez ingresada la información anterior el siguiente paso es especificar en el programa la geometría en cada una de las secciones transversales a lo largo del cauce, en nuestro proyecto las secciones varían en el paso de una estructura a otra ; en el caso del desripador y desarenador también la sección varía dentro de cada estas estructuras, en el caso del desripador existe una transición desde la captación hasta el vertedero de paso que deriva en el canal de conducción, y en el caso del desarenador en su inicio tiene una transición que permite pasar del ancho del canal de conducción al ancho de la cámara desarenadora y posteriormente existe el vertedero de salida.

El ingreso de la geometría de cada sección se lo hizo con la ayuda de tablas Excel que fueron construidas a partir la información topográfica existente y los resultados del diseño manual que contienen las dimensiones de las estructuras.

El dato de partida es el de la captación con los datos de la rejilla:

Pendiente(m)      0.002

SECCIÓN REJILLA	
P1	1144.05
P2	1140
P3	1140
P4	1144.05

CALCULO PUNTOS SECCIONES

SECCION 1							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
2.19	15.66	13.47	3.6	P1	0.0072	2.19	1143.193
				P2	0.0072	2.19	1139.693
				P3	0.0072	15.66	1139.693
				P4	0.0072	15.66	1143.193

SECCION 2							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
3.18	12.76	9.58	3.01	P1	0.00602	3.18	1143.187
				P2	0.00602	3.18	1139.687
				P3	0.00602	12.76	1139.687
				P4	0.00602	12.76	1143.187

SECCION 3							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
4.12	11.61	7.49	2	P1	0.004	4.12	1143.183
				P2	0.004	4.12	1139.683
				P3	0.004	11.61	1139.683
				P4	0.004	11.61	1143.183

SECCION 4							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
5.05	10.41	5.36	3	P1	0.006	5.05	1143.177
				P2	0.006	5.05	1139.677
				P3	0.006	10.41	1139.677
				P4	0.006	10.41	1143.177

SECCION 5							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
5.45	9.85	4.4	2	P1	0.004	5.45	1143.173
				P2	0.004	5.45	1139.673
				P3	0.004	9.85	1139.673
				P4	0.004	9.85	1143.173

SECCION 6							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
5.79	9.29	3.5	2.42	P1	0.00484	5.79	1143.168
				P2	0.00484	5.79	1139.668
				P3	0.00484	9.29	1139.668
				P4	0.00484	9.29	1143.168

SECCION 7							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
5.67	9.17	3.5	3.29	P1	0.00658	5.67	1143.161
				P2	0.00658	5.67	1139.661
				P3	0.00658	9.17	1139.661
				P4	0.00658	9.17	1143.161

SECCION 8							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
5.6	9.1	3.5	2.36	P1	0.00472	5.6	1143.157
				P2	0.00472	5.6	1139.657
				P3	0.00472	9.1	1139.657
				P4	0.00472	9.1	1143.157

SECCION 9							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
5.49	8.99	3.5	3.24	P1	0.00648	5.49	1143.150
				P2	0.00648	5.49	1139.650
				P3	0.00648	8.99	1139.650
				P4	0.00648	8.99	1143.150

SECCION 10 (Inicio Canal)							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
0	3.5	3.5	1.15	P1	0.0023	0	1141.398
				P2	0.0023	0	1139.648
				P3	0.0023	3.5	1139.648
				P4	0.0023	3.5	1141.398

SECCION 11							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
4.39	7.89	3.5	5.91	P1	0.01182	4.39	1141.386
				P2	0.01182	4.39	1139.636
				P3	0.01182	7.89	1139.636
				P4	0.01182	7.89	1141.386

SECCION 12							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
51.17	54.67	3.5	128.93	P1	0.25786	51.17	1141.128
				P2	0.25786	51.17	1139.378
				P3	0.25786	54.67	1139.378
				P4	0.25786	54.67	1141.128

SECCION 13							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
22.53	26.03	3.5	113.89	P1	0.22778	22.53	1140.900
				P2	0.22778	22.53	1139.150
				P3	0.22778	26.03	1139.150
				P4	0.22778	26.03	1140.900

SECCION 14							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
47.27	50.77	3.5	39.35	P1	0.0787	47.27	1140.822
				P2	0.0787	47.27	1139.072
				P3	0.0787	50.77	1139.072
				P4	0.0787	50.77	1140.822

SECCION 15							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
42.06	45.56	3.5	17.13	P1	0.03426	42.06	1140.787
				P2	0.03426	42.06	1139.037
				P3	0.03426	45.56	1139.037
				P4	0.03426	45.56	1140.787

SECCION 16							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
29.77	33.27	3.5	40.23	P1	0.08046	29.77	1140.707
				P2	0.08046	29.77	1138.957
				P3	0.08046	33.27	1138.957
				P4	0.08046	33.27	1140.707

SECCION 17							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
24.17	27.67	3.5	15.1	P1	0.0302	24.17	1140.677
				P2	0.0302	24.17	1138.927
				P3	0.0302	27.67	1138.927
				P4	0.0302	27.67	1140.677

SECCION 18							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
17.81	21.31	3.5	33.39	P1	0.06678	17.81	1140.610
				P2	0.06678	17.81	1138.860
				P3	0.06678	21.31	1138.860
				P4	0.06678	21.31	1140.610

SECCION 19							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
16.86	20.36	3.5	20.86	P1	0.04172	16.86	1140.568
				P2	0.04172	16.86	1138.818
				P3	0.04172	20.36	1138.818
				P4	0.04172	20.36	1140.568

SECCION 20							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
17.31	20.81	3.5	22.97	P1	0.04594	17.31	1140.522
				P2	0.04594	17.31	1138.772
				P3	0.04594	20.81	1138.772
				P4	0.04594	20.81	1140.522

SECCION 21							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
20.04	23.54	3.5	11.74	P1	0.02348	20.04	1140.499
				P2	0.02348	20.04	1138.749
				P3	0.02348	23.54	1138.749
				P4	0.02348	23.54	1140.499

SECCION 22							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
21.77	25.27	3.5	7.86	P1	0.01572	21.77	1140.483
				P2	0.01572	21.77	1138.733
				P3	0.01572	25.27	1138.733
				P4	0.01572	25.27	1140.483

SECCION 23							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
21.45	24.95	3.5	31.56	P1	0.06312	21.45	1140.420
				P2	0.06312	21.45	1138.670
				P3	0.06312	24.95	1138.670
				P4	0.06312	24.95	1140.420

SECCION 24							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
20.49	23.99	3.5	23.45	P1	0.0469	20.49	1140.373
				P2	0.0469	20.49	1138.623
				P3	0.0469	23.99	1138.623
				P4	0.0469	23.99	1140.373

SECCION 25							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
23.29	26.79	3.5	10.73	P1	0.02146	23.29	1140.352
				P2	0.02146	23.29	1138.602
				P3	0.02146	26.79	1138.602
				P4	0.02146	26.79	1140.352

SECCION 26							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
27.87	31.37	3.5	9.43	P1	0.01886	27.87	1140.333
				P2	0.01886	27.87	1138.583
				P3	0.01886	31.37	1138.583
				P4	0.01886	31.37	1140.333

SECCION 27							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
28.53	32.03	3.5	9.72	P1	0.01944	28.53	1140.313
				P2	0.01944	28.53	1138.563
				P3	0.01944	32.03	1138.563
				P4	0.01944	32.03	1140.313

SECCION 28							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
31.07	34.57	3.5	24.84	P1	0.04968	31.07	1140.264
				P2	0.04968	31.07	1138.514
				P3	0.04968	34.57	1138.514
				P4	0.04968	34.57	1140.264

SECCION 29							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
31.82	35.32	3.5	16.76	P1	0.03352	31.82	1140.230
				P2	0.03352	31.82	1138.480
				P3	0.03352	35.32	1138.480
				P4	0.03352	35.32	1140.230

SECCION 30							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
30.03	33.53	3.5	44.18	P1	0.08836	30.03	1140.142
				P2	0.08836	30.03	1138.392
				P3	0.08836	33.53	1138.392
				P4	0.08836	33.53	1140.142

SECCION 31							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
21.7	25.2	3.5	20.39	P1	0.04078	21.7	1140.101
				P2	0.04078	21.7	1138.351
				P3	0.04078	25.2	1138.351
				P4	0.04078	25.2	1140.101

SECCION 32							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
17	20.5	3.5	12.79	P1	0.02558	17	1140.075
				P2	0.02558	17	1138.325
				P3	0.02558	20.5	1138.325
				P4	0.02558	20.5	1140.075

SECCION 33							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
14.93	18.43	3.5	10.11	P1	0.02022	14.93	1140.055
				P2	0.02022	14.93	1138.305
				P3	0.02022	18.43	1138.305
				P4	0.02022	18.43	1140.055

SECCION 34							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
10.39	13.89	3.5	49.88	P1	0.09976	10.39	1139.955
				P2	0.09976	10.39	1138.205
				P3	0.09976	13.89	1138.205
				P4	0.09976	13.89	1139.955

SECCION 35							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
9.06	12.56	3.5	13.99	P1	0.02798	9.06	1139.927
				P2	0.02798	9.06	1138.177
				P3	0.02798	12.56	1138.177
				P4	0.02798	12.56	1139.927

SECCION 36							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
9.96	13.46	3.5	26.13	P1	0.05226	9.96	1139.875
				P2	0.05226	9.96	1138.125
				P3	0.05226	13.46	1138.125
				P4	0.05226	13.46	1139.875

SECCION 37							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
12.45	15.95	3.5	41.02	P1	0.08204	12.45	1139.793
				P2	0.08204	12.45	1138.043
				P3	0.08204	15.95	1138.043
				P4	0.08204	15.95	1139.793

SECCION 38							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
12.02	15.53	3.51	8.15	P1	0.0163	12.02	1139.777
				P2	0.0163	12.02	1138.027
				P3	0.0163	15.53	1138.027
				P4	0.0163	15.53	1139.777

SECCION 39							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
13.68	17.18	3.5	25.5	P1	0.051	13.68	1139.726
				P2	0.051	13.68	1137.976
				P3	0.051	17.18	1137.976
				P4	0.051	17.18	1139.726

SECCION 40							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
14.67	18.17	3.5	16.68	P1	0.03336	14.67	1139.693
				P2	0.03336	14.67	1137.943
				P3	0.03336	18.17	1137.943
				P4	0.03336	18.17	1139.693

SECCION 41							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
14.33	17.83	3.5	15.59	P1	0.03118	14.33	1139.661
				P2	0.03118	14.33	1137.911
				P3	0.03118	17.83	1137.911
				P4	0.03118	17.83	1139.661

SECCION 42							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
14.31	17.81	3.5	2.38	P1	0.00476	14.31	1139.657
				P2	0.00476	14.31	1137.907
				P3	0.00476	17.81	1137.907
				P4	0.00476	17.81	1139.657

SECCION 43							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
11	14.5	3.5	25	P1	0.05	11	1139.607
				P2	0.05	11	1137.857
				P3	0.05	14.5	1137.857
				P4	0.05	14.5	1139.607

SECCION 44							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
11.94	15.44	3.5	15.17	P1	0.03034	11.94	1139.576
				P2	0.03034	11.94	1137.826
				P3	0.03034	15.44	1137.826
				P4	0.03034	15.44	1139.576

SECCION 45							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
13.81	17.31	3.5	25.96	P1	0.05192	13.81	1139.524
				P2	0.05192	13.81	1137.774
				P3	0.05192	17.31	1137.774
				P4	0.05192	17.31	1139.524

SECCION 46							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
16.12	19.62	3.5	21.06	P1	0.04212	16.12	1139.482
				P2	0.04212	16.12	1137.732
				P3	0.04212	19.62	1137.732
				P4	0.04212	19.62	1139.482

SECCION 47							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
29	32.5	3.5	21.13	P1	0.04226	29	1139.440
				P2	0.04226	29	1137.690
				P3	0.04226	32.5	1137.690
				P4	0.04226	32.5	1139.440

SECCION 48							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
34.3	37.8	3.5	20.29	P1	0.04058	34.3	1139.399
				P2	0.04058	34.3	1137.649
				P3	0.04058	37.8	1137.649
				P4	0.04058	37.8	1139.399

SECCION 49							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
39.38	42.88	3.5	10.04	P1	0.02008	39.38	1139.379
				P2	0.02008	39.38	1137.629
				P3	0.02008	42.88	1137.629
				P4	0.02008	42.88	1139.379

SECCION 50							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
38.33	41.83	3.5	11.19	P1	0.02238	38.33	1139.357
				P2	0.02238	38.33	1137.607
				P3	0.02238	41.83	1137.607
				P4	0.02238	41.83	1139.357

SECCION 51							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
39.55	43.05	3.5	10.79	P1	0.02158	39.55	1139.335
				P2	0.02158	39.55	1137.585
				P3	0.02158	43.05	1137.585
				P4	0.02158	43.05	1139.335

SECCION 52							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
35.65	39.15	3.5	34.46	P1	0.06892	35.65	1139.266
				P2	0.06892	35.65	1137.516
				P3	0.06892	39.15	1137.516
				P4	0.06892	39.15	1139.266

SECCION 53							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
32.1	35.6	3.5	19	P1	0.038	32.1	1139.228
				P2	0.038	32.1	1137.478
				P3	0.038	35.6	1137.478
				P4	0.038	35.6	1139.228

SECCION 54							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
28.18	31.68	3.5	13.99	P1	0.02798	28.18	1139.200
				P2	0.02798	28.18	1137.450
				P3	0.02798	31.68	1137.450
				P4	0.02798	31.68	1139.200

SECCION 55							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
26.65	30.15	3.5	13.27	P1	0.02654	26.65	1139.174
				P2	0.02654	26.65	1137.424
				P3	0.02654	30.15	1137.424
				P4	0.02654	30.15	1139.174

SECCION 56							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
27.14	30.64	3.5	13.54	P1	0.02708	27.14	1139.147
				P2	0.02708	27.14	1137.397
				P3	0.02708	30.64	1137.397
				P4	0.02708	30.64	1139.147

SECCION 57							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
25.62	29.12	3.5	52.12	P1	0.10424	25.62	1139.043
				P2	0.10424	25.62	1137.293
				P3	0.10424	29.12	1137.293
				P4	0.10424	29.12	1139.043

SECCION 58							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
28.42	31.92	3.5	172.47	P1	0.34494	28.42	1138.698
				P2	0.34494	28.42	1136.948
				P3	0.34494	31.92	1136.948
				P4	0.34494	31.92	1138.698

SECCION 59							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
33.24	36.74	3.5	104.32	P1	0.20864	33.24	1138.489
				P2	0.20864	33.24	1136.739
				P3	0.20864	36.74	1136.739
				P4	0.20864	36.74	1138.489

SECCION 60							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
17.98	22.58	4.6	47.75	P1	0.0955	17.98	1138.393
				P2	0.0955	17.98	1136.643
				P3	0.0955	22.58	1136.643
				P4	0.0955	22.58	1138.393

SECCION 61							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
16.77	22.37	5.6	1.98	P1	0.00396	16.77	1138.390
				P2	0.00396	16.77	1136.640
				P3	0.00396	22.37	1136.640
				P4	0.00396	22.37	1138.390

SECCION 62							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
18.16	22.15	3.99	2.04	P1	0.00408	18.16	1138.385
				P2	0.00408	18.16	1136.635
				P3	0.00408	22.15	1136.635
				P4	0.00408	22.15	1138.385

SECCION 63							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
13.35	18.52	5.17	6.56	P1	0.01312	13.35	1138.372
				P2	0.01312	13.35	1136.622
				P3	0.01312	18.52	1136.622
				P4	0.01312	18.52	1138.372

SECCION 64							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
17.46	23.76	6.3	14.74	P1	0.2948	17.46	1140.228
				P2	0.2948	18.31	1136.328
				P3	0.2948	23.76	1136.328
				P4	0.2948	24.61	1140.228

SECCION 65							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
12.12	18.42	6.3	13.59	P1	0.2718	12.12	1139.956
				P2	0.2718	12.97	1136.056
				P3	0.2718	18.42	1136.056
				P4	0.2718	19.27	1139.956

SECCION 66							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
2.87	32.34	29.47	39.27	P1	0.7854	2.87	1139.170
				P2	0.7854	2.87	1135.270
				P3	0.7854	32.34	1135.270
				P4	0.7854	32.34	1139.170

SECCION 67							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
3.83	33.04	29.21	1.92	P1	2.9952	3.83	1136.175
				P2	2.9952	3.83	1132.275
				P3	2.9952	33.04	1132.275
				P4	2.9952	33.04	1136.175

SECCION 68							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
5.94	22.88	16.94	6.96	P1	0.1392	5.94	1136.036
				P2	0.1392	5.94	1132.136
				P3	0.1392	22.88	1132.136
				P4	0.1392	22.88	1136.036

SECCION 69							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
10.53	16.01	5.48	8.92	P1	0.1784	10.53	1135.858
				P2	0.1784	10.53	1131.958
				P3	0.1784	16.01	1131.958
				P4	0.1784	16.01	1135.858

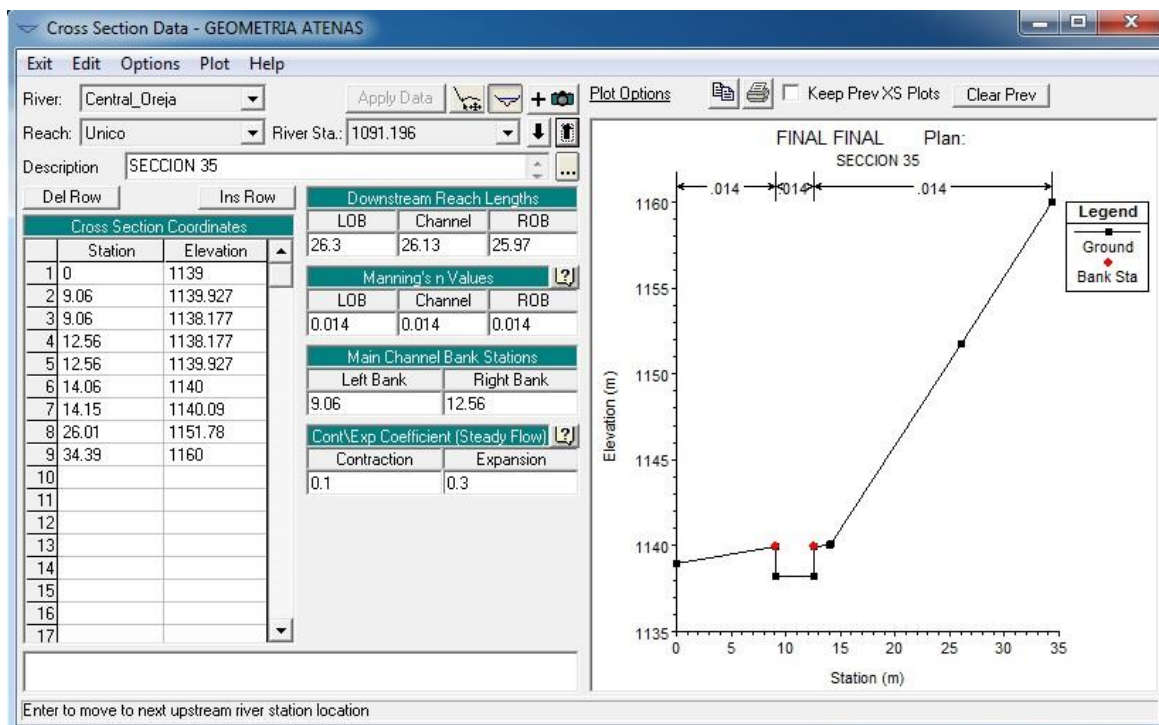
SECCION 70							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
2.46	6.54	4.08	3.74	P1	0.0748	2.46	1135.783
				P2	0.0748	2.46	1131.883
				P3	0.0748	6.54	1131.883
				P4	0.0748	6.54	1135.783

SECCION 71							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
0	3.61	3.61	5.76	P1	0.1152	0	1135.668
				P2	0.1152	0	1131.768
				P3	0.1152	3.61	1131.768
				P4	0.1152	3.61	1135.668

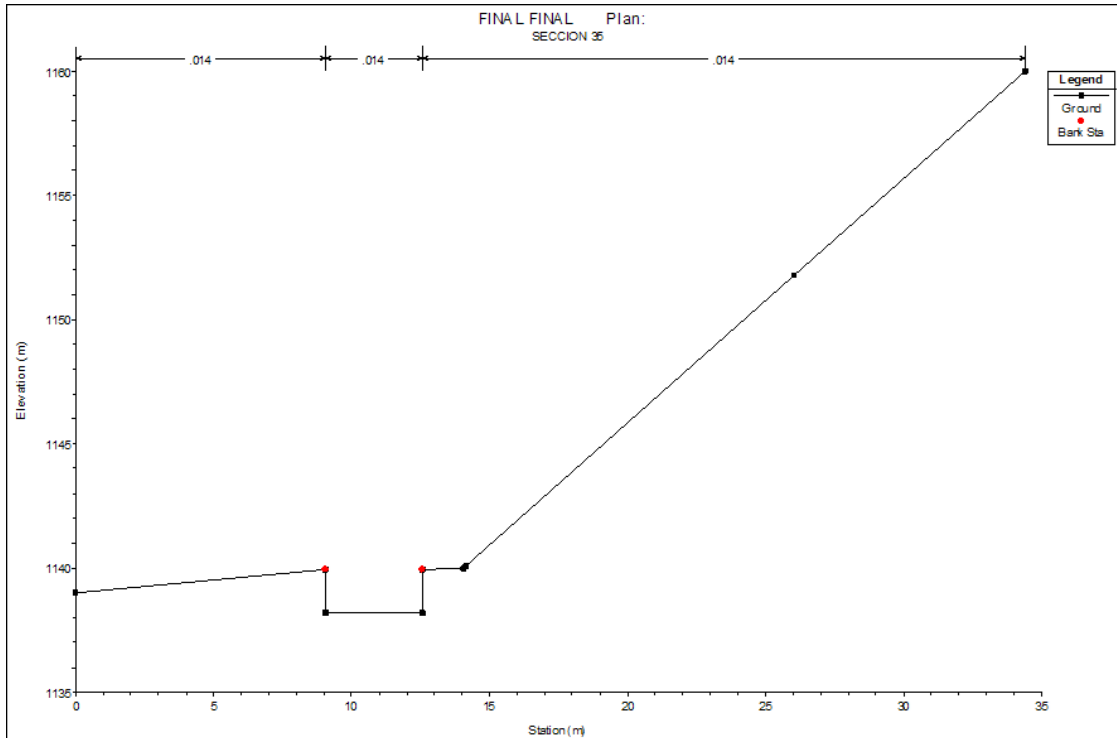
SECCION 72							
Bank Lines Distance			Cross Section Distance	Points Table			
Left Bank	Right Bank	Bank Width		Name	$\Delta Y$	X	Y
10.25	19.39	9.14	7.53	P1	0.2259	10.25	1145.442
				P2	0.2259	10.25	1131.542
				P3	0.2259	19.39	1131.542
				P4	0.2259	19.39	1145.442

**Fuente : Excel**  
**Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines**

Dentro de la ventana de Geometría en el Hec – Ras existe el botón Cross Section que permite el ingreso de los datos de las tablas anteriores que especifican la geometría de las 73 secciones transversales. A continuación se muestra un ejemplo.



**Fuente :** Hec- Ras  
**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines



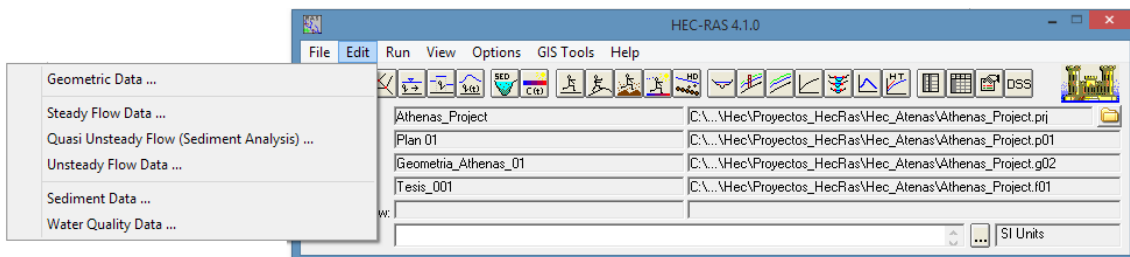
Fuente : Hec- Ras

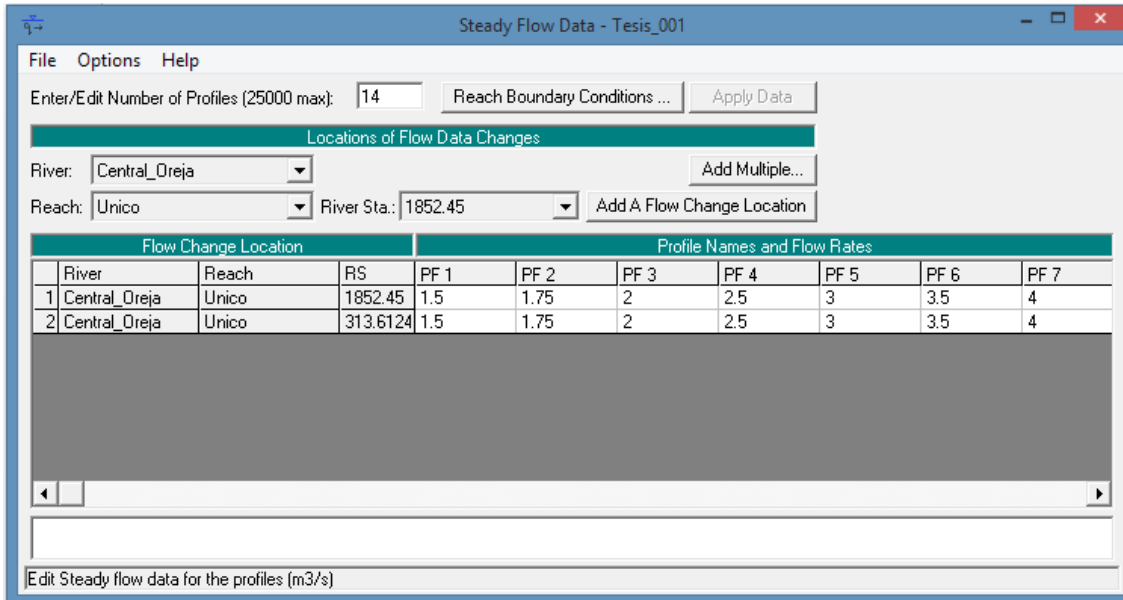
Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Con esto termina el ingreso de información geométrica del proyecto.

### Datos de Flujo y Condiciones de Borde

Posteriormente y una vez ingresada toda la información geométrica de debe definir el tipo de flujo que tiene el proyecto en estudio, el programa Hec – Ras lo asume como flujo permanente en todos sus cálculos, además permite ingresar el caudal o caudales que fluirán por el proyecto.





**Fuente :** Hec- Ras

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

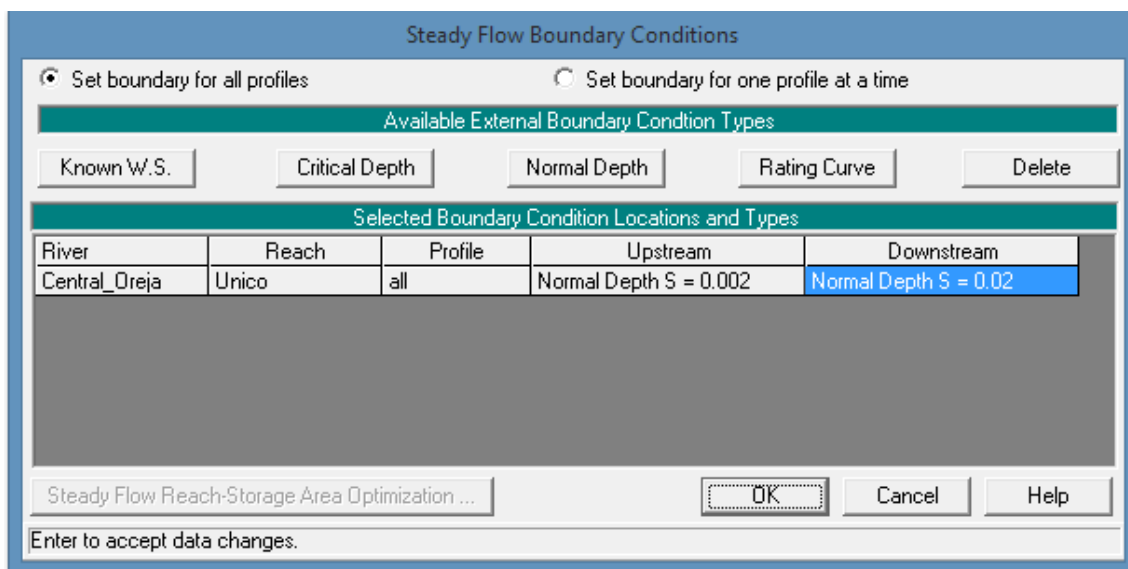
Adicionalmente es necesario ingresar las condiciones de borde que rigen las características del flujo en estudio, el programa según el tipo de análisis que se requiera precisa del ingreso de condiciones de borde aguas arriba (flujo supercrítico), aguas abajo (flujo Subcrítico) o ambas (Análisis Subcrítico y supercrítico).

Las condiciones de borde que permite definir el programa son:

- Superficie del agua conocida
- Profundidad Critica
- Profundidad Normal
- Curva de descarga

En nuestro proyecto en particular se requiere un análisis completo del flujo es decir tanto subcrítico como supercrítico ya que existe cambios de energía a través de las distintas estructuras hidráulicas por lo que se ingresó condiciones de borde tanto aguas arriba como aguas abajo, las condiciones de borde ingresadas fueron:

- Pendiente longitudinal conducción =  $2/1000 = 0.002$  (Tramo Captación – Conducción)
- Pendiente longitudinal Desarenador =  $2/100 = 0.02$  ( Desarenador)



**Fuente :** Hec- Ras

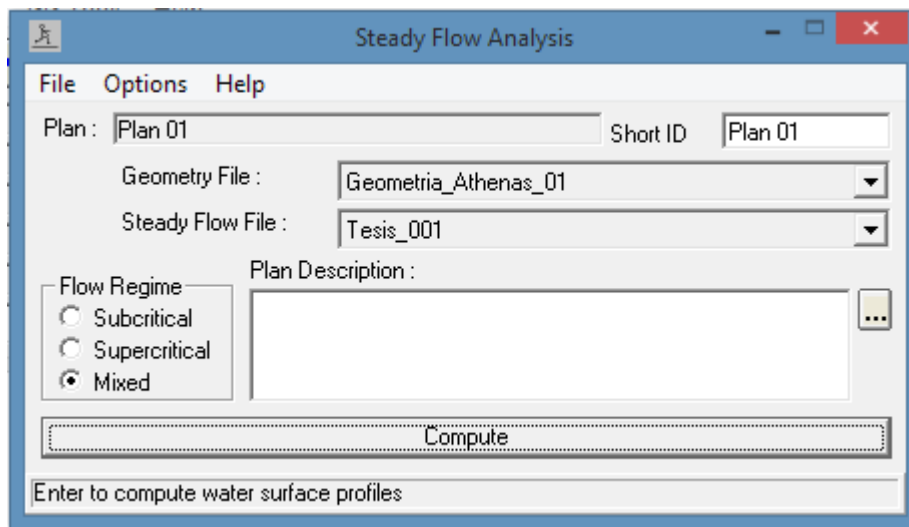
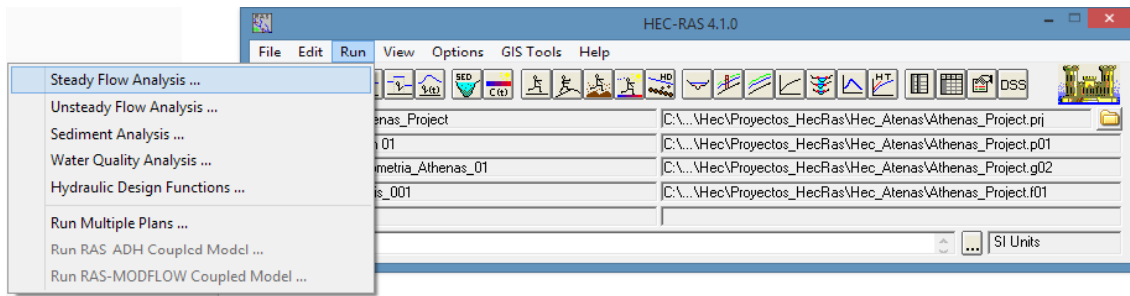
**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Con esto se finaliza el ingreso de los datos necesarios para poder realizar los cálculos dentro del programa.

### 4.2.2.3 RESULTADOS (HEC - RAS VS DISEÑO MANUAL)

#### 4.2.2.3.1 VISUALIZACIÓN RESULTADOS HEC - RAS

Finalizada la etapa de ingreso de los datos en el programa Hec – Ras se procede a realizar los cálculos correspondientes dentro de este, para esto en el menú principal de la barra de herramientas del Hec se encuentra la opción Run que permite procesar los datos y arroja los resultados del comportamiento hidráulico del proyecto.



Fuente : Hec- Ras  
Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Al hacer clic en la opción compute se realizan todos los cálculos de nuestro proyecto, para visualizar los resultados el Hec genera tablas en donde se muestra el comportamiento hidráulico del flujo en las 73 secciones trazados a lo largo del proyecto. A continuación se presenta dicha tabla.

Reach	River Station	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m)	Vel Chnl (m)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude #
Unico	1852.45	PF14	7.5	1140	1140.89	1140.9	0.000034	0.5	14.93	16.8	0.17
Unico	1848.846	PF14	7.5	1139.69	1140.89	1140.9	0.000021	0.47	16.12	13.47	0.14
Unico	1845.838	PF14	7.5	1139.69	1140.88	1140.9	0.00009	0.66	11.4	9.58	0.19
Unico	1843.838	PF14	7.5	1139.68	1140.86	1140.9	0.000164	0.85	8.82	7.49	0.25
Unico	1840.838	PF14	7.5	1139.68	1140.82	1140.89	0.000399	1.23	6.11	5.36	0.37
Unico	1838.838	PF14	7.5	1139.67	1140.76	1140.89	0.000731	1.56	4.79	4.4	0.48
Unico	1836.413	PF14	7.5	1139.67	1140.6	1140.87	0.001997	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1833.123	PF14	7.5	1139.66	1140.6	1140.86	0.001994	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1830.766	PF14	7.5	1139.66	1140.59	1140.86	0.002002	2.3	3.27	3.5	0.76
Unico	1827.523	PF14	7.5	1139.65	1140.58	1140.85	0.001998	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1826.372	PF14	7.5	1139.65	1140.58	1140.85	0.002	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1820.457	PF14	7.5	1139.64	1140.57	1140.84	0.002	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1691.525	PF14	7.5	1139.38	1140.31	1140.58	0.001999	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1577.64	PF14	7.5	1139.15	1140.09	1140.35	0.001993	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1538.295	PF14	7.5	1139.07	1140.01	1140.27	0.001999	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1521.162	PF14	7.5	1139.04	1139.97	1140.24	0.001993	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1480.924	PF14	7.5	1138.96	1139.89	1140.16	0.001998	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1465.829	PF14	7.5	1138.93	1139.86	1140.13	0.001998	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1432.441	PF14	7.5	1138.86	1139.79	1140.06	0.001996	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1411.573	PF14	7.5	1138.82	1139.75	1140.02	0.001995	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1388.597	PF14	7.5	1138.77	1139.71	1139.97	0.001992	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1376.856	PF14	7.5	1138.75	1139.68	1139.95	0.001997	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1368.999	PF14	7.5	1138.73	1139.67	1139.94	0.001997	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1337.446	PF14	7.5	1138.67	1139.6	1139.87	0.001996	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1314	PF14	7.5	1138.62	1139.56	1139.83	0.001995	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1303.274	PF14	7.5	1138.6	1139.54	1139.8	0.001999	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1293.84	PF14	7.5	1138.58	1139.52	1139.79	0.001999	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1284.12	PF14	7.5	1138.56	1139.5	1139.77	0.001994	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1259.285	PF14	7.5	1138.51	1139.45	1139.72	0.001999	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1242.529	PF14	7.5	1138.48	1139.41	1139.68	0.001997	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1198.347	PF14	7.5	1138.39	1139.33	1139.59	0.001999	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1177.962	PF14	7.5	1138.35	1139.29	1139.55	0.001997	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1165.177	PF14	7.5	1138.33	1139.26	1139.53	0.001994	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1155.067	PF14	7.5	1138.31	1139.24	1139.51	0.001997	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1105.187	PF14	7.5	1138.21	1139.14	1139.41	0.001992	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1091.196	PF14	7.5	1138.18	1139.11	1139.38	0.001993	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1065.065	PF14	7.5	1138.13	1139.06	1139.33	0.001993	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1024.049	PF14	7.5	1138.04	1138.98	1139.25	0.001991	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1015.901	PF14	7.5	1138.03	1138.96	1139.23	0.001971	2.28	3.29	3.51	0.75
Unico	990.4043	PF14	7.5	1137.98	1138.91	1139.18	0.001993	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	973.7203	PF14	7.5	1137.94	1138.88	1139.15	0.001997	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	958.1347	PF14	7.5	1137.91	1138.85	1139.11	0.001991	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	955.7589	PF14	7.5	1137.91	1138.84	1139.11	0.001999	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	930.757	PF14	7.5	1137.86	1138.79	1139.06	0.001998	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	915.5806	PF14	7.5	1137.83	1138.76	1139.03	0.001993	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	889.6162	PF14	7.5	1137.77	1138.71	1138.98	0.00199	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	868.5518	PF14	7.5	1137.73	1138.67	1138.94	0.001992	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	847.4294	PF14	7.5	1137.69	1138.63	1138.89	0.001993	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	827.1361	PF14	7.5	1137.65	1138.59	1138.85	0.001988	2.29	3.28	3.5	0.76
Unico	817.1006	PF14	7.5	1137.63	1138.57	1138.83	0.001989	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	805.9065	PF14	7.5	1137.61	1138.54	1138.81	0.001992	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	795.1116	PF14	7.5	1137.59	1138.52	1138.79	0.001987	2.29	3.28	3.5	0.76
Unico	760.6553	PF14	7.5	1137.52	1138.45	1138.72	0.001984	2.29	3.28	3.5	0.75
Unico	741.6534	PF14	7.5	1137.48	1138.42	1138.68	0.001982	2.29	3.28	3.5	0.75
Unico	727.6639	PF14	7.5	1137.45	1138.39	1138.65	0.001979	2.29	3.28	3.5	0.75
Unico	714.3964	PF14	7.5	1137.42	1138.36	1138.63	0.001983	2.29	3.28	3.5	0.75
Unico	700.86	PF14	7.5	1137.4	1138.33	1138.6	0.001981	2.29	3.28	3.5	0.75
Unico	648.7405	PF14	7.5	1137.29	1138.23	1138.5	0.001975	2.28	3.28	3.5	0.75
Unico	476.2643	PF14	7.5	1136.95	1137.92	1138.17	0.001773	2.2	3.41	3.5	0.71
Unico	371.9476	PF14	7.5	1136.74	1137.51	1137.9	0.003438	2.77	2.71	3.5	1
Unico	324.197	PF14	7.5	1136.64	1137.6	1137.75	0.000955	1.7	4.41	4.6	0.55
Unico	322.2137	PF14	7.5	1136.64	1137.64	1137.73	0.00053	1.34	5.6	5.6	0.43
Unico	320.172	PF14	7.5	1136.64	1137.34	1137.7	0.003275	2.65	2.83	3.99	1.01
Unico	313.6124	PF14	7.5	1136.62	1137.05	1137.64	0.008834	3.42	2.19	5.17	1.68
Unico	298.8691	PF14	7.5	1136.33	1136.67	1137.47	0.013567	3.95	1.91	5.6	2.15
Unico	285.2745	PF14	7.5	1136.06	1136.39	1137.26	0.015895	4.14	1.82	5.59	2.31
Unico	246.0064	PF14	7.5	1135.27	1135.34	1135.98	0.08273	3.54	2.12	29.47	4.22
Unico	244.0839	PF14	7.5	1132.28	1132.97	1132.98	0.000046	0.37	20.27	29.21	0.14
Unico	237.1207	PF14	7.5	1132.14	1132.96	1132.98	0.000083	0.54	13.96	16.94	0.19
Unico	228.2043	PF14	7.5	1131.96	1132.84	1132.96	0.000811	1.55	4.83	5.48	0.53
Unico	224.4628	PF14	7.5	1131.88	1132.58	1132.93	0.003252	2.63	2.85	4.08	1.01
Unico	218.7041	PF14	7.5	1131.77	1132.5	1132.91	0.00374	2.83	2.65	3.61	1.05
Unico	211.1737	PF14	7.5	1131.54	1131.72	1132.78	0.042022	4.55	1.65	9.14	3.42

Fuente : Hec- Ras

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

#### 4.2.2.3.2 ANÁLISIS RESULTADOS CÁLCULO MANUAL VS HEC RAS

Con los resultados obtenidos en la tabla anterior se puede realizar una comparación entre el comportamiento hidráulico ideal que se obtuvo en el cálculo manual y los resultados del Hec-Ras. Los componentes diseñados manualmente fueron la captación, conducción y desarenador. A continuación se presenta un análisis de resultados en cada uno de los componentes diseñados.

#### CAPTACIÓN

El programa Hec- Ras no permite realizar comprobación de las dimensiones de la rejilla, desripiador y vertedero pero si nos permite observar el comportamiento de dichas estructuras mediante la altura de energía para así medir su eficiencia.

**Tabla Resultados Captación (Hec-Ras)**

Reach	River Station	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m)	Vel Chnl (m)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Unico	1852.45	PF14	7.5	1140	1140.89	1140.9	0.000034	0.5	14.93	16.8	0.17
Unico	1848.846	PF14	7.5	1139.69	1140.89	1140.9	0.000021	0.47	16.12	13.47	0.14
Unico	1845.838	PF14	7.5	1139.69	1140.88	1140.9	0.00009	0.66	11.4	9.58	0.19
Unico	1843.838	PF14	7.5	1139.68	1140.86	1140.9	0.000164	0.85	8.82	7.49	0.25
Unico	1840.838	PF14	7.5	1139.68	1140.82	1140.89	0.000399	1.23	6.11	5.36	0.37
Unico	1838.838	PF14	7.5	1139.67	1140.76	1140.89	0.000731	1.56	4.79	4.4	0.48

**Fuente :** Hec- Ras

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Como se observa el Número de Froude en todo el desripiador es menor a 1 por lo tanto el Flujo siempre es subcrítico lo que asegura la estabilidad del flujo dentro de esta estructura; como consecuencia no existirá problemas de turbulencias, resaltos hidráulicos ni de erosión dentro de misma.

El desripador cuenta con una transición que permite pasar del ancho de la captación 10.30m al ancho del canal de conducción 3.50m, el objetivo de esta obra es de evitar pérdidas de energía excesivas, este objetivo se consigue claramente al observar la columna de la altura de energía en la tabla anterior donde se observa pérdidas de energía mínimas, lo que comprueba la eficiencia del diseño manual realizado.

## CONDUCCIÓN

La conducción propuesta en el diseño manual es un canal rectangular con las dimensiones y características que muestran en las tablas de abajo, el programa Hec- Ras nos permite comprobar si el comportamiento hidráulico ideal calculado es realmente cierto a través de una simulación hidráulica real del flujo. A continuación se muestran los resultados.

### HOJA EXCEL (DISEÑO MANUAL CONDUCCIÓN)

SECCIÓN RECTANGULAR		
<b>B(m)</b>	3.5	Ancho de la Solera
<b>T(m)</b>	3.5	Ancho superficial
<b>Yn(m)</b>	0.93	Profundidad Normal

### CUADRO DE RESULTADOS

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
<b>B (m)</b>	3.5	Ancho solera
<b>T (m)</b>	3.5	Ancho Superficial
<b>Y (m)</b>	0.93	Profundidad Agua
<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	3.26	Área
<b>P (m)</b>	5.36	Perímetro mojado
<b>R</b>	0.61	Rádío Hidráulico
<b>BL (m)</b>	0.8	Borde libre
<b>H (m)</b>	1.73	Altura Total (Yn +BL)
<b>K</b>	167.49	Conductividad

### CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO

<b>V (m/s)</b>	2.3
<b>Q (m3/s)</b>	7.5
<b>g (m/s2)</b>	9.81
<b>q (m)</b>	2.14
<b>Yc (m)</b>	0.78
<b>Vc (m/s)</b>	2.77
<b>FR</b>	0.761
<b>Tipo de Flujo</b>	<b>SUBCRÍTICO</b>

**Fuente :** Excel  
**Elaborado por:** Pablo Racines

### HEC – RAS (SECCIONES CONDUCCIÓN)

Reach	River Station	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m)	Vel Chnl (m)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Unico	1836.413	PF14	7.5	1139.67	1140.6	1140.87	0.001997	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1833.123	PF14	7.5	1139.66	1140.6	1140.86	0.001994	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1830.766	PF14	7.5	1139.66	1140.59	1140.86	0.002002	2.3	3.27	3.5	0.76
Unico	1827.523	PF14	7.5	1139.65	1140.58	1140.85	0.001998	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1826.372	PF14	7.5	1139.65	1140.58	1140.85	0.002	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1820.457	PF14	7.5	1139.64	1140.57	1140.84	0.002	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1691.525	PF14	7.5	1139.38	1140.31	1140.58	0.001999	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1577.64	PF14	7.5	1139.15	1140.09	1140.35	0.001993	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1538.295	PF14	7.5	1139.07	1140.01	1140.27	0.001999	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1521.162	PF14	7.5	1139.04	1139.97	1140.24	0.001993	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1480.924	PF14	7.5	1138.96	1139.89	1140.16	0.001998	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	1465.829	PF14	7.5	1138.93	1139.86	1140.13	0.001998	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	847.4294	PF14	7.5	1137.69	1138.63	1138.89	0.001993	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	827.1361	PF14	7.5	1137.65	1138.59	1138.85	0.001988	2.29	3.28	3.5	0.76
Unico	817.1006	PF14	7.5	1137.63	1138.57	1138.83	0.001989	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	805.9065	PF14	7.5	1137.61	1138.54	1138.81	0.001992	2.29	3.27	3.5	0.76
Unico	795.1116	PF14	7.5	1137.59	1138.52	1138.79	0.001987	2.29	3.28	3.5	0.76
Unico	760.6553	PF14	7.5	1137.52	1138.45	1138.72	0.001984	2.29	3.28	3.5	0.75
Unico	741.6534	PF14	7.5	1137.48	1138.42	1138.68	0.001982	2.29	3.28	3.5	0.75
Unico	727.6639	PF14	7.5	1137.45	1138.39	1138.65	0.001979	2.29	3.28	3.5	0.75

**Fuente :** Hec- Ras  
**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Se puede observar que el comportamiento hidráulico del flujo calculado manualmente coincide con el comportamiento calculado mediante el programa Hec – Ras. A continuación se presenta una matriz de los parámetros comparados que se los ha escogido debidamente porque estos son de gran importancia en la conducción.

MECANISMO DE CÁLCULO	PARÁMETROS COMPARADOS		
	ÁREAD DE FLUJO	VELOCIDAD	# FROUDE
MANUAL	3.26	2.3	0.761
HEC-RAS	3.27	2.29	0.76

**Fuente :** Excel  
**Elaborado por:** Pablo Racines

Los resultados prueban la eficiencia del diseño en donde el flujo es Subcrítico, la velocidad es suficiente para transportar sedimentos y no sobrepasa límites que pueden erosionar el canal.

## DESARENADOR

El programa Hec - Ras no permite comprobar las dimensiones del desarenador y fue simulado como un canal de conducción por lo que los resultados obtenidos no se apegan a la realidad en cuanto a parámetros como la velocidad y área.

Reach	River Station	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m)	Vel Chnl (m)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Unico	298.8691	PF14	7.5	1136.33	1136.67	1137.47	0.013567	3.95	1.91	5.6	2.15
Unico	285.2745	PF14	7.5	1136.06	1136.39	1137.26	0.015895	4.14	1.82	5.59	2.31
Unico	246.0064	PF14	7.5	1135.27	1135.34	1135.98	0.08273	3.54	2.12	29.47	4.22
Unico	244.0839	PF14	7.5	1132.28	1132.97	1132.98	0.000046	0.37	20.27	29.21	0.14
Unico	237.1207	PF14	7.5	1132.14	1132.96	1132.98	0.000083	0.54	13.96	16.94	0.19
Unico	228.2043	PF14	7.5	1131.96	1132.84	1132.96	0.000811	1.55	4.83	5.48	0.53
Unico	224.4628	PF14	7.5	1131.88	1132.58	1132.93	0.003252	2.63	2.85	4.08	1.01

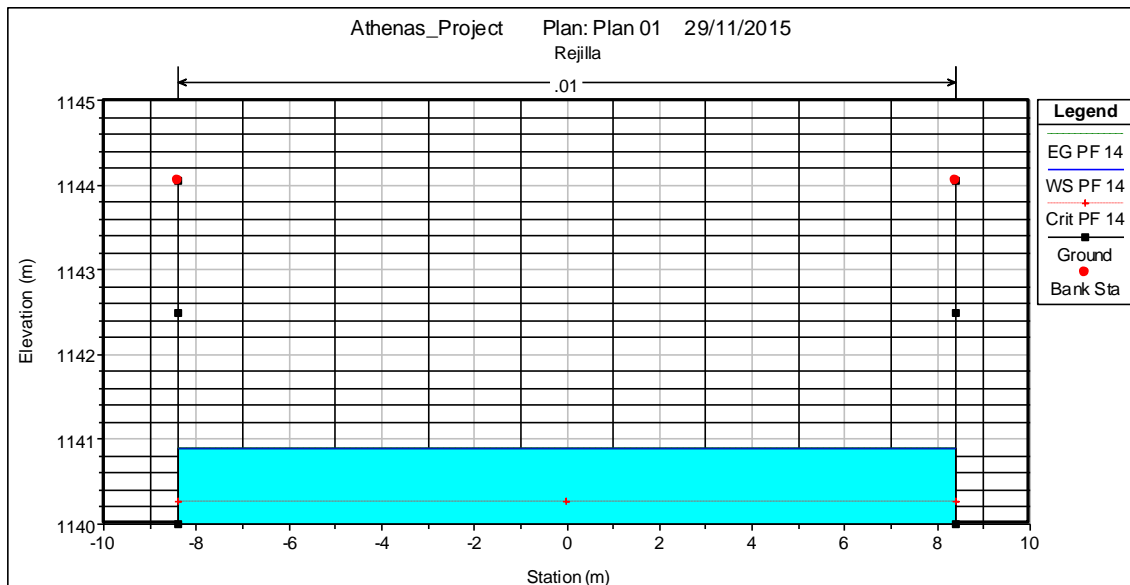
**Fuente :** Hec- Ras  
**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

### 4.2.2.3.3 SIMULACIÓN HIDRÁULICA

Adicionalmente el programa Hec-Ras puede realizar una simulación tanto en dos dimensiones como en tres dimensiones del flujo del agua. Esta herramienta permite visualizar de manera más real como se comporta el agua en las estructuras a flujo libre. A manera didáctica a continuación se presenta gráficos de la simulación del proyecto en estudio.

#### 4.2.2.3.3.1 CAPTACIÓN

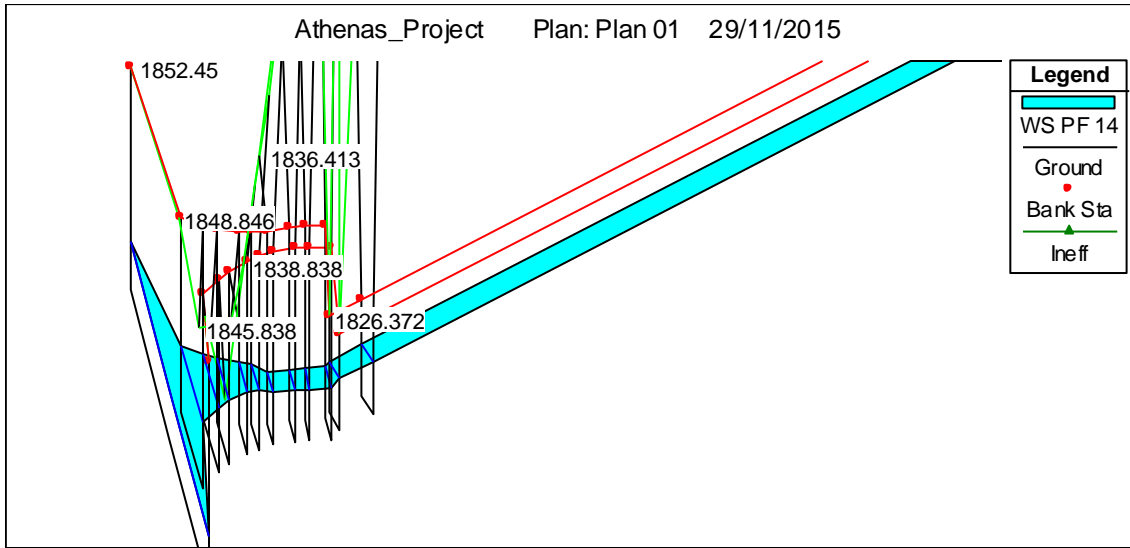
2D



Fuente : Hec- Ras

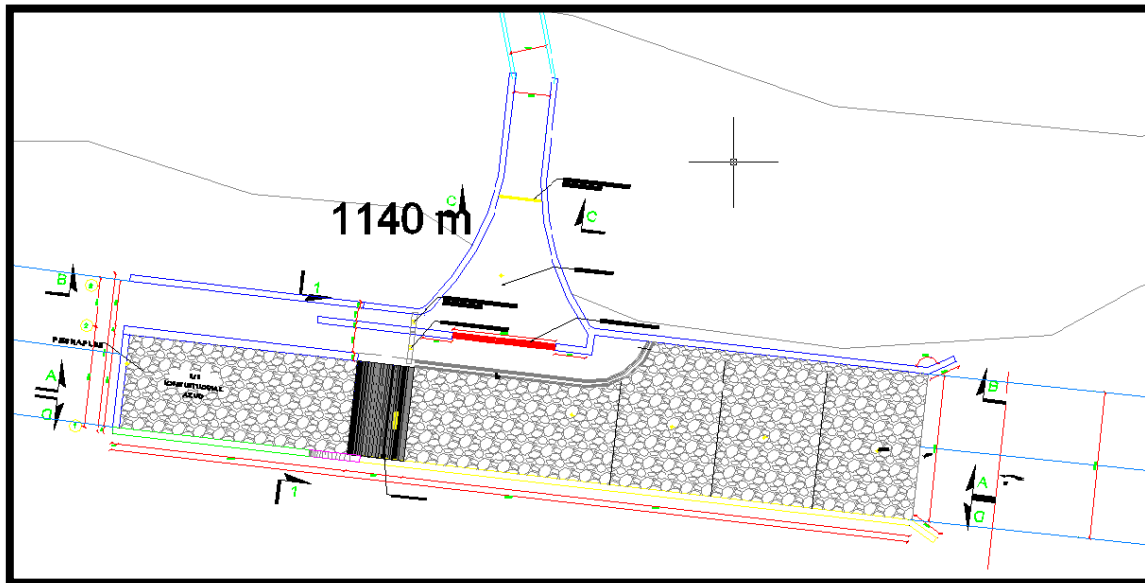
Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

3D



Fuente : Hec- Ras  
 Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

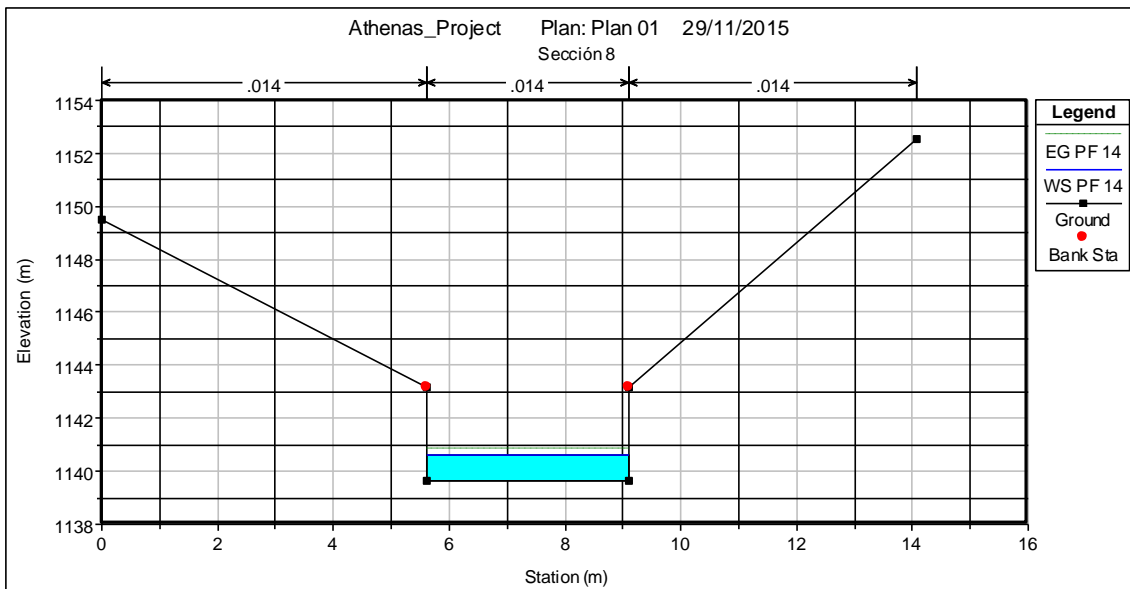
PLANTA



Fuente : Hec- Ras  
 Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

### 4.2.2.3.3.2 CONDUCCIÓN

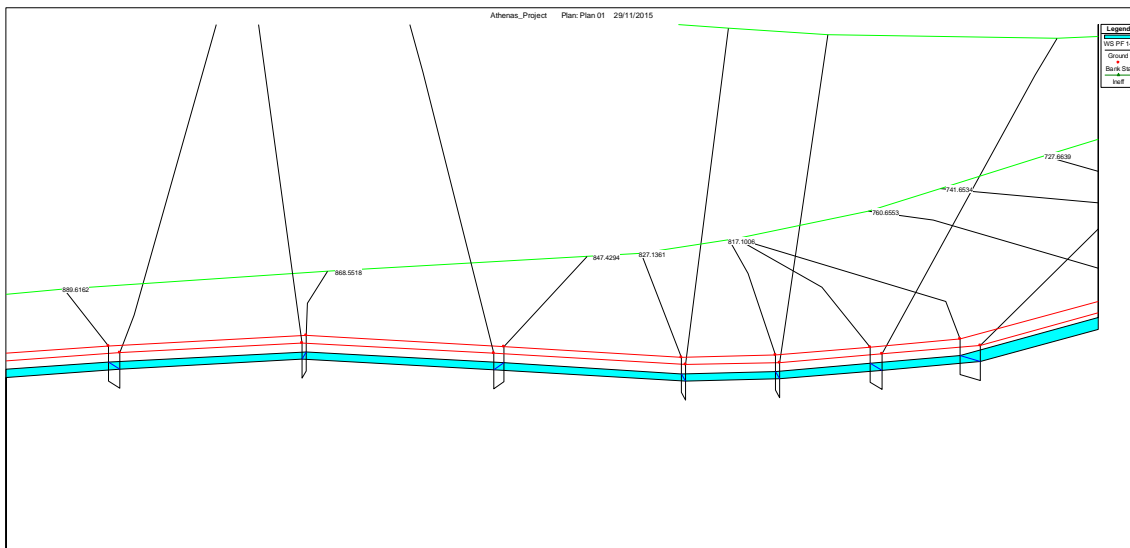
2D



Fuente : Hec- Ras

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

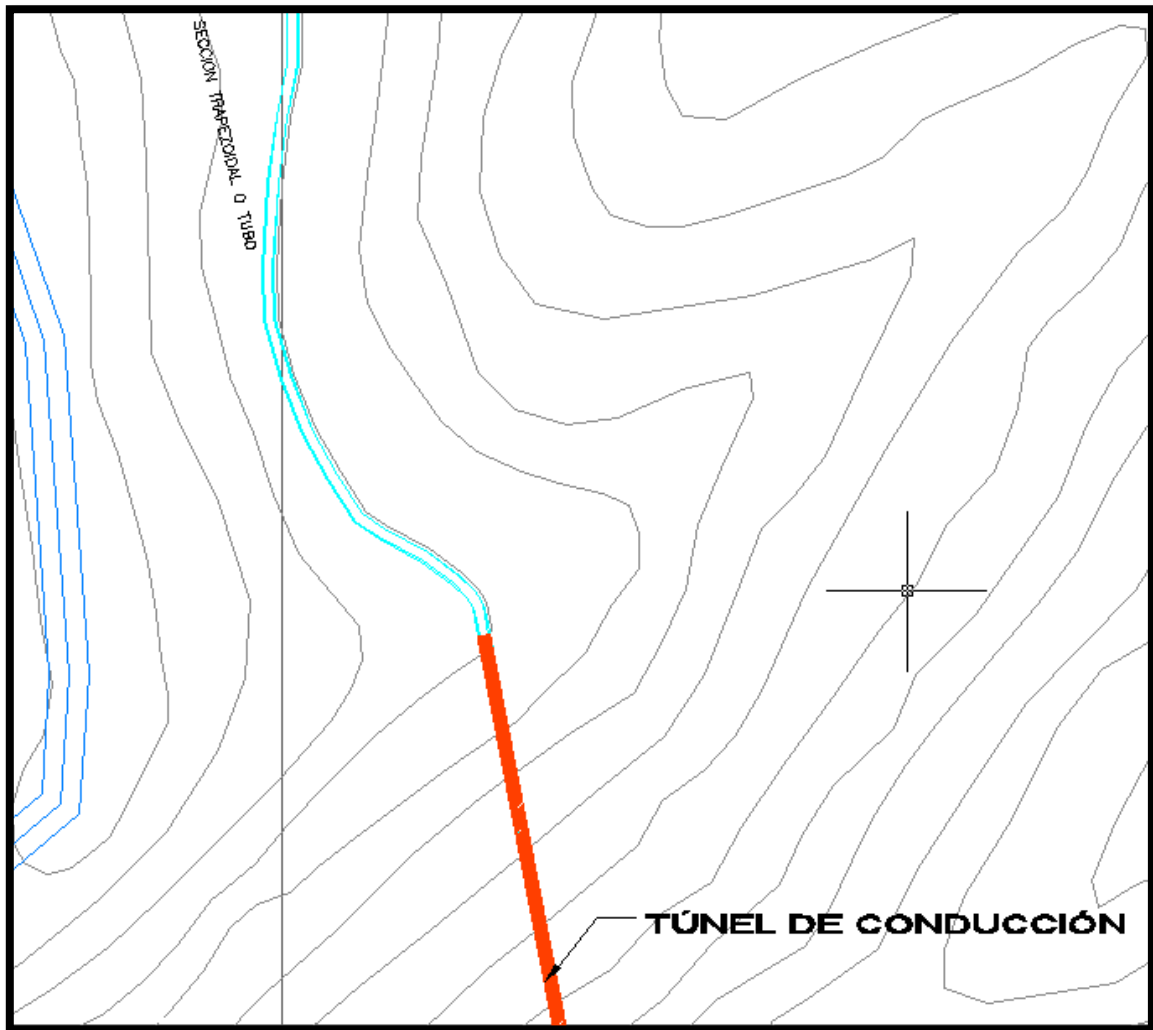
3D



Fuente : Hec- Ras

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

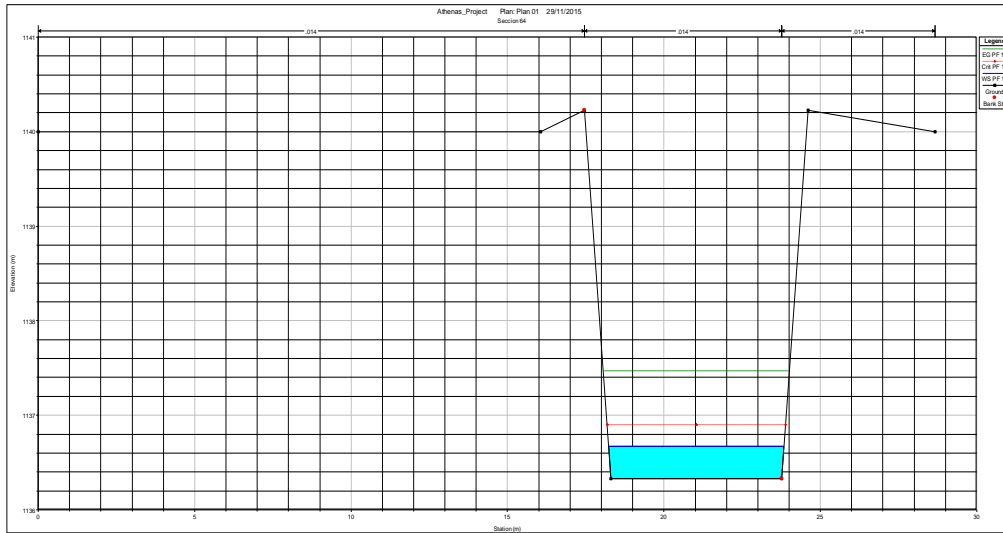
# PLANTA



Fuente : Hec- Ras  
Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

# DESARENADOR

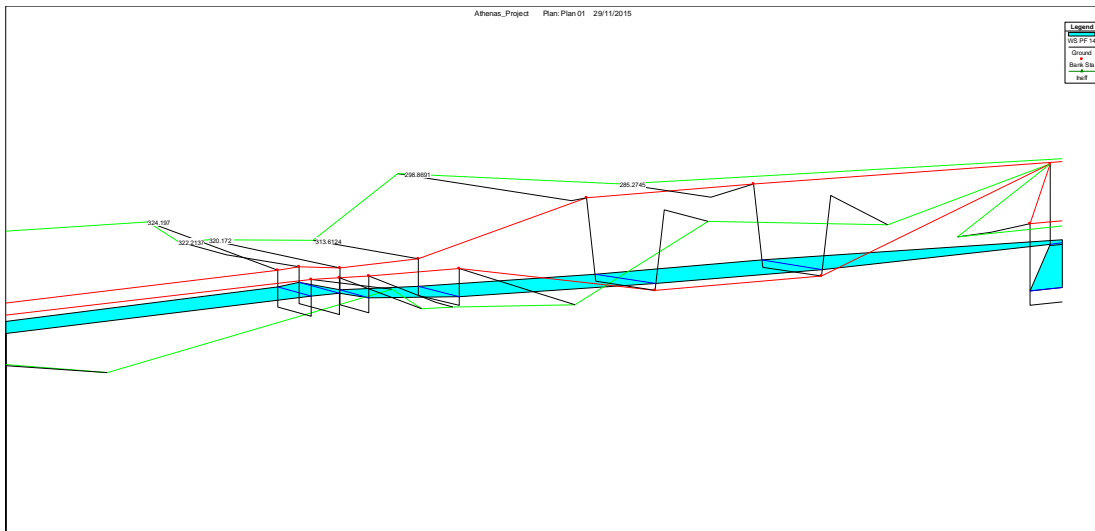
## 2D



Fuente : Hec- Ras

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

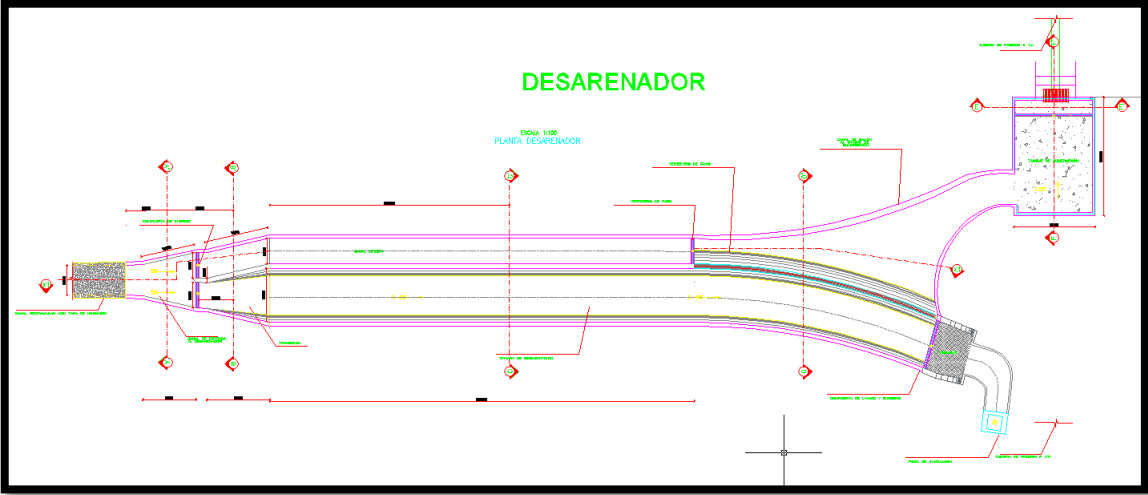
## 3D



Fuente : Hec- Ras

Elaborado por: Alejandro Cabrera y Pablo Racines

PLANTA



## 5 COSTOS DE ESTUDIO DE CONSULTORIA

### 5.1 PRESUPUESTO CONSULTORÍA (SOFTWARE OFICIAL)

Se realizó un presupuesto general del proyecto contemplando gastos de ingeniería de administración cuyo desglose se presenta a continuación, el monto de inversión es aproximado.

#### PROYECTO HIDROELECTRICO ATENAS

##### PRESUPUESTO GENERAL

De acuerdo al tamaño del presente proyecto y basándonos en la recomendación de Celec y en presupuestos de centrales similares a esta; se ha considerado 3000 dólares por kW instalado con lo que se ha calculado un presupuesto aproximado.

**INVERSION:** **16 000 000 \$**

**Tabla 32: Presupuesto general proyecto Atenas**

DESCRIPCIÓN	%	SUBTOTAL
OBRA CIVIL	62.20%	9 952 000 \$
EQUIPOS (MEC-ELECT.)	37.80%	6 048 000 \$
COSTO DIRECTO	100.00%	16 000 000 \$
I.V.A	12%	1 920 000 \$
<b>INVERSION TOTAL DEL PROYECTO</b>		<b>16 920 000 \$</b>

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

Basándonos en las recomendaciones del Celec se ha definido el costo de los estudios de pre factibilidad como el 2% del valor la obra.

CONCEPTO	COSTO % *	ERROR %
IDENTIFICACIÓN	1.00% - 1.50%	15 - 20
PREFACTIBILIDAD	1.50% - 2.00%	10 - 15
FACTIBILIDAD	1.50% - 2.00%	5 - 10
DISEÑO	2.00% - 3.00%	2 - 5
CONSTRUCCIÓN	2.50% - 3.00%	2
FISCALIZACIÓN	3.5 % - 8%	

Por lo que el valor de los estudios de pre factibilidad alcanza un valor de 199 040 \$. A continuación se presenta una matriz con el desglose de este valor.

**Tabla 33: Desglose Presupuesto proyecto Atenas**

OFICINA			
COD.	DESCRIPCIÓN	%	SUBTOTAL
I	GASTOS TECNICOS Y ADMINISTRATIVOS	10%	19 904 \$
II	DEPRECIACIÓN MANTENIMIENTO Y RENTAS	3%	5971.20 \$
III	CONSULTORÍA Y ASESORÍA	70%	139 328.0 \$
IV	FLETES Y ACARREOS	2%	3980.80 \$
V	GASTOS DE OFICINA Y CAMPO	5%	9952.0 \$
VI	CAPACITACIÓN Y ADIESTRAMIENTO	3%	5971.20 \$
VII	SEGURIDAD E HIGIENE	2%	3980.80 \$
VIII	SEGUROS Y FIANZAS	5%	9952.0 \$

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

El análisis de precios indica que el rubro más importante del presupuesto es el de la consultoría y asesoría mismo que tiene su raíz en la elaboración de los diseños de pre factibilidad y el gasto que implica tanto en adquisición de información, tiempo del personal y adquisición de software.

Para determinar qué porcentaje del rubro ya mencionado representa la adquisición de software original se presenta a continuación los costos de los mismos.

- RiverNET (MODELACIÓN Y SIMULACIÓN HIDRÁULICA)



Precio: \$ 4 585.00

- WaterPack (DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN UNA ESTRUCTURA)



Precio: \$1 190.00

Contemplando el costo de estas licencias informáticas tenemos el siguiente presupuesto de consultoría.

**Tabla 34: Desglose Rubro Consultoría y Asesoría**

CONSULTORÍA Y ASESORÍA				
MONTO:		139 328 \$		
COD.	DESCRIPCIÓN		%	SUBTOTAL
I	ESTUDIOS	GEOLOGÍA	18%	25 079.00 \$
II		HIDROLOGÍA	14.86 %	20 704.1 \$
III		METEOROLOGÍA	7%	9752.96 \$
IV		TOPOGRAFÍA	12%	16 719.4 \$
V	DISEÑO	INGENIERÍA	40%	55 731.2 \$
VI		DIBUJO	4%	5573.12 \$
VII		ADQUISIÓN DE LICENCIAS COMPUTACIONALES		
VIII		River NET	3.29 %	4,585.11 \$
IX		WaterPack	0.85 %	1,190.04 \$
<b>TOTAL (usd):</b>			100.0	29669.400

**Elaborado por:** Alejandro Cabrera y Pablo Racines

## 5.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE CONSULTORIA

Como podemos apreciar en los resultados a primera vista el ahorro que representaría el uso de software libre dentro del rubro más importante del presupuesto de los estudios de pre factibilidad alcanza un valor del 4.14% que significa un ahorro de 5768.18 \$ al parecer es un valor mínimo, pero no lo es ya que al comparar el tiempo invertido por el personal (diseñadores) al realizar los cálculos manuales, con el tiempo al hacerlo con los programas este se redujo drásticamente lo que al final se traduciría en una importante reducción de costos.

## CONCLUSIONES

- La confiabilidad de los resultados obtenidos con los programas es del 99.99% ya que la diferencia con aquellos obtenidos con el cálculo manual es de décimas
- La utilización de software libre representa una ventaja económica que a primera vista no se ve siendo de apenas el 4.14% del rubro consultoría y asesoría que es el más fuerte dentro de los estudios de pre factibilidad, pero se determinó que el tiempo empleado en realizar los diseños se redujo sustancialmente al utilizar software libre lo que a la postre se traduciría en una reducción importante en el costo final de los estudios.
- La utilización de un software como el Hec- Ras permite al diseñador manejar gran cantidad de información con resultados casi instantáneos ahorrando tiempo.
- La exactitud de los resultados en la simulación es directamente proporcional al detalle que el modelador le dé a su modelo, ya que este decide cuantas secciones transversales son necesarias para obtener una representación real de las estructuras hidráulicas diseñadas
- Se observó que existe la opción de obtener mayor detalle en modelo utilizando la extensión Hec Geo Ras que funciona en el Arcgis pero este tiene costo alto de licencia por lo que no se lo realizó.
- El Hec- Ras permite observar de manera real el comportamiento hidráulico del agua dentro de las estructuras diseñadas y es una herramienta poderosa que brinda información detallada de cada sección construida.

- El H-Canales es un programa que brinda resultados rápidos pero es una herramienta limitada ya que solo se puede realizar cálculos de una sección a la vez.

## RECOMENDACIONES

- Realizar un levantamiento topográfico s detalle para la etapa de estudios definitivos, para de esta manera poder implantar las obras con mayor exactitud.
- Ser minucioso en el ingreso de datos al programa Hec-Ras ya que se puede incurrir en grandes errores.
- Modelar el desarenador aislado del proyecto ya que al hacerlo conjuntamente con las otras estructuras el programa asume que es una conducción y los resultados no se apegan a la realidad.
- Hacer la modelación total del proyecto hidroeléctrico Atenas en el programa Hec-Ras (Rio Zarapullo + Central Atenas) para obtener el comportamiento hidráulico global de todo el proyecto
- Estudiar la posibilidad de incrementar el valor del caudal de diseño ya que a través de medidas de caudales in situ, ya que se observó que se puede obtener mayor beneficio en cuanto a la Energía que el proyecto puede producir.

## BIBLIOGRAFIA

### LIBROS Y REVISTAS

- Instituto Ecuatoriano de Electricidad; “Glosario de terminología eléctrica para las empresas de electrificación”, 1974, Quito – Ecuador;
- Krochin, S.; “Diseño Hidráulico”; EPN, 1978, Quito – Ecuador;
- Ortiz, R.; “Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Construcción Paso a Paso”; Ediciones de la U; 2011, Bogotá – Colombia;
- Perez V.; “Diseño hidráulico de bocatomas”; Instituto Nacional de la Construcción y la Gerencia, 1999, Lima – Perú;
- Chow, V.T.; “ Hidráulica de canales abiertos”; McGraw – Hill, 2004, Santafé de Bogotá;
- Alstom; “Hydropower Solutions”; [www.alstom.com](http://www.alstom.com), 2010
- Sehgal, C.K., Saxena H.; “Recomendation for the design of intakes trashtacks”; Hydropower & Dams, 2005, Zurich – Suiza;
- Elc Electroconsult; “Itaipu Hydropower Project in the Parana river”; Electroconsult, 1988, Milano – Italia;
- Coz F., Sánchez T.; “Manual de Mini y Micro centrales hidráulicas”; Intermediaty Technology Development Group, 1995, Lima – Perú;
- Moric P.; “Optimizing Desanding facilities for hydro plans”; Hydropower & Dams, 1996, Zurich – Suiza;
- Henry P.; “Turbomachines Hydrauliques”; Presses polytechniques et universitaires romandes, 1992, Lausanne – Suiza;

- Bureau of reclamation; “Design of small dams”; United States Department of the Interior, 1987, Washington DC – Estados Unidos de América;
- U.S. Army Corps of Engineers; “Planning and design of hydroelectric power plant structures”; Department of the Army, 1995, Washington DC – Estados Unidos de América;
- Va Tech Hydro; Publicidad de productos Andritz; Viena – Austria;
- Villón M.; Programa computarizado HCANALES Versión 3.0; Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago – Costa Rica;
- Domínguez F.; “Hidráulica”; Sexta Edición; Editorial Universitaria, 1999, Santiago de Chile – Chile.
- Fennell M.; “The science of Electricity: Hydropower, Basic Concepts”; Making America Great, 2011
- Davis S.; “Microhydro: Clean power from water”; New Society Publishers, 2005, Gabriola Island – Canada;
- Fennell M.; “Turbines for Hydropower”; Making America Great, 2011
- Davis S.; “Serious microhydro: Water power solutions for the expert”; New Society Publishers, 2010, Gabriola Island – Canada;
- Echeverria J., Barrow P.; “River at risk: The concerned citizen’s guide to hydropower”; American Rivers, 1989, Washington DC – Estados Unidos de América;
- Bureau of reclamation; “21st Century Pocket guide to hydropower”; United States Department of the Interior, 2010, Washington DC – Estados Unidos de América;

# ANEXOS

## ANEXO 1: Proyectos Hidroeléctricos potencia Instalable entre 1 y 10 MW



**ANEXO 2: Topografía**



**ANEXO 3: SUELO TOBACEO EN LAS PENDIENTES DE LA CUENCA DEL RIO ZARAPULLO**



**ANEXO 4: NUBOSIDAD EN LA CUENCA DEL RIO ZARAPULLO**



## ANEXO 5: Registro de Caudales Anuales

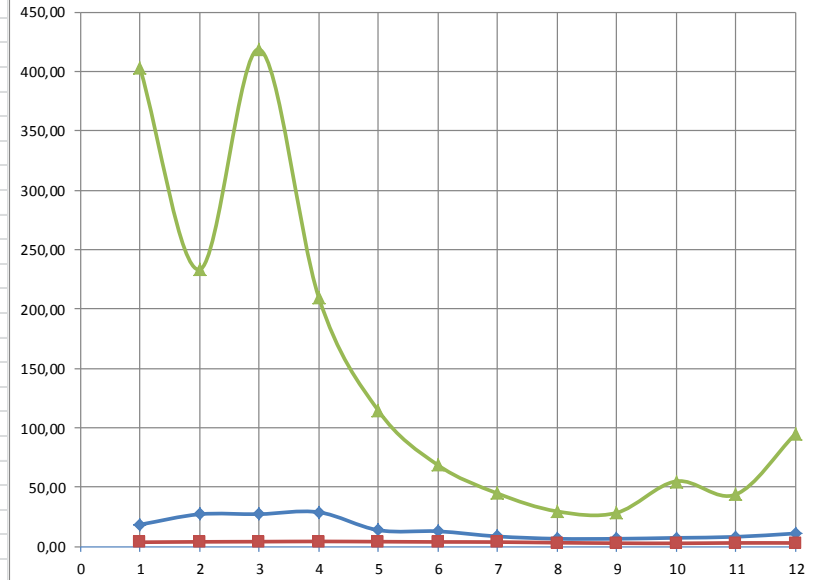
### PROYECTO HIDROELECTRICO SARAPULLO "OREJA DE VAN GOGH"

#### CAUDALES MEDIOS DIARIOS (1964 - 2010)

SITIO: ESTACIÓN SARAPULLO

DÍA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1	10,97	24,98	27,54	20,78	26,43	16,42	9,97	7,13	6,32	6,49	7,62	8,36
2	11,93	24,67	26,35	22,09	26,30	15,78	9,77	7,01	6,41	6,53	7,35	7,84
3	13,45	23,53	26,43	21,97	28,02	15,72	9,36	6,87	6,31	6,77	7,20	7,78
4	12,56	22,76	25,98	23,03	26,92	15,05	9,35	6,95	6,21	6,74	7,17	8,09
5	12,17	23,66	24,70	21,55	25,01	15,13	9,22	6,80	6,42	6,77	7,48	8,39
6	12,89	25,76	25,28	22,26	24,06	14,66	9,10	6,68	6,31	6,67	7,42	8,55
7	13,71	23,45	26,17	22,18	23,33	14,49	9,25	6,59	6,17	6,84	7,33	8,89
8	13,87	23,07	26,35	21,80	23,38	14,29	9,12	6,57	6,35	6,84	7,47	9,83
9	15,68	22,43	26,06	23,13	23,50	13,99	9,04	6,53	6,30	6,86	7,81	9,55
10	15,74	22,59	25,90	23,17	22,10	14,15	8,92	6,42	6,06	6,70	7,72	9,38
11	15,09	23,74	24,75	23,52	20,81	13,64	8,89	6,44	5,92	7,05	8,10	8,64
12	16,22	24,33	24,00	23,58	20,17	13,15	8,78	6,30	5,91	7,66	8,25	8,73
13	16,62	25,93	28,80	23,76	21,65	12,84	8,76	6,30	5,94	7,49	8,75	8,46
14	16,69	28,78	26,14	25,46	19,41	12,56	8,82	6,29	6,09	7,56	8,70	9,23
15	19,07	28,43	25,22	25,18	19,23	12,56	8,78	6,37	6,05	7,23	8,47	10,27
16	19,95	31,50	26,04	23,56	19,24	12,06	8,68	6,33	6,00	7,11	8,28	9,71
17	29,01	31,52	26,54	23,13	20,58	11,85	8,42	6,30	6,18	7,33	8,26	11,98
18	19,64	29,95	26,26	22,17	20,05	11,61	8,36	6,31	5,98	7,12	8,22	11,81
19	18,33	29,41	28,16	21,33	19,88	11,63	8,28	6,28	6,10	7,17	8,36	12,66
20	16,91	30,15	25,62	22,21	18,90	11,48	8,04	6,30	6,09	6,65	8,30	12,56
21	17,41	28,91	26,43	20,40	17,99	11,31	7,83	6,14	6,40	6,89	8,59	12,28
22	17,69	28,72	27,46	20,93	18,63	11,58	7,74	6,34	6,93	7,61	8,21	12,59
23	17,69	30,39	28,63	23,13	18,09	11,41	7,62	6,13	6,98	7,34	8,05	12,98
24	19,47	30,92	26,68	22,13	17,88	11,29	7,53	6,24	6,71	7,43	8,27	13,03
25	23,30	30,57	27,09	22,10	18,15	10,93	7,37	6,08	6,76	7,24	8,64	12,61
26	27,13	29,04	32,28	22,03	17,88	10,69	7,23	6,18	6,89	7,26	8,11	13,85
27	24,15	28,95	29,85	21,82	17,52	10,53	7,21	6,13	6,89	7,59	7,80	15,85
28	23,21	27,44	28,55	22,40	17,07	10,03	7,09	6,02	6,48	8,43	7,87	13,31
29	24,67	31,16	26,76	22,95	17,35	9,99	7,09	6,14	7,09	7,86	8,20	13,36
30	25,28		27,08	22,00	16,75	10,04	7,04	6,09	7,10	7,24	8,58	13,93
31	25,48		36,94		15,96		6,98	6,15		7,48		12,90
PROMEDIO	18,27	27,02	27,12	28,75	13,64	12,67	8,37	6,40	6,39	7,16	8,02	10,85
MINIMO	3,49	3,80	3,95	4,14	3,95	3,72	3,62	3,07	2,68	2,55	2,89	2,86
MAXIMO	403,34	233,07	418,64	209,94	114,39	68,48	44,61	29,46	28,27	54,81	43,67	94,69

### CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)



## ANEXO 6: Registro de Caudales Anuales

DÍA	ENERO																															PROMEDIO										
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1997	1998	1999	2000		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1		7,62			3,77	6,24	7,33	7,46	7,62	-	10,87	-	11,39	7,00	10,66	-	4,01	-	8,32	24,97	-	4,08	3,98	4,42	5,57	5,83	4,11	6,5286	13,889	5,3841	15,762	5,8003	8,2452	12,537	7,699	5,4101	4,6038	34,022	40,716	27,294	28,7	10,97
2		7,46		10,04	3,67	5,23	7,05	7,15	7,70	10,82	10,09	29,91	14,15	6,76	10,56	5,70	4,84	8,97	8,87	40,50	-	4,24	3,93	4,68	5,33	5,10	4,11	7,543	13,473	6,2685	14,774	6,8147	9,3377	11,002	7,4129	5,3321	4,8639	32,783	53,990	26,885	25,831	11,93
3		7,46	19,22	12,75	3,59	3,95	7,39	6,97	9,05	9,42	8,43	27,54	18,34	6,76	18,34	5,64	5,51	8,27	10,17	36,73	11,21	4,32	3,88	4,47	5,20	4,58	4,11	6,4245	12,329	7,0748	12,433	6,8147	10,066	10,898	7,3609	5,3841	5,3061	30,798	107,605	28,426	23,76	13,45
4		7,15	18,29	14,98	3,49	4,19	7,44	8,64	10,53	10,04	7,96	24,55	18,60	6,32	11,13	8,84	5,44	7,44	12,07	34,91	10,09	4,21	3,95	4,76	5,33	4,21	4,37	6,5286	11,757	8,1412	14,02	6,7367	9,6238	14,41	7,3869	5,8263	6,2685	30,589	71,485	27,984	22,645	12,56
5		6,63	17,87	18,26	3,62	3,82	9,44	8,69	10,66	-	7,75	22,76	21,46	5,93	8,84	8,53	4,60	6,42	13,14	34,20	9,47	4,37	4,03	4,79	5,28	4,08	4,79	6,3985	11,757	12,069	12,459	7,8291	8,7394	10,404	9,4157	6,4505	6,8147	29,612	51,954	28,686	22,771	12,17
6			21,95	27,83	3,75	3,80	8,64	-	-	8,61	7,70	20,99	20,37	5,59	9,57	10,09	4,06	5,49	11,94	30,93	8,77	4,34	4,03	4,79	5,12	4,08	4,92	8,1152	14,046	9,3897	11,158	6,9707	7,9851	9,5197	18,467	7,0488	5,5402	30,808	51,905	36,975	21,687	12,89
7			20,60	20,00	4,19	3,85	15,01	24,09	-	10,64	7,75	20,50	24,40	-	10,74	8,84	4,03	5,02	10,69	28,69	8,30	4,40	3,93	4,97	4,79	4,19	4,92	7,0228	20,99	8,0372	10,95	6,6326	8,0372	9,1296	29,34	8,6094	5,072	31,973	53,009	32,697	21,102	13,71
8		8,82	20,57	15,74	4,01	4,01	16,98	18,68	8,95	10,61	8,38	20,70	17,84	6,71	17,35	8,09	4,14	5,28	9,26	27,05	8,14	4,21	3,88	4,86	4,97	4,37	4,92	6,2425	19,742	8,0632	10,898	11,054	13,681	8,8955	24,71	8,7915	5,098	32,988	75,844	39,753	20,525	13,87
9		8,71	18,60	14,12	4,81	3,93	23,96	18,16	9,34	15,76	8,74	20,11	17,97	8,22	32,77	9,88	4,34	5,75	11,96	25,31	8,01	4,29	3,88	4,86	5,05	4,32	4,92	5,072	14,774	10,118	10,482	11,965	11,08	8,6874	34,724	7,9851	5,202	36,364	113,948	37,499	21,57	15,68
10		8,97	26,30	14,05	4,24	3,85	18,70	16,98	11,83	13,34	10,35	18,42	18,94	9,81	32,23	13,06	4,58	6,06	11,26	23,77	8,35	4,37	3,82	4,81	4,73	4,32	4,92	4,8379	13,395	8,5314	9,9619	11,575	9,4677	8,3233	24,736	8,4013	5,2801	49,632	101,821	46,939	24,771	15,74
11		11,60	20,37	18,23	4,21	4,29	24,84	16,20	14,51	12,41	21,38	19,04	13,21	11,11	20,05	-	4,94	6,24	14,02	22,11	9,47	4,50	3,95	4,73	5,64	4,71	5,07	5,3841	12,277	8,5574	9,5718	9,9359	8,2973	8,1152	19,768	8,4533	5,5142	44,338	77,437	47,881	26,079	15,09
12		12,04	17,74	25,83	4,16	11,52	26,45	22,99	15,11	14,05	14,85	18,55	15,89	9,70	12,59	8,45	-	6,84	14,33	20,78	9,26	4,50	3,98	4,76	8,66	4,58	5,20	4,968	12,147	7,8031	9,4937	8,0632	7,647	7,8811	15,58	8,0372	4,994	44,17	67,264	87,856	33,915	16,22
13		10,33	21,61	27,83	4,03	14,64	19,33	20,39	16,49	8,87	16,75	28,53	13,99	8,92	12,59	7,05	-	7,36	10,72	21,33	9,13	4,32	4,03	4,79	12,59	5,57	5,20	4,3177	16,595	8,1152	9,9359	7,8031	7,3349	7,725	12,979	7,9071	4,5778	39,483	66,053	107,382	31,637	16,62
14		10,33	21,12	22,52	3,98	22,92	33,19	19,04	15,40	15,79	12,20	26,17	13,16	8,22	-	6,61	7,88	8,01	11,24	24,16	8,90	4,32	4,11	4,79	8,74	4,03	5,36	4,2657	17,583	9,2596	9,7018	7,9071	7,1788	12,485	11,262	8,0372	4,7339	38,328	68,501	102,54	26,792	16,69
15		-	26,27	24,71	4,34	21,20	53,89	18,55	10,98	16,54	10,98	28,48	-	7,67	10,59	7,36	8,45	7,46	10,90	26,19	8,58	4,42	4,11	4,81	7,41	4,08	5,51	-	14,982	8,9475	12,485	7,4649	7,1268	11,184	10,274	8,1412	6,9447	38,104	89,814	132,138	24,387	19,07
16		12,98	24,61	21,90	4,01	16,20	29,03	17,76	10,30	13,60	10,09	-	12,85	7,28	9,91	-	9,05	7,15	10,25	53,50	8,43	4,47	4,32	4,79	7,41	4,08	5,51	-	13,681	7,3609	21,875	7,725	7,2569	9,2596	9,3377	13,915	7,2308	36,353	101,556	167,869	25,159	19,95
17		14,70	30,07	29,55	4,19	12,85	26,43	50,43	9,68	-	23,15	29,50	13,29	7,49	9,91	-	16,98	6,76	12,88	31,00	8,12	4,42	4,37	4,81	6,79	4,06	5,54	-	19,326	7,595	20,938	11,366	7,9331	10,508	8,7915	11,262	-	36,577	112,552	403,335	27,159	29,01
18		14,31	26,43	26,82	4,37	20,11	23,38	29,99	9,26	14,33	12,17	26,58	25,31	7,39	9,42	6,06	11,03	6,89	13,66	25,80	8,04	4,47	4,45	4,84	6,50	4,08	5,51	-	15,424	7,517	16,386	11,366	7,8551	9,6498	8,3753	10,326	9,4157	44,118	90,889	157,327	25,949	19,64
19		15,37	22,06	29,26	4,86	18,96	20,44	21,15	12,25	22,84	11,11	25,23	21,98	-	8,92	5,70	8,27	8,19	9,47	25,20	7,93	4,53	4,79	4,79	6,40	4,08	6,14	-	15,32	16,126	14,202	11,523	6,9707	14,488	7,8811	9,4157	9,3897	49,632	77,437	109,73	24,643	18,33
20		15,24	19,46	31,86	4,94	12,35	20,52	19,46	-	16,28	10,43	24,53	29,21	9,88	8,45	5,46	7,26	9,70	8,58	23,54	8,87	4,63	4,50	4,89	6,29	4,11	6,81	-	13,473	13,395	14,436	13,239	6,8407	14,93	7,3869	8,4013	9,7278	42,686	69,605	85,795	25,556	16,91
21		21,72	18,86	28,30	5,18	9,57	19,46	25,59	19,38	-	9,91	27,65	-	10,74	8,22	-	6,66	9,96	8,40	22,19	9,88	4,68	4,94	5,12	5,96	4,14	7,07	16,204	18,363	13,369	12,407	13,499	6,6846	10,768	8,0632	-	9,0776	43,885	67,264	88,717	24,899	17,41
22		17,58	17,74	26,40	8,58	10,01	17,84	22,13	21,77	-	12,59	28,53	-	10,27	8,19	-	-	10,04	12,02	20,91	8,97	4,55	4,42	5,15	6,32	4,16	7,15	19,352	14,176	11,262	11,965	12,823	6,6066	9,5718	7,647	7,647	8,1152	46,811	61,476	102,476	31,605	17,69
23		16,59	16,26	24,32	11,24	7,73	16,80	20,39	19,66	16,33	11,73	34,15	30,69	15,84	8,82	-	5,77	9,96	12,90	19,59	7,83	4,66	4,34	5,18	6,29	4,16	7,46	15,658	13,447	12,823	11,731	12,537	6,4505	9,0776	7,4649	6,7106	6,9707	45,33	62,581	96,817	43,662	17,69
24		15,87	15,16	23,10	9,05	7,10	17,84	20,57	21,87	23,18	11,73	35,58	27,54	15,24	8,30	6,37	5,88	8,97	11,47	18,34	7,31	4,50	4,42	5,31	6,19	4,19	8,71	11,392	12,745	14,384	11,262	12,797	6,4505	8,7654	7,0748	10,04	8,4533	41,979	124,050	122,891	42,758	19,47
25		15,74	15,16	23,44	26,22	6,84	22,34	18,73	34,31	17,66	10,79	60,11	25,00	11,91	8,04	6,01	8,90	7,86	18,42	18,16	7,52	4,32	4,45	5,72	5,88	4,21	10,51	9,4937	11,939	16,022	11,497	10,534	6,5806	9,8839	6,7627	8,6874	7,3609	117,68	168,470	102,714	46,167	23,30
26		21,56	19,07	24,45	16,54	7,07	18,08	16,98	74,70	20,76	12,28	42,76	23,49	19,33	-	5,72	7,54	7,05	16,28	29,05	9,08	4,24	4,50	5,77	5,72	4,21	10,87	9,2596	12,147	15,58	42,865	10,404	6,5806	9,0776	6,5286	7,2829	8,4013	126,41	221,065	102,476	52,697	27,13
27		37,51	19,87	24,79	12,69	7,73	22,50	17,27	46,04	21,85	10,01	28,48	28,04	20,11	10,56	5,77	6,55	7,52	12,88	28,87	9,70	4,08	4,58	5,98	6,19	4,24	13,27	10,742	10,794	18,285	44,894	9,8319	6,9447	9,3377	6,3465	7,2308	10,144	118,37	154,107	95,366	46,515	24,15
28		26,30	30,30	21,80	9,18	6,48	21,07	17,90	44,56	22,71	9,68	30,77	33,22	19,79	9,91	5,77	5,80	7,59	15,48	29,21	8,90	4,08	4,79	6,14	5,93	4,27	14,49	10,82	11,523	19,066	27,935	8,9995	9,9099	10,066	6,3205	7,4389	11,418	90,178	166,284	88,81	43,697	23,21
29		22,37	21,67	20,78	9,88	7,83	18,29	21,20	42,45	18,16	10,14	27,13	27,91	16,46	11,76	45,86	7,83	1																								

## ANEXO 7: Registro de Caudales Anuales

DÍA	FEBRERO																												PROMEDIO													
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1997		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	6,83	24,40	20,34	29,00	15,27	8,35	14,23	19,85	25,49	17,11	44,84	26,50	30,43	20,13	10,53	10,22	24,16	28,12	23,96	27,00	7,78	4,03	4,45	5,72	8,30	4,40	10,40	9,7798	9,3637	13,473	23,227	9,0776	12,121	21,745	6,0344	9,2596	15,138	40,370	204,499	144,31	33,757	24,98
2	6,91	21,67	19,82	28,14	44,40	6,74	18,70	21,46	-	16,44	31,73	41,17	29,65	17,97	10,09	9,68	45,00	28,79	20,44	15,22	11,81	4,01	4,45	5,77	11,37	4,42	10,87	9,9619	9,0256	21,953	31,811	10,17	10,196	20,834	5,9043	8,6874	13,239	37,223	170,826	117,689	32,674	24,67
3	5,97	19,82	28,79	31,97	23,31	6,76	22,13	25,49	-	-	24,71	34,15	30,33	19,25	9,78	9,34	37,61	32,77	18,42	-	15,22	3,93	4,37	6,03	10,92	4,45	10,98	10,092	8,9475	20,574	25,88	17,817	11,627	15,918	5,7743	10,664	12,615	35,922	131,410	117,588	32,823	23,53
4	6,59	20,81	29,39	45,36	19,01	9,36	24,16	-	-	20,96	22,19	-	29,21	17,61	9,36	8,74	31,42	25,39	23,67	-	22,19	4,08	4,29	5,67	8,97	4,45	11,05	9,9879	9,4417	18,155	25,88	12,485	23,253	13,005	6,0344	10,092	22,655	34,648	95,185	124,829	32,365	22,76
5	6,93	20,81	53,92	47,55	15,09	13,40	31,71	55,92	21,48	28,20	-	40,65	29,65	15,58	9,26	8,01	28,07	30,74	20,60	33,19	21,95	4,01	4,32	5,51	26,17	4,50	11,16	9,7798	8,8955	18,909	26,322	10,716	30,692	11,991	5,9563	9,4157	30,458	33,192	-	103,794	34,235	23,66
6	6,57	22,29	46,77	44,56	12,69	14,83	36,60	39,72	19,77	-	18,99	36,47	32,02	12,46	19,12	7,57	26,19	30,15	24,06	30,41	21,82	4,06	4,37	5,57	18,21	4,53	11,34	10,248	12,537	16,673	25,516	9,8319	22,369	11,601	5,9824	9,6498	30,536	32,377	85,162	99,302	107,48	25,76
7	5,97	19,14	35,32	35,14	11,68	16,96	31,16	38,68	22,86	-	19,04	34,15	33,22	10,64	-	7,36	-	22,89	26,84	28,69	21,33	4,08	4,24	5,18	11,73	4,53	11,83	10,898	16,881	18,597	22,135	9,4417	15,45	13,395	7,517	9,7538	32,305	30,783	82,384	90,224	68,539	23,45
8	6,01	15,58	30,87	33,19	13,01	20,81	33,03	38,18	24,37	47,23	24,32	35,66	32,49	8,82	15,19	7,52	-	19,25	19,59	27,47	22,11	4,11	4,40	5,51	10,09	4,63	12,33	10,976	25,906	15,97	20,262	8,6874	13,967	16,412	7,673	9,9099	32,253	30,780	81,065	81,582	51,532	23,07
9	5,89	16,85	26,30	42,63	12,61	19,12	27,26	36,83	23,46	-	31,37	30,17	35,40	10,17	14,51	7,41	19,59	18,34	17,48	25,07	21,61	3,90	4,47	5,18	9,00	4,63	14,49	11,418	31,264	14,124	17,713	8,4013	11,653	13,994	7,9591	10,352	29,288	31,175	74,553	90,349	61,313	22,43
10	7,08	17,37	32,56	37,06	12,56	20,00	25,18	32,15	22,26	26,43	26,27	36,10	30,25	10,14	13,99	7,36	16,98	18,21	15,63	24,84	20,99	3,85	4,58	5,15	8,38	4,55	20,83	14,384	23,877	14,852	19,69	8,5574	11,366	13,187	7,699	-	24,606	30,194	77,108	87,241	70,225	22,59
11	10,10	18,86	34,85	35,89	11,47	20,50	23,67	40,08	21,28	32,12	25,00	30,43	30,59	-	16,10	7,15	14,25	22,03	13,50	26,06	21,64	3,82	4,71	5,10	7,91	4,63	30,61	18,727	26,4	15,528	16,595	8,0632	13,187	13,317	7,725	38,495	19,196	29,612	76,853	82,996	70,683	23,74
12	9,95	-	28,61	29,76	10,53	21,72	23,15	34,10	21,90	25,46	27,65	28,87	51,24	11,05	16,52	7,26	12,64	24,71	33,94	23,46	22,19	3,85	4,73	5,07	7,52	4,66	39,04	17,505	21,588	14,852	22,135	8,3753	11,679	13,421	16,334	36,024	17,661	28,470	73,289	100,815	61,315	24,33
13	9,90	16,39	25,41	27,00	10,09	21,09	21,69	32,54	45,47	24,16	39,09	27,13	35,71	11,03	17,97	-	11,68	32,67	28,04	-	22,78	3,82	4,79	5,07	8,19	4,71	39,04	15,034	20,574	19,976	16,438	8,2192	12,745	13,057	9,8059	38,027	18,025	27,353	112,995	119,197	54,294	25,93
14	11,90	17,04	28,53	25,39	9,26	21,72	19,64	29,78	33,24	40,65	28,07	25,85	36,21	13,84	17,37	-	10,74	30,43	41,69	-	26,48	3,82	4,81	5,10	9,91	4,66	41,43	14,904	21,406	23,955	15,97	7,9591	11,366	22,239	8,4793	31,837	21,979	39,009	95,754	219,668	50,277	28,78
15	9,59	16,44	26,74	29,37	8,97	19,20	18,81	27,00	28,25	25,85	26,24	26,56	29,91	13,11	14,54	8,66	10,17	27,96	30,67	18,99	27,96	3,80	4,84	5,05	16,49	4,66	43,91	13,863	21,797	36,128	24,059	7,543	10,898	17,141	9,5718	30,666	20,392	33,192	144,326	206,745	65,549	28,43
16	8,24	15,68	25,23	26,37	8,97	22,71	24,27	25,57	32,85	23,12	28,56	27,21	31,86	12,85	12,95	8,30	9,68	25,78	34,05	17,79	42,11	3,80	4,84	5,05	13,40	4,66	45,21	13,759	17,271	67,861	26,4	7,621	10,456	13,889	10,56	40,732	17,167	64,496	142,783	233,074	84,442	31,50
17	7,66	15,06	22,45	27,65	8,25	18,81	39,72	26,45	-	22,03	46,45	26,89	-	15,48	12,64	8,04	-	-	27,08	16,67	42,21	3,88	4,86	5,05	17,71	4,63	69,08	13,005	15,97	39,562	22,135	8,1932	10,43	16,959	12,641	28,429	17,479	50,975	162,147	201,907	77,757	31,52
18	7,32	14,25	21,02	24,55	7,70	16,31	29,05	30,25	33,37	21,41	36,80	32,67	26,17	17,35	12,41	8,22	-	-	24,29	15,53	-	3,88	4,86	4,97	21,43	4,66	70,77	12,043	19,43	41,304	22,135	8,4793	10,222	15,19	11,158	23,955	18,779	44,601	170,554	187,273	63,704	29,95
19	6,75	16,00	15,09	21,98	9,18	14,59	23,02	35,53	29,13	20,78	36,23	35,19	24,40	18,34	12,64	8,12	-	22,39	22,63	14,93	-	3,88	4,86	4,97	17,63	4,66	74,31	11,471	21,927	30,484	30,38	12,979	10,534	17,713	18,857	21,771	19,378	42,449	177,080	177,979	56,817	29,41
20	13,10	21,25	14,64	20,86	13,19	13,76	35,11	34,33	28,09	20,11	42,16	36,05	-	19,77	12,75	7,36	10,61	22,76	21,46	14,25	25,31	3,88	5,10	4,89	13,84	4,66	77,95	11,471	18,909	28,637	30,588	10,846	11,184	18,805	26,192	19,846	21,562	54,927	196,532	164,713	54,44	30,15
21	9,79	16,18	19,53	18,31	9,18	12,98	30,20	34,00	30,59	19,56	37,58	46,17	25,54	28,20	11,81	6,94	20,08	-	18,65	13,81	25,15	3,88	5,07	4,89	12,54	4,68	81,70	10,95	32,747	24,346	23,955	29,157	11,158	14,306	14,852	18,103	14,384	44,402	188,464	135,948	46,706	28,91
22	9,46	16,98	17,79	25,83	10,30	12,04	28,35	32,15	30,04	21,28	33,68	46,09	21,61	26,43	11,21	7,05	25,00	-	15,68	13,71	28,38	3,85	4,92	4,97	13,21	4,71	85,57	11,549	29,366	33,631	24,736	18,753	13,057	13,343	15,554	15,528	26,739	49,862	167,390	132,104	46,706	28,72
23	13,50	17,66	16,78	27,86	25,41	10,59	24,63	30,38	26,30	24,79	28,79	42,76	23,12	26,89	-	7,26	22,55	32,93	17,09	13,21	42,21	3,93	4,92	4,94	10,53	4,68	89,58	-	31,967	28,507	25,75	24,996	12,381	12,511	12,823	14,774	26,218	49,347	142,306	143,777	66,562	30,39
24	11,12	14,25	16,26	30,43	20,03	11,47	38,96	28,40	23,80	22,19	27,31	46,09	23,77	18,65	-	7,67	20,44	33,94	20,34	11,94	39,80	3,93	4,79	4,92	16,28	4,71	64,32	-	27,727	30,172	27,649	21,406	11,653	11,314	13,447	13,707	17,375	46,563	166,284	139,792	112,825	30,92
25	10,60	14,07	15,74	38,13	19,09	20,63	81,91	26,04	22,19	20,37	25,46	49,03	23,33	21,15	-	9,13	18,99	32,62	18,57	10,64	38,44	3,95	4,79	4,92	20,21	4,66	36,80	-	22,369	31,368	30,926	20,73	10,898	11,497	12,667	13,447	20,054	45,830	153,434	147,762	79,748	30,57
26	10,06	16,39	15,48	31,34	19,09	18,26	42,27	-	20,78	19,43	24,53	72,93	23,57	16,75	-	17,04	18,10	29,31	15,32	9,88	35,11	3,95	4,92	4,89	15,42	4,71	32,49	-	20,756	28,585	27,103	16,881	10,404	14,618	10,95	12,355	21,068	41,746	142,292	156,018	78,624	29,04
27	9,15	14,49	14,98	28,69	22,21	14,15	36,05	35,48	19,51	19,51	23,12	56,34	26,11	16,10	12,43	-	17,35	26,35	15,45	10,04	34,15	3,82	4,92	4,92	11,96	4,79	28,77	-	24,111	35,582	32,071	19,976	15,45	21,068	10,482	12,173	35,764	34,240	184,274	118,091	74,87	28,95
28	9,23	16,78	13,79	33,32	18,34	13,29	49,97	27,99	20,18	19,04	21,82	49,60	29,34	14,80	12,25	15,48	-	20,57	24,24	17,11	10,14	37,38	3,98																			

## ANEXO 8: Registro de Caudales Anuales

DÍA	MARZO																															PROMEDIO									
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1997	1998	1999	2000		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	8,39	17,74	15,01	28,22	17,69	12,95	52,07	24,35	19,25	27,47	21,61	42,76	21,20	13,79	77,51	23,75	11,81	22,39	17,76	10,09	34,44	4,08	4,79	5,31	9,60	4,92	23,83	21,823	38,209	29,183	14,956	15,528	18,805	9,7018	11,627	20,444	31,375	136,692	114,618	65,697	27,54
2	8,73	18,36	18,73	25,23	16,49	28,30	52,77	24,55	22,97	23,05	25,46	42,11	20,24	12,85	42,11	19,61	17,95	-	29,03	10,09	36,10	4,24	5,07	5,28	9,29	4,94	23,07	22,603	32,253	27,571	14,358	14,02	16,282	10,144	11,314	16,699	29,999	130,424	97,131	58,361	26,35
3	7,73	-	20,34	24,53	17,35	20,37	41,43	23,80	-	20,57	24,32	43,36	23,07	12,09	22,63	14,90	22,32	-	19,59	10,33	31,58	4,32	5,05	5,15	8,82	4,99	20,21	20,184	27,103	30,016	16,152	15,112	18,727	10,014	10,716	14,722	29,806	136,628	136,227	63,648	26,43
4	7,12	24,19	17,27	24,01	20,89	17,61	34,67	23,36	28,98	19,43	22,19	28,22	20,65	10,90	18,36	21,46	20,99	-	18,39	-	-	4,21	4,92	5,15	8,71	5,05	16,88	18,649	25,724	29,001	13,759	27,935	19,118	10,066	11,601	14,02	38,432	157,359	114,121	58,024	25,98
5	6,62	21,09	15,11	23,51	16,59	20,21	30,46	-	25,80	-	22,03	38,96	18,60	10,30	16,28	28,12	19,98	22,03	14,77	25,10	-	4,37	4,79	5,12	8,82	5,07	13,37	17,921	28,377	28,169	12,563	30,926	15,242	16,516	13,135	13,655	35,529	129,333	104,208	51,1	24,70
6	6,17	29,44	22,52	26,27	15,76	18,36	28,74	-	29,37	-	24,16	36,47	19,90	10,48	14,49	-	19,56	49,00	13,16	19,95	-	4,34	4,66	5,20	8,35	5,20	13,37	18,857	26,114	25,1	14,306	25,49	13,967	14,566	15,684	19,404	36,786	130,048	96,256	48,47	25,28
7	5,89	40,00	16,13	28,46	15,76	17,01	33,79	28,69	24,03	-	23,05	33,14	23,20	10,17	12,69	29,99	19,17	47,94	12,41	17,22	24,24	4,40	4,50	5,31	8,64	5,20	13,66	16,855	28,065	25,126	12,615	41,408	14,228	22,343	25,412	24,736	39,913	131,850	87,302	46,136	26,17
8	5,55	30,12	16,26	24,79	19,61	15,24	28,77	23,80	25,07	26,01	43,54	31,39	30,64	9,78	11,68	34,62	18,34	53,35	13,68	14,77	25,62	4,21	4,66	5,25	8,35	5,23	13,86	17,297	37,299	27,519	25,88	36,492	13,603	14,956	26,27	20,054	44,402	120,560	78,843	46,626	26,35
9	5,44	25,39	29,83	36,67	22,47	14,05	28,07	22,26	26,92	23,72	41,90	-	25,93	13,47	11,73	29,65	16,88	39,90	13,99	13,66	30,09	4,29	4,63	5,23	7,99	5,31	14,15	15,086	30,484	31,342	20,08	35,114	12,407	12,719	24,606	27,545	41,758	133,501	74,87	43,121	26,06
10	5,63	-	24,19	29,76	22,94	17,11	30,33	21,35	22,92	43,52	37,45	28,98	27,05	10,82	10,98	-	15,81	34,80	14,59	-	28,22	4,37	4,58	5,12	8,38	5,31	14,44	21,198	27,831	27,909	25,23	25,126	12,355	13,889	29,626	19,404	44,402	124,050	73,0224	45,741	25,90
11	4,37	28,43	19,90	26,92	21,02	17,92	28,40	27,65	20,86	31,71	30,28	26,74	25,78	9,36	10,04	-	12,41	33,48	16,33	-	24,76	4,50	4,53	5,18	8,06	5,33	14,88	20,886	28,377	36,206	19,768	22,135	11,887	12,381	19,118	18,753	51,125	113,826	76,224	51,084	24,75
12	5,62	23,25	18,65	26,40	18,39	20,63	30,41	28,92	19,20	28,04	27,54	25,23	26,48	9,29	9,62	35,66	11,29	33,29	16,02	21,56	24,84	4,50	4,37	5,15	7,52	5,33	15,35	17,739	23,435	36,804	15,45	18,285	11,262	11,965	17,843	17,479	40,818	107,335	73,604	65,28	24,00
13	6,18	30,74	18,49	24,87	17,92	47,60	26,76	29,00	18,21	28,61	26,24	26,95	22,08	-	-	28,82	-	32,38	14,33	20,21	28,38	4,32	4,27	5,20	7,23	5,41	15,94	17,973	32,747	35,53	13,759	20,054	11,158	11,314	17,271	25,75	37,61	98,077	183,939	70,18	28,80
14	5,45	27,83	17,19	29,34	31,65	31,03	25,02	29,00	-	32,69	26,97	34,80	-	19,14	-	25,46	11,44	32,02	14,51	19,12	-	4,32	4,27	5,33	7,13	5,38	17,17	23,539	30,042	36,024	14,202	19,664	20,782	10,898	16,803	19,742	49,136	107,335	84,442	52,191	26,14
15	5,62	27,75	16,18	36,13	21,46	26,22	23,64	28,59	-	28,14	26,89	34,91	26,74	16,75	10,14	21,98	15,19	31,47	19,25	18,44	23,80	4,42	4,27	5,33	7,41	5,41	18,78	21,536	36,674	31,42	25,412	17,167	23,279	10,846	26,322	19,378	48,585	99,566	71,781	46,898	25,22
16	11,26	27,47	19,66	48,77	24,14	27,52	22,71	27,34	23,44	20,70	35,71	28,12	23,64	16,05	9,91	18,42	14,20	31,58	21,17	17,53	23,25	4,47	4,16	5,15	8,40	5,54	19,46	23,513	43,541	29,209	26,4	17,843	29,262	10,456	21,615	21,745	50,643	95,971	84,856	46,896	26,04
17	10,73	26,30	18,65	45,80	23,67	24,53	21,41	77,20	21,61	25,62	29,65	31,42	-	16,10	9,62	21,61	14,46	30,59	20,50	16,54	24,09	4,42	4,21	5,12	7,91	5,54	20,83	23,591	30,77	33,735	18,415	14,228	20,496	10,04	20,73	-	36,577	101,930	67,273	72,782	26,54
18	15,78	28,87	18,03	35,79	22,32	20,29	20,57	79,80	18,99	23,93	28,38	31,21	23,64	17,84	9,47	20,70	25,44	29,91	26,56	20,16	23,41	4,47	4,21	5,18	15,71	5,57	19,12	20,21	30,25	30,9	24,996	14,02	15,788	9,7538	20,054	21,432	44,118	96,558	63,648	63,374	26,26
19	10,63	-	22,00	28,87	20,29	20,65	19,85	84,64	19,64	21,54	25,31	29,81	-	30,95	14,90	22,19	24,50	29,65	24,06	19,85	22,76	4,53	4,16	5,23	21,85	5,62	17,79	17,453	28,741	32,071	23,851	20,756	13,759	9,3637	18,987	18,051	49,632	148,704	80,198	57,253	28,16
20	-	26,76	26,79	27,75	21,15	17,92	19,38	65,16	20,63	20,03	24,24	30,51	-	19,77	11,29	22,03	19,14	29,39	20,31	17,04	27,39	4,63	4,08	5,12	11,03	5,54	16,85	23,383	33,449	29,157	20,548	22,499	13,057	9,0776	17,973	16,256	42,686	109,905	69,019	52,59	25,62
21	8,10	26,82	76,16	29,24	20,50	17,48	18,55	62,92	30,20	19,30	28,56	28,53	24,24	24,42	10,56	21,69	17,11	29,65	17,66	16,05	28,12	4,68	4,08	5,18	10,90	5,54	18,13	20,054	30,042	30,458	23,773	27,987	13,187	9,1556	17,167	17,479	44,122	99,566	70,521	49,26	26,43
22	7,79	24,71	28,04	26,63	18,94	19,61	19,04	90,57	28,17	-	33,81	28,38	44,79	27,88	15,06	25,41	16,57	29,52	16,33	15,87	30,07	4,55	4,08	5,28	10,87	5,36	20,83	18,831	29,6	26,921	19,716	20,652	14,93	9,7018	15,476	22,499	46,811	103,599	77,757	66,093	27,46
23	7,76	21,90	24,11	22,60	17,09	17,56	19,64	87,08	25,91	-	22,47	26,50	28,38	51,47	22,47	22,52	15,87	25,31	17,11	15,06	29,05	4,45	4,08	5,15	14,23	5,20	22,29	28,741	27,103	31,134	23,279	19,768	13,447	9,4157	13,707	20,054	45,333	98,077	153,621	57,492	28,63
24	7,03	21,33	22,21	20,26	21,48	16,36	20,26	70,41	23,44	23,59	23,20	35,61	28,82	45,52	-	25,31	15,66	-	16,49	14,20	29,81	4,37	4,08	5,20	17,87	5,28	24,61	24,528	25,724	28,065	27,129	17,479	12,147	9,4157	13,369	22,603	41,979	98,955	95,888	54,219	26,68
25	7,63	20,70	41,59	19,66	19,69	16,91	20,78	53,45	31,26	23,41	20,91	32,38	25,93	42,79	-	23,64	14,15	26,58	14,54	14,10	33,40	4,21	4,16	5,28	27,44	5,05	26,24	20,678	24,892	26,296	24,658	15,684	11,965	10,898	13,317	21,432	72,681	90,153	96,572	51,521	27,09
26	8,03	20,65	30,48	19,07	17,17	20,08	20,94	46,95	58,73	24,55	20,03	32,07	25,00	32,88	41,25	21,95	13,29	24,76	14,02	16,62	40,08	3,95	4,14	5,36	20,37	4,99	27,91	22,109	25,568	25,568	23,799	16,152	12,537	29,131	17,791	20,392	126,41	89,017	199,981	67,273	32,28
27	7,48	45,96	24,89	18,08	16,41	18,26	20,65	43,23	62,45	38,10	19,12	28,30	32,30	26,43	30,80	26,92	12,69	23,25	14,57	23,83	36,99	4,11	4,08	5,36	17,09	4,84	29,60	21,536	24,346	25,49	20,314	25,62	12,459	23,253	16,256	19,118	117,52	83,228	118,705	50,53	29,85
28	6,87	25,39	22,37	19,46	16,67	28,38	24,29	37,09	-	29,13	18,29	26,66	-	33,03	24,68	21,82	-	-	13,55	-	32,77	4,08	4,08	5,36	15,76	4,79	32,49	19,43	21,068	25,256	20,938	22,863	11,132	29,236	16,985	16,673	90,178	115,316	117,555	45,576	28,55
29	8,36	26,45	20,42	17,53	16,05	20,70	24,81	35,7																																	

## ANEXO 9: Registro de Caudales Anuales

DÍA	ABRIL																														PROMEDIO											
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1997	1998	1999		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	13,18	25,05		16,18	16,36	22,16	20,94	26,76	24,55	35,66	12,85	26,58	29,91	27,31	25,80	9,13	19,25	20,31	19,14	-	50,80	4,14	4,19	4,99	4,34	4,55	45,21	23,097	33,319	20,938	40,498	23,955	16,438	11,549	15,71	17,531	15,008	81,843	152,187	84,661	77,519	20,78
2	12,82	24,97	20,13	15,48	24,24	22,34	30,64	28,07	25,26	37,82	16,05	30,98	-	23,12	22,52	19,64	52,07	20,83	20,26	23,83	41,25	4,19	4,19	4,94	11,73	4,66	47,83	22,473	24,814	19,716	28,741	28,377	25,568	10,846	13,317	17,167	14,436	84,337	162,114	78,382	94,685	22,09
3	13,28	49,94	18,44	15,42	21,09	21,20	24,55	27,10	23,80	32,12	14,05	27,05	29,65	21,12	26,35	-	42,89	20,57	19,25	21,20	34,85	4,29	4,71	4,86	10,72	4,71	50,54	20,756	29,47	24,944	25,49	23,097	24,606	10,326	13,915	16,256	18,467	51,157	183,774	73,545	95,441	21,97
4	12,77	28,90	17,11	14,93	18,39	36,86	29,81	26,53	22,63	29,05	12,54	27,08	27,13	-	27,80	26,58	34,41	-	29,21	16,54	36,49	4,58	4,79	4,97	11,34	4,73	53,37	18,883	26,895	29,756	32,877	20,184	21,432	10,664	12,719	15,632	58,315	109,579	140,565	66,562	97,731	23,03
5	15,24	25,93	18,60	14,44	19,25	27,65	24,71	28,74	21,48	32,41	11,81	24,61	25,78	18,10	39,17	26,69	29,91	-	23,62	19,12	32,56	4,68	4,71	4,92	11,47	4,79	57,85	16,256	24,007	30,536	30,016	17,479	18,597	10,456	12,017	14,826	33,449	109,489	122,689	60,168	193,074	21,55
6	15,63	-	18,16	15,35	18,08	36,54	23,67	26,27	21,20	28,87	12,43	24,24	27,05	17,11	33,32	23,25	28,61	41,15	31,34	20,73	33,40	4,86	4,76	4,92	10,98	4,84	62,48	15,762	29,288	28,325	29,444	16,933	22,499	9,9099	11,392	16,256	32,253	72,687	108,943	57,489	209,936	22,26
7	19,41	30,04	17,87	14,31	18,39	28,17	40,11	29,94	19,98	-	12,46	23,05	24,55	16,39	28,48	22,19	29,73	33,32	25,26	26,69	32,93	5,20	4,68	4,94	9,73	4,89	67,42	15,346	25,178	27,987	27,337	22,005	24,736	9,5458	10,898	16,256	29,183	62,815	131,157	54,65	128,501	22,18
8	19,36	-	21,59	13,45	21,30	29,05	41,93	28,25	18,91	27,88	11,57	22,52	23,05	-	23,49	20,44	29,05	27,31	25,00	27,49	32,56	5,20	4,79	4,94	9,83	4,92	70,77	14,982	22,681	28,741	25,724	18,597	25,516	11,314	11,132	16,438	23,253	70,109	113,826	52,537	107,48	21,80
9	21,15	34,93	23,36	13,32	19,59	24,53	33,06	27,15	15,48	32,72	17,37	26,79	35,30	13,99	23,72	-	24,84	38,34	-	48,48	5,18	4,92	4,89	8,90	4,97	72,54	16,152	21,511	39,041	24,346	15,528	22,499	23,903	11,497	16,204	20,392	59,146	102,669	52,117	105,714	23,13	
10	16,05	31,86	19,90	14,64	22,52	22,47	27,65	27,26	28,66	30,35	14,75	24,55	32,02	12,75	23,93	-	30,02	21,95	27,00	-	40,06	5,18	5,15	4,97	9,08	4,99	76,13	14,41	32,383	40,056	31,785	15,008	20,756	24,111	11,783	16,855	30,042	44,637	101,831	51,084	113,075	23,17
11	15,78	49,42	19,38	15,19	28,40	21,72	26,45	32,88	22,71	31,81	13,45	26,76	35,14	11,96	25,00	14,80	26,74	-	25,26	24,22	33,87	5,25	5,12	4,92	9,08	5,07	79,83	15,606	38,859	38,495	28,481	17,505	18,415	22,759	11,835	18,155	26,322	45,830	91,638	50,675	121,806	23,52
12	15,11	31,13	25,02	13,60	22,84	23,57	25,88	32,07	22,34	31,76	14,75	35,48	38,55	13,50	-	13,84	24,76	-	26,06	25,83	32,02	5,83	5,05	4,92	11,11	5,10	83,65	17,349	24,085	34,099	44,816	16,907	16,464	26,4	11,314	26,556	23,591	45,333	110,685	49,461	114,12	23,58
13	18,94	-	19,22	13,16	20,00	27,67	29,50	29,60	30,59	39,59	12,95	28,22	46,43	13,34	23,72	13,01	23,72	40,06	23,49	27,62	30,77	5,85	4,97	4,97	11,78	5,15	85,57	17,167	27,103	31,785	31,837	15,996	14,852	26,296	19,508	19,534	21,302	43,398	116,488	51,521	114,12	23,76
14	13,84	76,21	19,09	13,89	21,38	26,27	26,53	28,74	25,65	39,20	13,66	26,74	86,67	12,95	23,25	13,06	21,51	33,27	20,52	28,35	-	5,77	4,81	4,89	12,75	5,18	83,65	17,349	25,568	27,909	36,076	15,684	14,02	21,849	29,496	18,467	22,265	41,746	107,163	63,554	107,349	25,46
15	14,12	89,50	18,86	14,46	20,24	29,21	28,17	30,22	23,15	37,35	-	33,97	44,45	-	22,32	19,95	18,81	29,91	18,08	26,56	-	5,85	4,73	4,86	17,40	5,20	79,83	18,753	24,085	27,415	38,807	14,852	13,395	22,109	21,094	16,438	21,901	44,601	103,755	53,58	93,146	25,18
16	10,42	74,10	19,30	13,55	20,70	26,71	27,08	26,92	21,35	33,19	28,74	28,56	34,62	11,76	30,15	13,99	17,40	29,05	16,18	25,18	29,65	5,77	4,50	4,94	18,83	5,31	79,83	19,742	24,658	25,88	39,145	13,967	13,135	21,276	19,716	16,855	19,378	44,860	97,763	48,47	95,284	23,56
17	13,67	48,04	21,12	12,64	18,39	28,20	31,42	26,30	20,65	69,11	18,05	25,62	34,15	11,86	32,75	14,96	17,22	-	14,83	23,75	28,38	5,88	4,50	4,97	4,40	5,33	83,65	16,933	24,085	23,955	36,518	15,06	12,979	23,773	21,771	19,898	17,765	40,359	85,918	46,515	84,442	23,13
18	13,28	39,56	24,27	12,93	22,03	27,65	28,40	31,50	25,98	36,91	15,35	28,38	-	12,67	33,40	15,76	16,39	-	14,41	22,32	27,39	5,98	4,73	4,94	4,50	5,36	83,65	15,97	23,747	23,513	37,507	15,294	13,499	22,187	25,412	22,915	18,181	42,686	83,811	45,936	74,84	22,17
19	13,91	32,51	20,26	12,88	19,66	25,57	28,48	24,87	24,50	31,32	13,60	26,89	28,98	10,92	36,93	15,87	15,35	-	13,34	20,37	-	6,01	4,37	4,92	4,68	5,38	79,83	15,606	33,943	22,499	47,027	15,008	14,28	20,21	22,499	17,661	16,334	163,842	80,198	45,949	114,917	21,33
20	10,22	31,45	18,94	12,04	17,56	23,36	35,04	23,51	27,44	-	12,59	42,24	26,32	10,17	37,35	16,05	14,57	26,74	13,14	19,33	-	5,59	4,92	4,84	4,99	5,41	76,13	16,204	27,623	21,849	36,987	25,204	50,694	20,002	23,097	19,716	15,97	91,830	81,582	46,515	112,783	22,21
21	16,36	26,82	17,66	11,47	16,36	25,98	27,08	22,63	26,66	-	11,63	-	-	-	-	24,68	13,99	25,15	13,71	19,92	-	6,14	5,36	4,92	5,36	5,44	72,54	19,248	26,687	19,456	36,596	18,415	24,84	19,794	24,892	27,467	15,112	67,057	80,748	67,23	94,367	20,40
22	13,31	27,57	18,94	10,98	15,76	31,24	25,72	21,90	24,14	-	14,02	26,58	26,79	-	22,06	13,86	23,85	14,67	20,70	-	6,29	4,84	4,92	-	5,49	77,95	20,106	22,681	21,432	31,785	24,19	19,404	26,4	18,363	19,846	14,02	65,790	91,763	73,176	76,342	20,93	
23	16,26	-	20,05	10,33	15,68	27,08	33,14	22,84	20,73	35,63	11,86	24,76	25,46	50,88	42,21	18,13	-	23,20	19,56	22,16	31,21	6,29	4,76	4,84	6,45	5,51	76,13	19,768	33,735	22,135	34,568	26,322	20,73	24,944	19,066	19,326	13,863	81,932	99,941	50,141	63,648	23,13
24	11,30	28,87	18,73	9,88	17,30	25,78	28,69	21,61	20,24	30,77	23,62	24,40	24,92	27,23	36,73	15,37	27,39	22,47	14,62	22,45	29,73	6,14	4,92	4,86	6,45	5,44	72,54	18,207	23,149	27,649	42,241	21,432	23,955	26,608	19,482	18,909	14,826	91,345	91,763	50,477	61,083	22,13
25	18,62	26,48	18,78	17,40	15,16	28,20	28,69	20,11	19,72	29,55	16,80	26,35	36,08	20,91	30,87	14,10	21,12	21,82	12,54	21,56	27,96	5,93	5,07	4,94	5,83	5,49	67,42	17,193	23,747	21,406	52,593	20,86	32,045	23,071	16,516	20,808	22,135	68,232	133,352	53,607	59,71	22,10
26	17,61	29,76	18,23	12,25	14,64	25,59	32,38	19,17	19,25	27,96	17,01	26,66	30,09	41,59	28,98	23,25	22,47	20,91	11,91	20,57	28,12	5,67	4,94	4,97	5,51	5,41	62,48	16,621	29,73	24,137	37,013	20,054	34,672	20,106	19,066	16,933	19,248	72,963	106,326	47,48	61,215	22,03
27	19,88	23,77	16,91	13,63	14,05	22,52	26,84	18,55	18,78	25,62	31,21	38,08	27,70	26,74	27,31	30,09	21,90	20,44	14,12	19,92	27,70	5,70	4,99	4,97	5,51	5,36	60,86	22,395	27,441	27,103	32,253	20,236	31,42	23,461	15,58	16,256	17,895	76,172	97,731	49,487	66,036	21,82
28	16,77	23,18	16,05	12,64	14,10	29,42	25,65	24,94	29,16	24,61	35,30	41,41	27,31	24,76	25,00	24,87	-	20,83																								

## ANEXO 10: Registro de Caudales Anuales

DÍA	MAYO																												PROMEDIO												
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1997		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	12.59	31.03	18.78	12.72	15.29	25.93	31.34	21.98	-	25.46	25.00	25.70	26.74	20.65	22.19	-	29.03	19.43	16.54	-	33.87	4.11	5.15	4.76	4.63	5.18	15.32	37.273	26.608	26.296	18.051	23.955	15.476	13.967	20.262	15.45	67.003	110.718	82.186	67.273	26.43
2	11.95	28.98	21.46	13.03	14.05	24.06	27.26	22.45	-	26.22	24.79	27.73	24.24	18.03	28.56	15.97	29.50	18.47	13.81	-	32.38	4.08	4.99	4.55	4.55	5.12	14.488	27.051	31.368	25.516	13.187	22.707	14.514	12.927	18.103	18.727	68.537	103.434	99.494	82.996	26.30
3	11.82	28.74	18.08	14.28	13.06	39.25	26.53	22.76	-	26.24	-	25.39	24.40	16.57	28.12	15.14	24.06	16.88	12.75	-	31.32	4.03	4.89	4.53	4.55	5.07	14.8	71.606	28.091	24.346	14.02	21.276	13.811	14.644	17.245	21.406	65.790	100.873	96.382	114.12	28.02
4	12.56	26.11	17.40	12.56	12.22	30.64	26.27	21.77	25.10	26.27	24.53	28.43	25.80	15.09	30.82	13.73	21.25	14.85	17.37	-	30.17	4.01	4.92	4.47	4.50	4.99	13.057	60.994	26.608	33.189	15.112	19.43	15.138	17.947	15.684	24.554	62.815	104.111	74.46	110.817	26.92
5	12.17	23.18	17.19	11.47	12.17	27.52	25.96	20.24	23.20	23.49	23.49	-	-	14.36	29.81	12.69	20.91	13.99	16.07	-	27.57	4.01	4.89	4.45	4.50	4.94	12.901	37.091	25.802	27.259	15.138	17.037	15.45	18.935	19.378	23.955	63.717	94.685	61.371	114.386	25.01
6	11.82	20.94	16.26	21.85	11.05	23.90	25.33	19.64	34.05	25.41	22.47	22.19	24.45	13.16	31.32	11.86	20.99	13.16	18.31	-	24.27	3.95	4.55	4.45	4.50	4.89	12.537	29.47	25.88	29.392	14.41	16.256	16.1	15.138	17.167	23.591	63.557	88.717	53.607	97.763	24.06
7	11.90	22.81	24.22	15.74	11.73	22.32	25.57	19.17	-	-	22.32	23.12	25.80	12.25	30.77	11.44	20.70	12.09	17.79	-	23.85	4.01	4.53	4.40	4.47	4.84	11.653	26.27	33.813	29.079	14.904	14.852	16.36	14.566	15.242	22.499	59.916	82.996	52.59	92.552	23.33
8	10.81	51.63	12.93	14.93	10.87	23.57	24.71	18.65	-	24.92	21.61	21.82	28.12	12.15	29.65	11.05	19.95	11.57	15.81	21.56	29.99	3.95	4.45	4.42	4.40	4.73	10.794	25.906	26.452	27.909	29.548	14.02	16.881	13.863	13.915	21.276	62.815	76.703	47.48	85.918	23.38
9	10.94	33.81	30.02	13.11	10.40	22.03	23.67	19.98	-	23.85	20.70	20.31	26.89	11.52	27.80	10.53	17.30	10.92	20.34	19.53	29.70	4.03	4.42	4.37	4.40	4.66	12.693	30.822	24.554	27.909	22.499	13.499	18.363	15.944	-	20.522	87.074	71.758	45.949	76.165	23.50
10	10.10	36.44	25.18	24.16	9.65	20.13	24.68	18.23	23.20	21.95	23.59	26.84	16.59	11.91	25.93	9.70	16.93	10.53	16.83	17.61	24.81	3.98	4.37	4.34	4.40	4.66	13.291	24.476	27.805	37.507	18.025	13.655	19.794	14.566	12.381	18.935	60.807	76.165	42.579	67.273	22.10
11	9.54	29.83	20.05	15.87	9.65	18.52	22.47	17.22	22.42	22.60	21.07	18.73	23.20	11.11	24.32	10.79	-	10.17	17.35	16.54	21.48	4.03	4.34	4.34	4.34	4.58	14.956	30.432	23.955	31.785	19.066	12.823	19.456	13.499	11.497	17.349	59.916	67.000	40.956	64.352	20.81
12	9.23	34.36	21.38	16.39	9.10	17.61	24.55	16.57	21.15	20.31	21.93	17.40	19.14	-	23.25	10.98	15.09	9.88	15.68	15.68	19.77	4.01	4.34	4.37	4.34	4.55	14.124	23.877	23.668	33.293	16.569	12.329	18.805	12.823	10.95	15.918	57.094	62.495	40.067	63.648	20.17
13	8.98	34.49	38.55	19.04	8.84	18.60	22.06	15.50	21.51	19.98	22.32	19.90	21.20	10.01	22.11	10.04	13.99	9.57	26.17	14.98	18.68	3.98	4.40	4.34	4.34	4.58	20.002	21.198	24.216	30.016	18.285	12.121	15.788	12.017	10.794	14.722	53.005	66.299	86.638	62.953	21.65
14	8.57	29.29	22.37	20.26	8.61	18.42	22.34	14.96	18.68	-	20.31	21.41	22.21	9.96	21.20	9.68	12.64	9.49	20.68	14.64	17.40	4.01	4.37	4.29	4.29	4.63	15.892	19.742	23.227	26.921	20.574	11.627	14.93	11.887	10.534	13.603	47.562	62.467	54.215	59.039	19.41
15	8.86	26.37	22.13	17.61	8.30	17.69	22.78	14.67	18.16	19.38	19.12	20.13	28.04	10.17	20.91	9.91	-	11.68	21.30	14.77	16.46	3.98	4.34	4.27	4.29	4.63	16.256	18.519	24.84	25.1	18.701	11.262	14.28	19.352	10.43	12.719	49.083	64.443	45.576	49.461	19.23
16	8.76	26.11	19.74	16.85	8.06	16.31	28.53	14.18	17.66	21.41	18.55	22.89	23.64	10.17	21.85	10.35	-	8.95	22.60	18.99	15.35	4.03	4.32	4.32	4.29	4.58	13.707	17.349	26.296	24.58	17.427	12.381	13.551	21.172	10.17	12.225	53.547	64.352	40.607	50.477	19.24
17	8.24	-	18.21	16.85	22.76	17.74	25.02	13.45	17.90	-	17.71	21.85	22.03	16.23	-	9.47	-	9.94	20.94	62.74	14.51	4.01	4.24	4.37	4.27	4.66	12.251	29.86	25.646	25.568	14.826	11.965	13.369	20.392	9.8319	11.627	55.998	66.036	37.832	48.47	20.58
18	7.69	23.36	24.01	17.09	11.73	19.20	25.57	12.72	19.85	22.97	16.28	19.30	22.89	11.03	-	-	14.41	9.13	18.13	46.69	14.51	4.03	4.19	4.32	4.27	4.66	11.523	14.93	22.499	24.346	14.332	12.381	13.863	39.614	9.5458	11.392	62.266	66.036	36.33	44.818	20.05
19	8.10	22.29	18.44	15.24	9.10	18.42	28.17	11.89	20.31	25.54	15.01	20.24	21.15	9.68	16.70	-	13.84	8.84	20.26	32.02	-	4.01	4.16	4.42	4.21	4.66	11.106	13.447	21.979	24.71	13.655	11.939	14.982	34.828	9.1556	10.976	61.357	93.146	34.878	42.758	19.88
20	7.73	20.03	17.53	15.11	8.40	38.70	24.27	11.31	20.39	28.12	14.20	18.52	19.12	13.01	15.92	12.17	13.66	8.58	21.04	29.65	-	4.01	4.29	4.32	4.19	4.58	10.872	12.303	20.418	29.626	14.904	12.121	13.369	26.114	8.8695	10.534	53.005	71.042	34.549	40.42	18.90
21	7.82	24.27	18.78	15.29	7.93	19.20	24.66	10.98	19.59	26.66	13.71	15.29	17.97	11.24	15.35	11.50	13.99	8.35	20.55	28.35	14.20	4.01	4.34	4.37	4.16	4.58	10.118	11.392	17.713	36.857	14.332	13.759	12.459	22.785	8.6094	10.222	56.270	64.941	33.289	39.718	17.99
22	10.76	22.47	18.44	14.25	7.59	17.35	37.97	13.29	19.12	23.05	13.79	15.35	21.07	9.75	15.53	12.82	21.25	8.12	22.29	26.48	14.15	4.01	4.29	4.42	4.16	4.58	12.615	10.924	16.256	28.741	15.034	14.462	12.095	20.132	8.5314	9.8319	53.005	84.442	33.444	39.339	18.63
23	9.23	21.51	21.95	16.33	7.41	17.17	24.27	11.65	25.80	19.40	12.69	15.87	21.02	10.61	17.22	17.90	14.80	7.93	26.84	23.98	13.40	4.01	4.24	4.32	4.14	4.55	10.378	10.482	15.866	27.077	13.083	13.499	12.095	18.363	8.3753	9.7018	52.473	80.228	36.165	37.499	18.09
24	8.24	21.33	30.51	15.74	7.15	16.31	22.47	11.65	23.80	16.93	12.25	20.37	18.91	10.30	21.28	14.64	14.31	7.96	29.63	21.56	13.24	4.01	4.16	4.29	4.16	4.55	9.8319	9.9879	16.595	26.296	13.031	13.499	11.913	16.438	8.2192	9.5718	50.112	77.489	35.843	36.494	17.88
25	8.54	19.38	23.38	14.75	6.94	15.40	22.19	14.10	23.20	19.27	12.20	17.90	15.48	9.68	21.64	12.48	-	10.61	28.38	19.53	14.70	4.01	4.11	4.27	4.16	4.53	11.705	9.9879	16.751	24.346	12.225	12.875	14.982	19.586	8.0112	9.2076	47.816	99.146	35.051	35.514	18.15
26	7.76	20.29	22.06	14.20	6.76	16.13	23.44	11.16	23.31	-	-	18.88	20.57	9.21	19.85	11.76	13.29	-	27.18	19.33	19.85	4.03	4.03	4.32	4.16	4.53	12.641	10.456	15.918	22.837	12.563	12.979	15.32	21.432	7.9071	8.9475	44.140	83.088	32.674	34.549	17.88
27	7.42	20.57	19.87	18.36	6.55	14.44	28.25	12.35	23.44	-	12.59	18.42	18.47	8.82	17.53	12.75	12.46	8.92	28.98	18.52	19.25	3.98	4.08	4.32	4.16	4.53	11.262	22.343	14.566	22.265	12.407	12.459	12.069	21.979	7.8031	8.8435	46.314	76.165	32.674	33.133	17.52
28	7.19	18.49	19.66	14.75	6.45	13.60	26.06	12.46	22.55	16.75	11.29	19.87	17.84	8.97	14.15	13.45	11.73	9.05	25.88	18.00	18.65	4.03	4.11	4.27	4.16	4.53	10.794	17.375	15.502	22.473	11.731	12.225	11.809	17.167	7.7511	8.7134	44.118	91.378	31.456	32.21	17.07
29	8.63	18.03	19.61	13.92	6.06	14.05	22.86																																		

DÍA	JUNIO																												PROMEDIO															
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1997		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		
1	8,39	17,32	16,39	16,13	6,11	11,94	20,39	9,65	17,40	21,28	-	23,20	18,65	10,35	11,11	17,84	12,30	7,52	18,44	23,12	12,41	4,03	4,06	-	4,06	4,50	11,31	13,473	19,82	12,225	25,568	10,274	10,144	13,525	14,02	7,4649	8,2973	47,562	68,481	30,724	30,859	16,42		
2	8,24	16,91	15,68	15,48	8,32	20,13	19,64	9,16	-	-	12,25	21,33	18,99	-	10,48	15,37	11,68	7,36	16,57	22,11	12,20	3,98	4,11	-	4,06	4,50	10,20	13,057	19,456	11,939	19,378	9,9099	10,274	15,242	13,603	7,3869	8,2192	45,333	62,020	29,978	29,4	15,78		
3	9,66	13,55	14,67	14,98	5,93	37,66	20,31	8,77	-	15,97	12,04	21,46	17,97	-	9,91	13,58	11,08	7,18	15,14	21,33	12,09	3,98	4,16	-	4,06	4,47	10,07	13,421	16,412	12,979	18,103	10,456	10,586	11,887	13,707	7,3349	7,9851	47,562	59,039	29,255	28,686	15,72		
4	7,95	14,64	13,97	15,55	5,88	19,95	19,12	8,53	14,77	15,81	12,12	20,65	-	10,09	9,88	12,69	10,56	6,97	13,94	21,04	11,96	3,98	4,16	-	4,06	4,42	10,07	23,071	14,332	15,736	16,855	9,7538	10,144	11,445	14,28	7,2829	7,9071	49,083	56,451	29,112	28,685	15,05		
5	7,92	14,98	13,50	20,21	6,19	18,91	19,17	8,53	15,35	16,33	10,66	24,79	16,23	9,34	-	-	10,35	6,84	13,45	-	-	-	-	-	4,40	9,44	17,323	12,225	14,02	15,97	9,5718	10,144	12,485	14,878	7,2308	7,9071	51,949	51,121	28,546	28,827	15,13			
6	DÍA	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	PROMEDIO	
7	1	8,07	15,61	16,33	14,31	13,27	10,82	10,64	10,24	13,66	14,36	10,53	13,85	13,74	3,51	9,57	12,85	9,78	6,93	11,85	21,89	12,20	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
8	2	8,03	12,75	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
9	3	8,46	13,16	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
10	4	7,80	14,25	14,52	11,20	15,93	17,74	12,18	12,51	10,24	11,96	9,62	18,08	16,65	10,17	8,27	10,56	10,66	8,30	10,56	22,02	8,51	3,93	3,68	4,06	4,01	3,67	3,88	11,218	10,571	11,614	13,890	14,157	13,165	10,919	12,407	16,056	10,794	4,359	16,751	17,294	18,404	14,15	
11	5	8,03	13,16	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
12	6	7,86	13,79	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
13	7	7,82	13,55	14,09	14,26	7,15	6,16	17,03	16,44	15,39	7,81	11,68	10,56	16,88	12,41	7,78	8,24	10,74	10,80	9,99	19,75	11,11	7,88	3,68	4,03	4,01	3,67	3,88	11,218	10,571	11,614	13,890	14,157	13,165	10,919	12,407	16,056	10,794	4,359	16,751	17,294	18,404	14,15	
14	8	7,51	14,85	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
15	9	7,06	13,42	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
16	10	6,75	14,57	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
17	11	6,78	14,16	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
18	12	6,59	13,16	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
19	13	6,62	14,49	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
20	14	6,51	11,99	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
21	15	6,36	11,57	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
22	16	6,36	11,68	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
23	17	10,72	16,10	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
24	18	10,51	16,07	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
25	19	6,01	9,99	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
26	20	5,91	9,75	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,112	11,114	11,951	10,610	10,888	7,816	10,861	13,686	19,693	14,29
27	21	6,12	9,57	16,83	14,27	12,74	16,17	11,43	12,78	12,40	10,48	13,19	13,64	12,75	11,83	10,45	9,78	10,61	6,93	11,89	20,89	11,96	4,03	3,68	4,03	4,01	3,67	3,90	13,24	16,6615	13,825	19,366	16,257	16,57	18,1									

## **ANEXO 13: Registro de Caudales Anuales**

		AGOSTO																																								
DÍA	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	PROMEDIO
1	3,67	5,67	-	5,12	4,08	4,76	6,32	5,41	6,61	9,00	6,14	7,86	5,93	5,15	5,20	4,92	4,63	3,64	5,23	7,65	6,27	3,69	5,83	4,73	3,77	4,66	6,5286	5,6962	6,6846	6,9447	5,202	4,9419	5,7483	5,3061	4,1096	4,8119	18,706	27,400	17,49	22,403	7,13	
2	3,67	5,64	5,20	5,12	4,19	4,47	5,88	5,44	8,09	-	6,09	7,67	5,90	5,12	5,18	4,84	-	3,59	5,18	7,10	6,24	3,69	5,75	4,68	3,75	4,66	6,1384	5,7743	6,5286	7,0228	5,176	4,8379	5,8783	5,2541	4,0836	4,7339	18,116	26,372	17,183	22,044	7,01	
3	3,73	5,59	5,15	5,07	3,77	4,63	5,75	5,44	7,36	-	6,03	7,57	5,88	5,07	5,18	4,71	-	3,56	5,05	6,79	6,22	3,72	5,62	4,66	3,77	4,47	6,0344	5,5402	6,4505	6,9707	5,202	4,7859	5,8003	5,202	4,0836	4,6298	17,971	25,685	17,081	20,871	6,87	
4	3,60	5,49	5,07	4,94	3,75	4,55	5,72	7,33	6,53	8,90	-	7,52	5,93	5,07	5,25	4,63	-	3,51	4,99	7,67	6,14	3,72	5,44	4,58	3,75	4,47	5,9563	5,3321	6,3725	7,1788	5,176	4,7599	6,0864	5,2801	4,0836	4,5518	18,263	25,290	16,98	20,299	6,95	
5	3,51	5,41	5,07	4,81	4,21	4,50	5,59	6,61	6,48	8,14	6,09	-	5,75	5,02	5,36	4,58	-	3,49	4,99	8,01	6,11	3,72	5,41	4,63	3,77	4,47	5,7483	5,3061	6,3205	7,0748	5,124	4,7339	5,6182	5,3841	4,0056	4,5258	17,537	25,029	16,779	19,408	6,80	
6	3,38	5,38	4,99	4,84	4,47	4,47	5,38	6,55	6,35	7,59	6,03	7,52	5,70	5,02	5,28	4,55	4,81	3,49	4,97	-	6,19	3,72	5,36	4,55	3,77	4,32	5,6182	5,5402	6,2425	6,9187	5,02	4,6818	5,7483	5,124	3,9275	4,4738	18,116	24,899	16,779	18,647	6,68	
7	3,34	5,46	4,94	4,76	4,21	4,71	5,54	6,92	8,12	7,49	5,98	7,36	5,72	5,02	5,33	4,55	4,86	3,46	4,99	7,28	6,19	3,69	5,33	4,50	3,77	4,37	5,5142	5,8003	6,3985	6,9187	4,968	4,6298	5,6442	4,9419	3,9275	4,4478	17,537	20,457	16,68	17,904	6,59	
8	3,34	5,46	4,97	4,71	4,06	4,63	5,28	6,06	6,37	7,41	5,88	7,31	6,06	4,94	5,15	4,58	5,20	3,43	4,97	6,97	6,09	3,69	5,33	4,47	3,75	4,37	5,4361	6,4245	6,6846	6,7367	4,9159	4,6038	5,4361	4,8379	3,9015	4,3957	17,395	23,505	16,382	17,595	6,57	
9	3,28	5,33	4,84	4,68	3,95	4,53	5,25	5,75	5,96	7,28	6,09	7,20	6,50	5,25	5,36	4,47	5,46	3,38	4,97	6,79	6,06	3,72	5,23	4,50	3,75	4,40	5,3321	6,1644	6,2685	6,9447	4,8639	4,5778	5,5402	4,7859	3,8235	4,3437	17,682	23,134	16,088	17,49	6,53	
10	3,28	5,31	4,73	4,71	3,80	4,94	5,18	5,54	5,88	6,89	6,09	7,05	5,88	5,18	5,44	4,45	4,14	3,33	4,97	6,66	5,98	3,69	5,20	4,47	3,75	4,32	5,176	5,7743	6,1904	6,7367	4,8119	4,5518	5,3581	4,7339	3,7975	4,3697	17,825	23,134	15,99	17,387	6,42	
11	3,25	5,15	4,71	4,73	3,72	4,45	5,10	5,49	5,77	7,52	5,93	6,94	6,45	5,07	5,18	4,40	4,01	3,30	4,97	6,35	6,03	3,69	5,38	4,42	3,75	4,29	5,2281	5,9922	6,0864	6,5026	4,7599	4,5258	5,3061	4,7079	3,7715	4,3177	17,405	25,427	16,382	17,49	6,44	
12	3,15	5,25	4,79	4,53	3,80	4,32	5,10	5,59	5,64	7,07	5,77	7,18	5,77	4,97	4,92	4,34	3,82	3,36	4,97	6,11	5,96	3,69	5,20	4,24	3,75	4,21	5,072	5,3841	5,9563	6,3725	4,7599	4,4998	5,3321	4,6818	3,7715	4,2657	16,691	23,883	16,283	17,387	6,30	
13	3,16	5,31	6,11	4,45	3,67	4,27	5,05	6,24	5,59	6,84	5,72	7,36	5,80	4,94	4,76	4,34	3,67	3,49	4,97	6,06	5,88	3,69	5,15	4,21	3,75	4,21	5,02	5,2541	5,8783	6,3465	4,7079	4,4478	5,3581	4,6298	3,7975	4,2137	16,550	22,889	16,283	18,115	6,30	
14	3,26	5,12	6,55	4,42	3,59	4,24	5,05	6,84	-	7,20	5,67	7,18	5,54	4,92	4,71	4,32	3,59	3,43	4,94	5,90	5,80	3,64	5,10	4,21	3,75	4,03	4,9419	5,4101	6,0604	6,5286	4,6818	4,4478	5,124	4,5778	3,8755	4,1876	16,138	22,401	16,283	17,697	6,29	
15	3,26	4,99	6,81	4,40	3,69	4,29	5,02	6,06	-	6,89	5,59	6,94	5,49	-	4,68	4,32	3,51	-	4,94	5,75	5,77	3,64	5,10	4,16	3,75	4,16	4,8899	5,124	5,9824	6,3725	4,6558	4,3957	5,3841	4,5518	3,7715	4,1876	16,272	23,259	16,283	17,387	6,37	
16	3,80	5,20	5,02	4,37	3,62	4,27	4,94	6,14	5,57	6,74	5,51	6,87	5,44	5,18	4,60	-	3,51	-	4,94	5,62	5,72	3,64	4,97	4,16	3,75	4,14	4,8639	4,9419	5,8263	6,1384	4,6298	4,3957	5,2541	4,4738	3,8235	4,3957	16,274	24,386	16,088	17,285	6,33	
17	3,67	5,15	5,33	5,85	3,51	4,08	4,94	6,32	6,24	6,79	5,44	6,71	5,36	5,23	4,58	-	3,75	3,75	4,89	5,57	-	3,64	4,97	4,16	3,75	4,71	4,8379	4,8639	5,7743	5,9303	4,6038	4,3697	4,968	4,4478	3,7975	4,3957	16,968	22,889	15,893	17,285	6,30	
18	3,25	5,62	5,18	4,45	3,51	4,08	4,94	6,45	6,29	6,71	5,36	6,71	5,33	5,05	4,53	-	3,62	3,77	4,84	5,38	-	3,64	4,92	4,16	3,75	4,27	4,7079	4,8899	5,6182	5,8003	4,5518	4,3437	5,2801	4,5258	3,7715	4,6298	17,537	24,899	16,185	17,182	6,31	
19	3,28	5,15	4,92	4,37	3,51	4,08	4,86	5,98	6,06	6,63	5,36	6,58	5,44	4,92	4,55	-	3,43	3,72	4,79	5,31	-	3,64	4,86	4,16	3,75	4,14	4,7079	4,8899	5,4101	5,8783	4,5258	4,3437	5,02	4,4738	3,7715	4,9159	16,984	27,294	16,283	16,779	6,28	
20	3,21	5,07	4,94	4,40	3,51	4,03	4,84	6,35	5,80	9,21	5,38	6,63	5,46	4,86	4,47	-	3,38	3,59	4,73	-	5,57	3,64	4,89	4,14	3,75	4,37	4,6558	5,4361	5,2801	5,9043	4,4478	4,2917	5,072	4,3957	3,7195	4,3957	15,601	27,194	16,284	16,481	6,30	
21	3,20	5,05	5,07	4,42	3,46	4,03	4,79	5,70	8,14	-	5,25	7,00	5,36	4,76	4,45	-	3,33	3,56	4,68	-	5,49	3,64	4,97	4,21	3,75	4,45	4,6558	4,994	5,3061	5,8263	4,4217	4,2137	5,02	4,3957	3,6935	4,3437	14,935	24,514	15,797	16,382	6,14	
22	3,36	5,02	5,23	4,81	3,51	4,14	4,76	5,44	8,53	7,28	5,18	7,00	5,51	4,68	4,42	-	3,25	-	4,63	5,31	5,38	3,64	4,86	4,14	3,72	4,47	4,4998	4,8639	5,2541	5,7483	4,3957	4,1616	4,994	4,4478	3,7455	4,6558	14,285	29,463	16,185	16,088	6,34	
23	3,15	4,76	4,81	4,40	3,54	4,63	4,76	5,36	8,30	6,84	5,15	7,10	5,20	4,55	4,34	4,42	3,23	3,43	4,58	5,28	5,31	3,64	4,99	4,08	3,72	4,03	4,6038	4,7339	5,176	5,7223	4,3697	4,1356	5,4101	4,3957	3,9275	4,7859	14,674	27,468	16,185	15,893	6,13	
24	3,96	4,71	4,79	4,24	3,51	4,37	5,28	5,44	7,65	6,63	5,02	6,94	5,18	4,55	4,29	4,63	3,17	3,41	4,50	5,25	5,23	3,64	4,97	3,95	3,72	4,21	4,4478	4,7079	5,15	5,7483	4,3437	4,1096	5,124	4,3697	4,0316	4,5778	14,540	25,427	24,159	15,797	6,24	
25	3,55	4,58	4,58	4,19	3,80	4,19	5,28	5,49	6,84	6,61	4,99	8,19	5,18	4,50	4,27	5,41	3,20	4,45	4,47	5,36	5,15	3,64	4,81	3,90	3,72	4,60	4,4998	4,6818	5,072	5,6182	4,3437	4,0836	4,7859	4,3697	3,8755	4,4478	14,930	25,427	16,386	15,701	6,08	
26	6,83	4,58	4,50	4,19	3,82	4,01	4,84	5,59	9,42	6,45	4,99	8,82	-	4,45	4,24	4,99	3,17	4,29	4,40	5,62	5,07	3,64	4,79	3,88	3,72	4,21	4,3697	4,6818	5,046	5,7483	4,3437	4,0836	5,046	4,3437	3,7715	4,6818	14,283	24,903	15,51	15,605	6,18	
27	4,77	4,60	4,32	4,27	3,62	3,95	4,76	5,54	8,58	7,07	4,99	11,76	-	4,42	4,24	4,84	3,17	3,88	4,34	5,51	5,18	3,64	4,81	3,88	3,72	4,58	4,3957	4,5778	5,02	5,7743	4,2917	4,0836	4,8379	4,4217	3,6674	4,9159	14,285	23,507	15,319	15,609	6,13	
28	4,33	4,55	4,42	4,14	3,51	4,06	5,20	5,25	7,99	6,94	5,28	9,26	-	4,40	4,27	5,33	3,17	3,98	4,32	5,59	5,15	3,64	4,99	3,88	3,72	4,34	4,2657	4,5778	5,046	5,6962	4,2657	4,2397	4,7079	4,3437	3,6154	4,5778	14,283	22,889	15,319	15,141	6,02	
29	3,90	4,60	4,37	4,16	3,62	3,85	4,86	5,05	7,33	8,35	6,03	9,13	-	4,37	4,34	4,92	3,10	4,08	4,24	6,03	-	3,64	5,10	3,82	3,72	3,95	4,2397	4,5258	4,968	5,5402	4,2397	4,5258	4,5778	4,2657	3,5894	4,3697	13,651	23,382	19,408	15,319	6,14	
30	4,19	4,53	4,34	4,24	3,67	3,88	5,51	4,99	8,69	8,61	5,75	-	-	4,40	4,32	4,60	3,12	4,11	4,19	6,53	-	3,59																				

## ANEXO 14: Registro de Caudales Anuale

DÍA	SEPTIEMBRE																														PROMEDIO										
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1997	1998	1999		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	4,30	4,53	4,84	4,55	3,98	3,85	5,51	4,92	9,49	8,04	5,93	17,30	4,40	4,11	4,27	3,04	4,92	4,11	-	-	3,20	3,77	5,15	3,88	3,69	3,95	5,072	4,3177	4,9419	5,3841	4,1876	4,3177	4,4738	4,1096	3,6414	4,1876	13,777	24,385	15,605	15,99	6,32
2	4,24	4,45	4,76	4,63	4,34	3,77	5,57	5,10	8,92	7,07	5,36	19,12	4,37	4,08	4,14	2,99	5,20	3,90	8,92	-	3,20	3,77	4,76	3,85	3,69	4,14	6,2425	4,2397	4,8379	5,3581	4,1876	4,2657	4,4478	4,0836	3,5894	4,1356	14,542	24,394	15,319	16,185	6,41
3	4,15	4,55	4,34	4,68	3,64	3,69	6,81	5,05	7,26	7,99	5,12	15,94	4,34	4,08	-	2,99	5,15	3,49	9,08	-	3,20	3,77	4,58	3,85	3,67	3,88	6,0604	4,2397	4,8119	6,0604	4,1876	4,2917	4,4217	4,1096	3,5634	4,2397	14,283	22,768	15,132	16,382	6,31
4	4,30	6,32	4,37	4,19	3,51	3,62	6,89	5,64	6,32	6,79	5,15	11,81	4,29	2,73	5,96	2,94	5,10	3,46	9,36	-	3,20	3,77	4,97	3,88	3,67	4,14	6,2685	4,4217	4,7339	6,8407	4,2137	4,2397	4,3957	4,0836	3,5374	4,4478	14,285	23,015	15,042	16,48	6,21
5	-	4,29	4,11	3,49	3,49	5,57	7,13	6,09	6,50	5,18	11,21	4,29	4,29	5,64	2,89	-	3,46	9,26	-	3,20	3,77	5,15	3,82	3,67	4,73	6,0344	4,3957	4,7859	6,3985	4,1876	4,0316	4,3697	4,2917	3,5114	4,1876	15,866	22,766	14,303	20,645	6,42	
6	4,67	5,07	4,16	4,03	3,49	3,51	5,07	6,84	5,88	6,45	5,20	10,72	4,24	4,19	5,33	2,86	-	3,43	9,16	-	3,20	3,77	4,81	3,77	3,67	4,11	8,3233	4,2917	4,7339	6,9187	4,1876	4,0056	4,3437	4,3437	3,4594	4,1356	15,464	22,771	14,123	21,194	6,31
7	4,19	4,92	4,11	3,95	3,49	3,95	4,86	6,92	6,32	6,37	5,07	10,66	4,21	-	5,12	2,86	4,60	3,43	8,82	-	3,20	3,72	5,62	3,72	3,67	3,95	6,1124	4,4998	4,6818	6,3205	4,2917	3,9536	4,4998	5,7483	3,4334	4,0576	15,593	22,768	14,033	16,879	6,17
8	5,00	5,05	4,11	3,90	3,90	3,75	5,28	9,57	-	6,24	5,31	11,29	4,24	-	5,05	2,78	4,53	3,43	8,12	-	3,20	3,72	5,36	3,75	3,67	4,71	5,9043	4,7859	5,5662	6,3205	4,2917	3,9275	4,4738	6,0864	3,3813	3,9796	15,061	23,901	14,033	17,403	6,35
9	4,66	5,44	4,19	4,06	5,25	3,90	5,10	13,14	5,44	6,79	4,97	10,59	4,19	4,79	4,99	2,76	4,45	3,46	7,39	-	3,20	3,72	5,25	3,72	3,67	5,83	5,8003	4,4217	5,202	6,3985	4,4738	3,8755	4,4998	5,5662	3,4073	4,0836	14,283	22,648	14,033	16,088	6,30
10	4,09	5,02	4,60	4,16	3,95	3,54	4,84	9,73	5,36	7,07	4,92	11,34	4,14	4,50	4,84	2,81	4,29	3,64	-	-	3,20	3,72	4,76	3,75	3,67	4,79	5,5402	4,6818	5,9303	6,3985	4,4217	3,9015	4,6038	5,098	3,4073	4,3177	13,777	21,926	14,034	15,416	6,06
11	3,81	5,07	4,24	4,01	4,37	3,56	4,63	7,88	5,31	7,41	4,89	10,48	4,11	4,32	-	2,78	4,68	3,23	-	-	3,20	3,72	4,79	3,80	3,67	4,11	5,4101	4,3697	5,072	6,7106	4,3957	3,8755	4,6818	4,7859	3,4334	4,4478	14,028	20,985	13,767	14,945	5,92
12	3,75	4,73	4,08	3,93	4,29	3,69	4,50	7,10	5,33	7,31	-	10,04	4,08	4,42	6,71	2,78	4,08	3,07	7,31	-	3,20	3,72	4,79	3,77	3,67	3,95	5,3581	5,072	5,202	6,3465	4,4478	3,8495	4,6818	4,4998	3,4073	5,02	13,903	20,299	13,591	14,576	5,91
13	3,77	4,66	5,46	3,82	3,36	3,51	4,60	6,27	5,12	8,01	-	9,96	4,06	4,50	7,00	2,76	3,93	3,04	7,05	6,63	3,20	3,72	5,90	3,75	3,67	4,19	6,1124	5,02	5,6442	6,2164	4,5258	3,9015	4,7339	4,4217	3,4073	4,7079	13,281	19,96	13,417	14,393	5,94
14	3,75	4,58	5,05	3,80	3,72	3,43	5,23	5,90	5,05	9,29	6,32	9,96	4,19	5,36	7,28	-	3,77	3,43	7,15	6,87	3,20	3,77	5,57	3,72	3,67	4,29	6,4245	4,4738	5,6182	6,3725	4,4738	3,8495	4,5258	4,2397	3,4594	4,7339	13,159	19,848	13,33	14,852	6,09
15	3,60	4,73	4,71	3,77	3,59	3,46	-	5,75	5,83	-	6,24	10,92	4,11	5,36	6,32	-	3,59	3,85	7,96	6,61	3,20	3,77	5,15	3,72	3,67	4,01	6,0864	4,2917	5,5142	6,3725	4,4478	3,8235	4,3437	4,2137	3,8755	4,8639	13,281	19,849	14,393	14,486	6,05
16	3,38	4,71	4,40	3,77	3,72	3,41	6,03	5,62	5,54	7,65	5,38	13,84	4,01	5,59	5,75	2,78	3,51	4,50	7,57	6,50	3,20	3,77	4,71	3,62	3,64	5,36	5,9303	4,1876	5,02	6,3725	4,4217	3,7975	4,2397	4,1096	3,5894	4,9159	13,281	19,516	14,484	14,033	6,00
17	3,34	4,53	4,24	3,72	5,25	3,36	7,36	5,75	5,36	8,43	5,12	17,97	4,01	5,28	-	2,81	3,33	4,84	-	6,37	3,20	3,77	4,66	3,59	3,67	5,05	5,5922	4,2397	5,4101	6,2685	4,4738	3,7975	4,1616	4,0836	3,4334	5,6702	13,527	19,079	16,24	14,033	6,18
18	3,13	6,01	4,24	3,69	4,37	3,36	6,24	5,44	5,64	8,43	5,51	15,68	3,98	5,02	-	2,81	3,17	4,40	-	6,50	3,20	3,72	4,66	3,59	3,64	4,55	5,4882	4,2137	5,176	6,2425	4,4478	3,7975	4,1356	4,1616	3,3033	4,7859	13,405	19,406	13,856	13,944	5,98
19	3,29	5,05	4,68	3,69	5,15	3,67	5,51	5,31	7,62	10,38	5,36	14,36	3,95	4,86	6,63	2,76	3,17	4,08	-	6,61	3,20	3,72	4,71	3,54	3,28	4,63	5,3581	4,2917	5,7223	6,4505	4,3957	3,7975	4,1096	4,7079	3,3033	4,6558	13,527	21,014	13,504	13,855	6,10
20	3,04	4,76	5,51	3,64	4,37	3,75	6,22	5,33	8,14	8,84	5,28	12,80	4,06	4,11	8,14	3,15	3,10	6,11	-	6,79	3,20	3,72	4,66	3,51	3,41	4,92	5,2801	4,5518	5,046	6,7887	4,3697	3,7975	4,0836	4,6818	3,2773	4,6038	13,037	20,299	13,417	13,855	6,09
21	3,07	4,71	4,63	3,64	5,59	5,44	6,61	5,38	7,00	8,77	6,84	14,70	4,01	-	6,71	2,99	3,25	4,86	-	7,00	3,20	3,72	4,68	3,51	4,24	4,63	8,0112	4,2657	8,7134	6,4765	4,3177	3,7715	4,0836	4,994	3,3293	4,7599	12,795	21,217	13,33	13,855	6,40
22	3,02	4,60	4,55	3,64	5,44	4,58	6,48	5,70	5,83	10,79	6,37	28,27	4,99	-	6,09	2,94	2,99	4,16	-	7,20	3,20	3,72	5,12	3,51	4,63	4,14	11,575	4,4998	5,7743	5,8003	4,3177	3,7715	4,0316	4,7599	3,3813	4,4738	13,281	26,234	15,257	14,304	6,93
23	2,99	5,02	4,42	3,62	5,51	4,27	7,88	5,70	5,36	10,35	7,26	19,98	4,76	-	6,37	2,89	2,91	4,08	6,37	7,67	3,20	3,72	5,59	3,54	4,24	4,86	21,432	4,7339	6,8407	6,2425	4,2917	3,7715	4,0836	5,072	3,5634	4,3437	13,281	23,888	13,679	14,575	6,98
24	3,26	4,81	4,19	3,59	4,76	4,24	6,55	5,12	6,79	8,92	8,09	18,05	4,53	-	6,58	2,86	2,97	4,81	6,19	7,75	3,20	3,72	5,64	3,59	4,16	5,12	12,381	4,4478	8,1672	6,4505	4,2397	3,7975	4,1356	5,202	3,4594	4,2397	13,159	24,408	13,073	14,951	6,71
25	3,29	8,79	4,03	3,56	4,19	5,90	6,06	5,44	5,75	12,72	7,75	14,59	-	-	6,22	2,78	2,89	4,66	6,06	8,35	3,20	3,72	5,05	3,51	4,92	4,73	8,6874	4,1356	8,3233	6,0604	4,4217	3,8755	4,2917	6,0344	3,4334	4,0836	13,903	24,524	12,818	14,213	6,76
26	3,23	8,04	4,08	3,54	4,21	5,64	5,93	6,19	5,90	11,63	7,75	18,42	9,34	-	6,06	2,76	2,86	4,32	5,90	8,45	3,20	3,72	7,57	3,51	4,34	4,21	7,8811	4,0316	8,3233	6,4505	4,2137	3,9275	4,2657	5,9043	3,4334	3,9796	14,807	22,052	12,734	15,99	6,89
27	3,26	8,82	4,11	3,56	5,07	4,42	5,44	5,62	5,51	10,30	7,52	25,54	7,10	4,27	6,32	2,76	2,89	4,29	5,75	8,40	3,20	3,72	6,76	3,51	3,85	4,08	8,4533	3,9796	11,262	6,9187	4,2917	3,9536	4,3177	4,5778	3,4854	3,8755	13,777	21,224	12,651	16,679	6,89
28	4,15	10,14	4,11	3,88	6,66	4,60	5,44	5,36	6,11	10,14	7,57	-	6,35	4,19	6,09	2,73	2,81	4,34	5,57	7,57	3,20	3,72	6,11	3,51	4,27	-	7,3609	4,3697	10,638	6,5026	5,3061	4,0836	4,1876	4,3437	3,4594	3,7715	14,028	21,217	12,734	15,536	6,48
29	3,33	12,04	4,47	3,88	6,53	9,13	6,06	7,20	7,18	8,90	7,39	22,58	5,54	4,37	5,77	2,73	2,81	4,42	5,38	7,36	3,20	3,72	5,25	3,51	4,08	-	6,8669	4,6038	7,8811	6,5806	5,072	4,2137	4,3697	5,3061	3,4334	3,7195	14,95	25,876	12,651	14,303	7,09
30	3,08	12,64	6,61	4,11	8,56	4,73	6,48	6,32	6,58	8,53	9,57	25,41	5,15	4,21	5,25	2,68	2,76	4,50	5,20	6,50																					

## ANEXO 15: Registro de Caudales Anuales

DÍA	OCTUBRE																														PROMEDIO										
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1997	1998	1999		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	3.55	8.82	7.26	4.27	8.25	4.34	6.37	6.92	6.22	8.22	10.56	6.74		4.92	4.40	4.92	2.68	2.73	4.84	-	5.93	3.20	3.75	5.20	3.56	4.32	6.2685	4.0056	7.7771	6.7887	4.2137	4.0836	4.7599	5.4101	3.4594	3.6935	12.915	24.264	12.651	14.213	6.49
2	3.54	9.73	8.77	4.40	8.58	4.24	5.44	6.71	5.54	7.93	9.88	6.45		4.84	5.02	4.89	2.65	2.76	5.05	5.49	5.96	3.20	3.77	5.88	3.56	5.07	6.1124	3.9536	7.2829	6.8407	4.0836	4.1096	4.6558	4.7599	3.4334	3.7715	13.281	24.776	14.051	14.033	6.53
4	3.07	9.62	6.92	4.29	7.05	4.92	4.97	8.22	6.32	7.65	18.60	6.22		5.77	4.99	4.53	2.68	2.68	7.41	5.70	5.88	3.20	3.75	6.09	3.62	4.11	7.7771	3.8495	6.8407	6.3725	4.0056	4.0316	4.8119	5.6962	3.8235	3.6414	13.159	24.516	12.567	13.591	6.74
5	3.25	10.38	16.59	3.95	10.04	4.27	4.76	7.99	7.28	7.70	11.34	6.09		5.02	5.46	4.50	2.65	2.68	5.54	5.57	5.90	3.20	3.75	5.62	3.62	3.75	6.6846	3.9275	6.6066	6.3725	4.0316	3.9796	4.7859	5.098	4.2137	3.6414	13.777	24.264	12.319	13.333	6.77
6	3.13	9.94	8.58	3.72	8.14	4.01	4.71	9.42	12.07	7.88	-	6.09		4.79	4.79	-	4.03	2.63	5.07	5.46	6.09	3.20	3.72	5.36	3.62	3.56	8.4793	4.1356	6.2685	6.3725	4.0576	3.8495	4.6558	4.9419	3.7195	3.6154	15.069	24.519	12.319	14.852	6.67
7	3.44	8.06	7.80	3.64	12.04	3.77	4.58	7.96	7.54	7.93	11.39	6.03		-	4.24	-	3.67	2.60	5.93	5.25	6.40	3.20	3.77	5.51	3.62	3.54	6.6326	3.9015	6.3985	6.5806	4.1876	3.7455	4.8639	6.1644	4.8899	3.5894	16.41	24.132	13.606	16.217	6.84
8	3.25	6.97	6.29	3.90	9.96	3.64	4.60	7.28	6.22	8.66	13.34	7.15		5.18	4.21	4.94	3.41	-	5.93	5.20	6.48	3.20	3.77	7.10	3.62	3.51	6.5546	3.9015	5.9563	6.6326	4.1876	3.7195	4.9419	5.6182	4.4998	3.5894	16.968	26.234	15.134	14.219	6.84
9	3.20	7.57	6.01	5.18	9.23	3.80	-	7.05	6.61	8.92	11.29	6.84		5.12	4.21	-	3.30	-	5.44	5.20	6.37	3.20	3.77	6.74	3.62	3.62	7.543	3.8495	5.7223	6.4505	4.0836	3.6674	4.968	5.176	4.2397	3.5634	17.537	26.346	14.04	13.331	6.86
10	3.36	7.33	7.05	5.44	8.66	3.51	5.70	6.63	7.02	7.93	10.87	6.50		4.99	4.16	6.61	3.23	2.55	5.41	5.36	6.11	3.20	3.77	7.90	3.64	3.54	8.4793	3.7455	5.5402	6.0864	4.1356	3.6674	6.5026	5.202	3.9796	3.5374	16.829	26.845	13.944	13.073	6.70
11	3.75	-	6.14	5.18	9.42	3.49	-	7.33	11.03	7.57	11.03	7.46		-	4.73	6.24	3.17	3.72	6.45	5.36	5.70	3.20	3.80	7.96	3.64	3.56	9.2336	3.7195	5.6962	5.9563	3.9796	3.6674	4.994	9.5458	3.7455	3.5374	16	27.159	13.767	12.903	7.05
12	9.22	-	19.38	5.15	15.22	3.49	6.19	7.41	10.87	7.31	9.88	8.30		5.05	4.29	6.11	3.07	3.75	8.97	5.33	5.49	3.20	3.80	9.10	3.64	3.36	7.725	5.046	5.8783	5.8003	3.8495	3.6154	4.7859	7.7511	3.6154	3.7455	15.866	27.294	15.636	13.818	7.66
13	9.58	-	12.46	5.44	11.16	3.49	-	7.02	8.22	9.52	9.00	7.28		5.15	4.11	5.90	-	3.77	6.32	5.77	5.54	3.20	3.77	8.82	3.64	-	7.4389	4.0576	6.5026	5.5922	3.7975	3.5634	4.6038	5.8523	3.5114	5.4101	16.691	28.991	14.033	12.818	7.49
14	6.65	-	13.73	4.89	9.29	3.36	5.33	7.05	6.92	7.78	8.43	7.26		5.02	4.08	5.77	-	3.54	9.08	7.18	6.11	3.20	3.77	14.05	3.64	-	6.7627	3.8495	5.7483	5.4361	3.8755	3.6674	4.4998	5.072	3.3293	6.5546	15.866	31.998	16.581	12.818	7.56
15	9.87	-	14.33	4.45	8.04	3.41	5.28	7.65	6.45	7.59	8.66	7.59		4.94	3.98	6.06	-	3.17	7.83	7.41	6.37	3.20	3.77	8.22	3.64	-	6.5286	3.7195	5.3061	5.3321	3.9536	3.5634	4.5258	4.9159	3.3293	5.4621	14.679	28.969	15.437	12.734	7.23
16	6.26	-	11.99	4.08	7.31	3.36	5.49	7.13	6.35	8.38	9.13	10.77		4.73	3.82	7.93	-	2.76	6.55	8.40	-	3.20	3.72	7.23	3.64	-	6.2164	3.6674	5.046	5.2541	3.9275	3.5374	4.7599	4.7859	3.1472	4.9419	13.777	28.131	14.213	15.143	7.11
17	6.95	10.77	9.99	3.90	6.40	3.33	5.41	8.45	5.93	8.27	9.49	9.36		4.45	3.67	6.94	-	2.76	7.36	11.03	10.30	3.20	3.77	7.15	3.64	-	5.9824	3.6935	6.6326	5.202	3.8235	4.0316	6.8147	4.5778	3.0952	4.4738	14.028	26.625	13.856	15.912	7.33
18	8.76	10.95	9.55	3.82	5.93	3.30	4.73	8.06	5.64	8.82	11.26	8.90		4.37	3.67	6.58	5.41	2.71	5.90	8.61	9.29	3.20	3.77	6.97	3.64	-	7.0488	3.7455	6.4505	5.072	3.8235	4.2137	6.0344	4.7079	3.0692	4.0576	14.67	25.814	13.504	14.396	7.12
19	8.03	7.73	9.29	4.19	5.72	3.23	4.60	7.52	-	9.34	9.99	8.17		4.21	3.64	-	5.02	2.76	11.24	6.97	10.61	3.20	3.80	7.93	3.64	-	6.6326	3.9536	5.7743	4.968	3.6674	4.4217	5.8263	4.8119	3.0432	3.8495	14.54	26.717	15.047	14.215	7.17
20	4.48	7.00	7.46	4.24	5.33	3.20	4.66	8.77	5.44	8.35	8.74	7.46		-	3.64	-	4.73	2.81	13.99	5.77	10.72	3.20	3.77	7.31	3.64	-	6.7887	4.2917	5.3581	4.9159	3.6414	4.8379	5.7223	5.3061	3.1732	3.7195	13.651	16.124	13.856	13.418	6.65
21	4.03	6.66	6.89	3.95	5.12	3.56	4.55	7.83	5.33	8.45	8.58	7.18		-	3.62	5.85	4.40	2.99	12.54	5.70	11.99	3.20	3.77	6.53	3.69	-	10.222	3.7455	5.046	4.7859	3.5894	5.7223	5.4101	5.7223	3.1993	3.5894	13.653	26.7	14.127	13.073	6.89
22	3.77	6.66	6.50	4.03	4.94	3.75	4.97	14.51	15.29	7.49	9.08	7.28		5.36	3.62	5.51	4.08	3.07	21.95	5.54	11.03	3.64	3.77	7.49	3.77	-	8.2713	3.8235	5.046	4.7599	3.5894	6.0344	5.3581	5.3841	3.1212	3.5894	14.283	27.859	13.246	17.828	7.61
23	3.59	6.84	6.03	3.93	4.79	5.59	4.71	13.89	7.26	7.00	13.24	6.97		5.23	3.62	5.20	3.80	2.99	13.42	5.77	10.82	3.72	3.77	10.66	3.77	-	9.3377	3.6935	5.6442	4.7079	3.5894	7.3609	5.124	6.0604	3.4073	3.5634	14.156	28.7	12.651	14.396	7.34
24	3.55	8.69	5.77	3.77	4.68	4.08	4.45	16.26	6.79	6.79	13.21	6.76		5.15	3.82	4.94	3.59	2.89	15.22	6.61	14.96	3.72	3.77	10.77	3.75	-	7.3609	3.6414	6.0864	4.6818	3.5634	7.2569	4.8379	4.968	3.1212	3.6935	14.799	28.717	12.485	13.168	7.43
25	3.52	9.00	5.62	3.80	4.58	3.82	5.02	10.33	5.80	6.66	11.03	6.58		7.39	3.82	4.81	3.46	2.78	14.02	7.05	12.30	3.72	3.75	9.42	3.75	-	8.9215	4.1356	9.1816	4.6558	3.5894	7.4389	4.7859	4.7339	3.0692	3.9275	14.283	28.991	12.156	13.330	7.24
26	3.38	10.56	5.36	3.75	4.58	3.59	5.88	8.84	-	6.53	9.57	8.48		7.00	3.80	4.66	-	2.76	11.37	7.65	10.59	3.88	3.77	8.22	3.77	-	12.459	4.3437	8.0372	4.6038	3.5634	7.8291	4.8899	4.994	3.0692	3.7195	13.777	27.064	11.913	13.168	7.26
27	3.41	-	5.33	5.54	5.10	3.69	4.86	7.99	5.31	6.53	8.97	9.34		8.84	3.75	4.63	-	2.99	17.40	7.46	9.57	3.77	3.77	11.18	3.77	-	10.118	4.4738	7.9331	4.6298	3.5894	7.673	4.6558	4.9159	3.0692	3.5894	14.028	36.13	11.993	13.331	7.59
28	3.42	12.28	5.18	5.23	7.88	6.92	4.71	7.62	5.59	6.58	8.53	9.05		6.01	3.64	4.58	-	3.95	14.85	7.39	8.97	3.88	3.77	9.70	3.77	-	21.719	4.0056	6.2425	4.5778	3.6414	7.0228	4.7339	4.9419	3.0432	4.8379	13.527	54.812	12.237	13.073	8.43
29	3.98	9.81	5.07	9.99	5.36	5.85	4.94	7.39	5.93	6.63	7.70	-		5.05	3.59	4.45	4.92	3.80	15.53	7.46	8.38	3.88	3.80	8.45	3.77	-	17.401	3.8495	5.7223	5.15	3.5894	6.9447	4.6298	6.4765	3.1732	4.4478	13.037	45.78	11.993	12.818	7.86
30	3.65	7.99	4.99	5.41	4.73	5.38	6.66	7.54	6.09	7.49	7.67	7.36		4.79	3.62	4.37	4.58	3.62	13.06	7.39	7.83	3.88	3.80	7.75	3.77	-	14.826	4.3957	5.3321	5.098	3.4854	6.2164	4.6298	5.2801	3.1993	4.1096	13.653	36.659	11.993	12.903	7.24
31	3.52	7.86	4.81	10.77	4.66	5.02	9.13	9.08	5.54	6.89	7.67	7.07		4.68	3.59	4.32	4.37	3.59	10.90	7.28	7.36	3.98	3.80	9.21	3.72	-	16.516	3.9275	5.4361	4.968	3.4334	5.5662	4.5258	4.968	3.2253						

## ANEXO 16: Registro de Caudales Anuales

DÍA	NOVIEMBRE																															PROMEDIO									
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1997	1998	1999	2000		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	3.46	7.80	4.73	5.85	5.02	5.33	6.53	9.73	-	6.61	7.57	6.79	4.58	4.53	3.54	4.27	4.29	-	17.84	7.18	6.97	3.88	3.85	11.16	3.59	3.64	19.039	3.9015	5.202	5.046	3.3813	7.2048	4.3957	4.7599	3.1993	3.9275	14.031	41.87	11.993	12.734	7.62
2	3.49	7.86	4.68	4.99	4.29	5.38	6.27	7.96	4.99	7.20	7.39	6.94	4.99	4.55	3.49	4.21	4.24	-	16.96	7.15	6.66	3.93	3.93	9.13	3.54	3.64	14.228	4.3177	5.3321	4.8899	3.3813	8.1932	4.2657	5.4361	3.1993	3.6935	13.653	43.672	11.913	12.65	7.35
3	3.68	7.57	4.58	4.47	4.24	4.73	13.27	8.14	5.05	7.65	7.18	6.76	4.92	4.37	3.49	4.21	4.40	3.23	15.87	-	6.40	3.93	3.93	7.99	3.51	3.64	15.84	4.6038	5.098	4.6818	3.3033	9.4937	4.0836	5.5142	3.2773	3.6414	13.405	36.167	11.753	12.65	7.20
4	5.63	7.18	4.97	4.29	4.32	6.50	13.53	7.70	4.81	7.28	7.57	7.20	4.50	4.24	3.62	4.19	4.94	3.17	14.25	-	6.24	3.88	3.98	7.44	3.51	3.69	16.803	4.1876	4.9419	4.5778	3.3033	7.2569	4.0576	6.1124	3.4334	3.5894	13.553	35.051	11.673	12.485	7.17
5	5.96	14.23	5.05	4.03	4.47	11.76	9.83	-	4.73	7.31	7.26	7.20	4.24	4.19	3.75	4.21	5.36	3.30	10.79	-	5.77	3.93	4.03	7.07	3.54	3.72	21.771	4.4998	4.7599	4.4998	3.3033	9.0256	4.2137	6.2945	3.4594	3.5894	14.931	33.757	11.913	12.319	7.48
6	4.76	12.88	4.99	3.88	4.37	6.84	9.62	-	4.68	7.70	7.00	8.19	4.63	-	3.85	4.08	4.40	3.33	10.72	-	5.46	3.98	4.03	6.74	3.56	3.72	16.334	6.5026	4.994	4.4217	3.3293	10.378	4.2397	5.9303	3.5374	3.7195	17.399	36.33	11.674	12.237	7.42
7	6.65	11.81	4.66	3.90	4.27	5.49	7.46	9.13	4.94	7.96	7.93	7.65	4.45	4.32	3.95	4.03	3.82	3.28	9.91	7.59	5.36	3.98	4.03	6.32	3.54	3.69	19.118	7.621	7.595	4.3957	3.2773	8.5834	4.6038	6.0344	3.9536	3.7195	17.975	32.868	11.359	11.913	7.33
8	6.07	13.21	4.47	3.82	5.05	4.79	-	11.70	5.36	7.20	6.89	7.31	4.45	4.16	3.98	4.01	3.62	3.46	10.30	7.52	5.28	3.93	4.08	6.06	3.54	3.69	23.305	6.3205	6.0344	4.3177	3.2773	7.725	4.5778	6.3725	6.1124	4.7859	20.383	31.465	11.127	11.516	7.47
9	5.83	17.58	4.45	3.69	5.64	4.55	7.39	8.69	5.96	7.18	13.42	7.31	4.40	4.08	3.72	3.98	3.43	9.34	11.65	7.46	5.18	3.93	4.55	5.88	3.54	3.72	22.473	5.9043	5.4882	4.2397	3.2773	6.9447	4.7599	5.9824	4.9159	4.7599	23.644	30.868	11.05	11.359	7.81
10	5.49	17.22	4.45	3.56	6.11	4.99	7.33	7.62	5.62	9.05	10.22	7.07	4.32	3.98	3.54	3.90	3.25	6.61	16.10	8.19	5.07	3.98	4.11	5.83	3.56	3.72	20.262	5.15	5.176	4.1876	3.2773	6.3985	4.7079	5.8263	3.9275	4.5258	27.93	29.692	11.204	11.437	7.72
11	5.05	14.28	4.53	3.56	6.11	8.30	7.26	7.26	5.44	7.31	11.21	8.19	5.54	3.90	3.85	3.88	3.07	4.94	18.57	8.30	4.99	3.98	4.08	5.83	3.51	3.72	20.73	5.3581	4.9419	4.2917	3.3033	6.3725	4.6818	5.7483	4.6558	6.2425	38.328	30.004	10.973	11.673	8.10
12	5.02	14.77	4.42	3.46	5.93	6.40	6.45	6.97	6.53	6.84	10.53	7.59	5.20	3.88	3.64	3.93	3.02	5.57	14.31	7.75	4.92	3.88	4.08	5.70	3.51	3.72	20.288	4.7859	4.8119	4.3697	3.7975	6.0604	5.4101	5.5662	6.3205	6.1124	37.444	34.71	11.753	20.662	8.25
13	5.81	12.72	4.32	3.49	7.73	10.53	6.22	6.84	16.33	6.53	10.98	6.87	5.57	3.82	3.62	3.85	3.07	-	12.98	7.07	4.84	3.88	4.08	5.51	3.49	3.72	23.799	4.7079	4.6818	4.6558	4.3957	8.0892	4.6038	5.3581	5.202	5.6026	37.006	35.208	11.676	21.334	8.75
14	4.19	11.47	4.16	3.49	5.94	7.65	5.96	6.50	10.09	6.27	9.29	6.63	6.37	3.77	3.59	3.82	3.23	4.89	10.22	6.45	4.73	3.82	4.08	5.33	3.46	3.72	24.007	5.124	4.6298	4.6818	6.7106	7.4129	4.1356	4.968	4.7339	19.378	39.221	40.871	11.994	21.57	8.70
15	5.75	10.92	4.14	3.54	5.07	7.15	6.35	6.35	7.33	6.22	10.66	7.28	5.93	3.75	3.54	3.82	3.17	4.71	12.56	5.75	4.66	3.82	4.45	5.20	3.46	3.72	25.594	5.8263	4.5778	4.5778	5.176	6.3985	4.6558	4.6558	4.7859	9.7278	39.452	33.306	11.516	29.327	8.47
16	9.54	11.68	4.14	3.69	4.71	5.57	9.23	6.19	6.68	6.09	11.21	7.18	4.99	3.69	3.56	3.82	3.46	4.76	14.57	5.88	4.66	3.77	4.11	5.20	3.49	3.72	19.82	5.8523	4.5258	4.7339	5.6442	6.2164	4.9159	4.6038	4.3697	7.8551	37.006	32.671	11.204	26.141	8.28
17	6.36	15.58	4.14	3.77	4.58	5.10	8.69	6.71	7.73	6.03	14.96	7.07	5.51	3.67	3.64	3.77	3.67	4.63	16.46	5.93	4.92	3.82	4.11	5.35	3.51	3.72	22.837	6.1644	4.4998	4.8639	4.5258	6.1384	5.6182	4.4998	3.9796	6.1384	35.707	31.156	11.359	19.739	8.26
18	5.73	14.36	4.24	3.56	4.37	4.71	6.53	7.02	7.13	5.96	15.29	6.79	5.57	3.82	3.62	3.77	3.67	4.53	17.17	6.74	5.25	3.77	4.08	5.20	3.51	3.72	22.031	6.1124	4.4478	5.02	4.2137	6.3985	5.4882	4.3697	3.7975	5.6182	34.022	29.692	12.734	24.605	8.22
19	5.42	16.44	4.34	4.06	4.19	4.32	6.11	14.20	6.45	6.14	12.82	7.07	4.99	3.72	3.59	3.69	3.59	4.37	19.51	6.40	-	3.88	4.03	5.35	3.51	3.72	19.534	5.4621	5.072	5.098	6.0344	6.5806	5.4101	4.3177	3.6154	5.5142	34.437	28.546	14.164	20.533	8.36
20	4.66	21.51	4.34	5.44	4.16	4.16	5.72	10.09	8.01	5.88	10.46	7.18	6.37	3.64	3.64	3.69	3.46	4.24	21.15	6.24	-	3.82	4.01	5.10	3.51	3.72	19.482	5.4101	6.8147	4.8379	5.2801	6.2425	5.098	4.4998	3.4334	5.3841	33.604	27.708	12.485	19.297	8.30
21	4.48	19.48	4.50	5.62	4.08	4.08	5.41	8.90	10.38	5.75	9.62	8.12	5.57	3.62	3.93	3.67	3.54	4.08	29.31	6.11	-	3.90	4.03	5.05	3.51	3.77	26.374	5.2541	7.0488	4.8379	5.02	5.8263	6.2164	4.6558	3.3033	5.7743	31.976	27.433	12.156	18.558	8.59
22	4.56	18.08	7.18	4.24	3.98	4.06	5.88	7.15	10.22	5.77	10.64	8.58	4.99	3.93	3.62	3.62	#####	3.93	20.44	6.24	-	3.85	3.98	5.51	3.51	3.77	22.005	5.2801	5.3581	4.8119	5.5402	5.3841	5.3061	4.4478	3.3033	12.745	29.237	26.89	11.833	16.781	8.21
23	4.56	15.29	4.60	3.93	3.93	4.03	5.57	6.74	-	5.85	15.19	11.37	4.97	3.75	3.49	3.62	4.14	3.77	17.50	6.22	5.75	4.29	3.93	5.64	3.49	3.80	20.002	5.072	5.5922	4.8639	5.3581	5.3321	5.3061	4.3177	3.1993	11.731	26.808	26.081	17.01	17.905	8.05
24	3.12	13.50	9.75	3.82	4.01	3.93	5.25	6.58	-	5.96	15.58	10.27	4.63	4.94	3.49	3.62	4.03	3.64	17.84	6.37	6.03	3.82	3.93	6.14	3.49	3.80	25.36	4.9419	6.0344	4.7859	5.5662	4.9159	5.202	4.3437	3.0692	13.135	23.141	25.947	21.647	17.094	8.27
25	4.80	11.99	4.79	3.77	3.90	3.85	5.10	6.35	8.17	6.22	25.44	9.42	4.73	4.86	3.54	3.54	3.82	3.62	19.22	6.40	17.22	3.82	3.98	6.01	3.51	3.82	22.603	4.6038	6.9707	4.968	4.968	4.7339	5.4361	5.5402	3.0172	13.811	20.700	30.166	20.582	15.606	8.64
26	4.67	10.66	5.83	3.62	4.32	4.32	5.77	6.40	8.56	7.36	15.89	8.77	4.99	-	3.54	3.56	3.67	3.56	19.25	6.22	15.22	3.80	4.03	7.28	3.46	3.82	17.349	4.4217	5.124	4.8639	7.3869	4.7859	5.124	6.5026	2.9652	11.835	17.971	28.546	15.528	15.319	8.11
27	4.93	9.57	7.10	3.54	3.75	4.45	6.32	6.19	9.73	6.32	14.25	8.04	4.89	4.79	3.59	3.54	3.54	3.67	17.90	5.93	11.83	3.82	4.03	5.33	3.38	3.82	21.094	4.3437	4.7859	4.968	7.673	4.7079	4.968	6.0084	2.9392	11.887	16.968	26.22	14.123	16.879	7.80
28		8.84	4.92	3.46	3.64	4.34	5.83	5.98	13.03	6.89	13.47	7.65	5.02	4.11	3.59	3.54	3.49	3.95	15.06	5.62	9.36	3.82	4.03	5.10	3.62	3.82	25.88	4.2397	5.6442	5.02	5.4101	4.8379	5.5402	5.3841	2.9131	12.485	17.682	25.42	14.213	20.072	7.87
29	4.40	8.30	5.70	3.49	3.64	4.66	10.48	6.40	9.86	6.35	12.35	7.46	5.59	3.93	3.59	3.54	3.43	3.77	12.17	5.57	-	3.85	3.98	5.15	3.41	3.82	28.663	4.1876	5.6442	5.124	4.8379	8.8695	7.9071	5.124	2.8871	17.973	17.254	24.387	19.844	22.329	8.20
30	4.50	7.96	4.76	3.51	3.64																																				

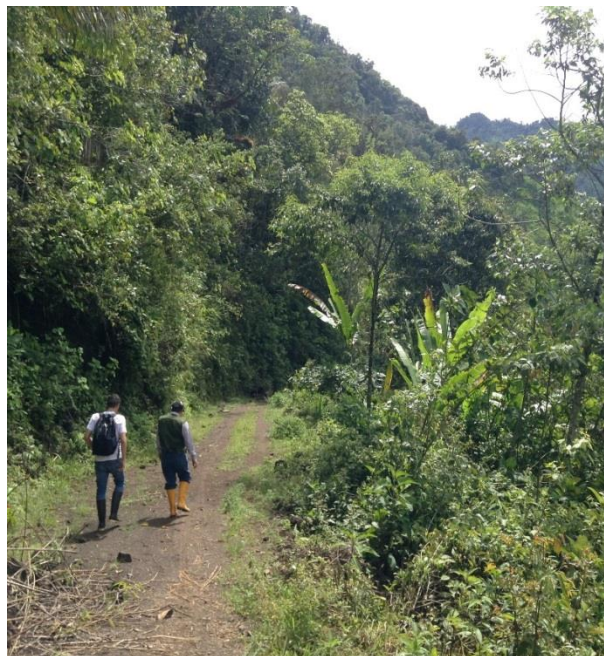
## ANEXO 17: Registro de Caudales Anuales

DÍA	DICIEMBRE																															PROMEDIO										
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1997	1998	1999	2000		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	4,06	7,88	3,67	3,46	3,54	6,22	11,68	5,90	8,22	7,80	17,30	6,94	5,88	5,12	3,54	4,16	5,10	3,56	12,04	18,42	5,23	3,82	3,85	6,27	3,54	3,98	4,99	29,574	4,0316	13,083	5,15	4,3697	8,8175	6,8927	5,9824	2,8611	9,7018	17,395	23,505	15,727	19,626	8,36
2	3,80	7,26	4,37	3,46	3,49	5,72	9,31	6,76	7,36	6,53	19,12	6,84	5,33	4,73	3,56	3,95	4,92	3,54	10,74	17,71	5,23	3,88	3,77	6,01	3,46	3,98	4,89	21,302	3,9275	9,6238	5,15	4,1876	7,517	6,1124	9,0256	3,6414	8,9995	17,254	23,257	13,856	17,904	7,84
3	3,75	7,18	4,24	3,38	3,46	4,68	13,71	6,71	7,96	6,01	15,94	6,66	9,34	4,42	3,85	3,75	4,60	3,49	11,26	-	5,23	3,82	3,75	5,25	4,01	3,98	4,53	28,195	3,8755	8,1672	5,2801	4,0836	5,6182	5,7743	7,595	3,0952	8,7654	18,263	23,863	16,099	17,697	7,78
4	3,54	7,18	4,47	3,43	3,43	5,57	14,10	6,14	10,98	5,72	11,81	6,50	5,44	5,28	-	3,62	4,24	3,43	18,29	-	5,23	3,77	3,75	4,92	4,47	3,98	5,18	31,342	3,8235	8,5574	5,2541	4,6558	6,2164	5,176	6,2685	3,0432	8,6874	18,124	24,771	17,473	17,49	8,09
5	4,11	6,89	6,32	3,36	3,38	9,91	10,66	6,84	10,98	-	11,21	6,50	5,23	4,86	-	3,62	4,01	3,46	17,82	11,96	5,23	3,82	3,75	4,76	4,66	3,98	4,89	34,672	3,7975	8,8435	5,098	5,2281	8,6874	4,9159	7,3609	3,0692	8,3233	19,459	23,772	14,489	17,49	8,39
6	4,17	6,66	10,22	3,75	3,33	7,18	8,45	6,09	9,05	5,49	10,72	6,87	5,33	4,60	4,08	3,56	3,95	3,77	23,18	17,30	5,23	3,82	3,75	4,58	4,24	3,98	6,87	37,559	3,8235	8,2192	4,994	4,5258	11,965	4,7079	8,2973	3,1993	9,4417	18,409	23,861	14,04	17,184	8,55
7	4,35	7,26	7,59	3,43	3,28	11,44	9,49	5,96	15,63	5,38	10,66	6,71	5,15	4,81	4,06	3,51	3,90	3,90	21,74	8,66	5,23	3,88	3,69	4,58	3,64	3,98	6,68	38,703	3,7455	8,1672	4,9419	4,3697	20,912	4,6038	9,1556	3,0692	11,262	17,254	25,03	17,497	16,98	8,89
8	3,96	6,53	6,84	3,30	3,28	14,25	8,25	6,06	30,59	5,44	11,29	6,50	5,15	8,04	5,05	3,49	4,76	3,95	37,84	9,70	5,23	3,88	3,72	4,53	3,51	3,98	5,02	33,137	3,6674	7,647	4,7599	4,8379	15,138	4,5258	11,288	3,0692	15,138	17,682	23,894	21,851	22,402	9,83
9	3,55	6,89	5,77	3,43	3,41	18,13	7,62	5,80	22,99	5,46	10,59	6,32	-	6,61	4,58	3,51	4,94	3,56	27,86	8,12	5,23	3,77	3,75	4,50	3,36	3,98	4,58	33,267	3,6414	7,4129	4,7339	4,5518	20,964	4,6298	9,3897	3,1212	11,028	16,550	22,869	22,412	28,991	9,55
10	3,51	7,28	4,97	3,51	3,46	15,79	7,46	5,75	21,07	5,75	11,34	6,09	6,45	6,06	4,32	3,56	5,10	3,46	29,94	7,41	5,23	3,77	3,77	4,42	3,28	3,98	4,84	30,146	3,6154	7,4389	4,7859	5,072	11,653	4,6818	8,3233	3,0692	10,04	17,537	22,264	31,007	33,208	9,38
11		6,63	4,73	3,64	3,56	9,83	7,46	5,62	-	5,38	10,48	5,96	5,90	-	4,08	3,51	5,62	3,75	25,26	7,31	5,80	3,82	3,85	4,47	3,23	3,98	4,68	34,125	3,6414	7,1788	4,7859	5,4361	10,144	5,202	8,1672	3,1212	9,2857	18,116	23,021	18,325	29,287	8,64
12	3,28	6,09	4,68	4,47	3,67	7,83	6,94	5,54	18,47	6,06	10,04	5,88	5,23	10,35	3,85	3,85	7,46	4,06	21,98	7,18	5,80	3,85	3,88	4,53	3,43	3,98	5,54	27,701	3,8495	7,517	4,7859	4,7599	9,0516	6,5286	7,8811	3,1472	8,0372	19,459	26,678	22,712	27,995	8,73
13	3,25	6,24	4,50	4,47	3,41	7,57	6,24	5,36	16,80	5,38	9,96	5,75	5,07	8,45	3,72	3,75	6,81	3,98	20,78	7,31	5,80	3,90	3,93	4,58	3,28	3,98	4,84	27,805	3,8755	8,0632	4,9159	5,176	8,5834	5,6442	7,3609	3,2773	7,2569	20,383	25,685	22,044	27,846	8,46
14	3,28	6,09	4,42	4,37	3,56	6,66	-	5,41	15,55	5,20	9,96	5,67	4,97	6,84	3,95	4,40	6,32	4,58	21,43	7,26	5,80	3,95	3,98	4,60	3,23	4,03	6,76	23,461	3,7195	8,6874	4,968	10,612	18,987	5,176	7,0488	3,3293	6,9447	20,853	31,415	21,38	40,434	9,23
15	3,13	6,32	5,41	4,81	3,69	6,37	7,73	5,15	13,89	5,15	10,92	5,80	22,16	5,90	4,58	5,36	5,59	5,20	19,59	7,46	5,88	3,95	4,08	4,94	3,20	4,03	6,27	26,608	3,7975	11,757	5,5142	7,3869	8,5574	6,4245	17,349	3,3033	6,8407	23,141	35,368	18,338	60,132	10,27
16	3,23	7,20	5,90	8,56	3,59	5,85	9,00	5,07	13,08	5,36	13,84	-	7,59	6,03	5,25	5,46	4,86	4,86	22,92	9,08	5,80	3,98	4,11	4,86	3,17	4,03	6,03	25,126	3,8495	13,837	5,7223	6,8407	9,5718	5,6962	14,176	3,2773	6,8407	23,811	32,42	19,093	39,203	9,71
17	3,16	7,05	5,46	4,66	3,85	5,49	15,32	5,15	26,32	5,62	17,97	6,58	17,97	-	6,61	5,02	4,11	4,89	23,88	9,13	5,23	4,03	4,11	4,84	3,28	4,03	5,62	24,554	4,0576	13,525	5,15	9,1816	10,248	5,072	14,878	3,2773	6,7627	21,988	30,437	54,545	66,036	11,98
18	3,28	7,05	7,99	4,86	3,54	5,23	10,35	6,94	17,97	8,38	15,68	7,52	15,89	6,48	10,27	4,84	4,24	4,84	26,97	9,05	5,85	4,03	4,11	5,05	3,43	4,03	6,81	24,71	4,0056	12,563	4,7859	10,222	10,118	4,9419	12,511	3,2513	6,5806	19,160	33,132	49,563	73,897	11,81
19	3,88	6,42	12,20	4,45	3,67	8,77	9,21	5,54	20,73	6,19	14,36	-	15,14	-	11,16	4,50	4,29	-	23,28	9,34	5,90	4,08	4,16	4,81	3,64	4,03	9,55	26,973	3,9796	12,017	4,5778	10,04	8,8895	6,3725	11,054	3,3553	6,4765	19,479	37,265	41,87	89,459	12,66
20	6,59	8,51	17,48	4,21	4,19	10,69	9,86	5,15	15,03	-	12,80	7,73	-	-	7,73	4,32	4,24	-	25,70	9,96	5,96	4,06	4,16	4,81	3,59	4,03	11,50	24,606	3,8495	10,95	4,3697	9,5197	12,355	8,2192	9,7278	3,5114	6,6326	23,472	32,674	49,696	72,717	12,56
21	10,79	9,57	9,70	4,47	4,01	8,06	11,52	5,57	17,19	7,05	14,70	8,92	9,68	4,68	6,50	4,16	4,29	13,27	25,96	9,68	6,01	4,03	4,16	4,53	3,36	4,08	9,26	22,213	3,7715	10,404	4,2917	8,1932	14,722	7,725	8,7134	3,9796	14,098	39,470	36,33	43,984	60,274	12,28
22	6,30	10,53	7,65	4,45	8,04	8,06	10,17	10,48	13,03	11,24	28,27	11,89	8,82	4,79	6,27	3,95	4,16	9,73	27,34	9,05	6,09	4,08	4,16	4,66	4,06	4,08	8,69	19,742	3,5114	25,334	4,4998	10,768	10,612	8,3493	8,1412	4,9419	11,835	37,449	37,16	38,116	55,745	12,59
23	5,62	8,14	6,55	4,14	3,98	8,61	18,31	16,67	10,98	13,58	19,98	7,75	7,88	4,84	6,24	3,75	4,14	6,66	23,41	8,51	6,14	4,03	4,21	4,92	7,02	4,08	10,46	17,687	3,4854	19,586	4,3697	8,3753	10,04	6,6846	7,543	5,3581	10,638	34,445	61,649	32,674	78,903	12,98
24	5,47	16,72	7,26	3,88	3,93	12,75	10,85	17,30	10,14	10,25	18,05	11,73	8,30	4,71	6,37	3,54	4,24	6,03	22,52	8,30	6,09	4,11	4,21	4,86	6,76	4,08	12,77	16,1	3,4334	24,19	4,5518	7,9851	8,9995	6,5806	7,2569	8,8695	9,3377	30,798	46,49	30,415	94,087	13,03
25	5,96	17,69	7,54	3,77	3,56	8,77	9,34	8,90	9,75	8,43	14,59	10,98	8,14	4,84	6,45	-	-	-	23,25	-	6,19	4,11	4,27	10,40	6,27	4,08	12,51	14,93	4,2397	19,17	4,7079	7,9071	8,5314	7,9071	6,8667	8,6094	9,2076	28,851	39,555	31,312	74,958	12,61
26	5,31	9,73	9,29	3,67	3,54	17,48	8,69	7,33	9,23	7,49	18,42	10,87	6,06	4,63	6,32	3,28	11,65	-	23,15	10,74	6,16	4,24	4,32	8,04	6,53	4,11	15,92	13,837	3,7195	15,632	5,202	7,725	10,274	27,285	6,3985	5,9303	13,187	26,988	35,051	73,545	83,044	13,85
27	5,24	8,35	9,44	3,56	4,32	20,57	8,30	6,84	9,21	7,75	25,54	14,64	-	5,02	6,22	3,28	10,14	-	54,99	11,16	6,27	4,63	4,32	8,25	8,09	4,11	12,77	13,057	3,6414	13,343	6,1124	7,543	11,158	24,684	6,0604	8,1152	12,251	27,353	32,988	94,285	94,685	15,85
28	5,00	8,09	12,72	3,72	3,59	11,08	8,14	6,45	9,42	8,69	-	11,50	9,05	12,15	6,87	3,25	7,28	8,09	33,84	10,27	6,24	4,97	4,32	8,30	7,07	4,11	10,92	12,589	3,7715	12,537	9,2857	7,1268	12,459	12,797	5,8783	6,8407	8,9995	30,396	31,16	71,772	81,642	13,31
29	4,80	10,09	12,07	-	3,54	9,75	8,38	6,63	8,90	14,59	22,58	10,79	8,69	8,58	7,67	-	-	8,09	2																							

**ANEXO 18: Planificación recorrido del sitio de implantación proyecto” Atenas”**



**ANEXO 19: RECORRIDO ESTRIBACIONES RIO ZARAPULLO**



**ANEXO 20: MEDICIÓN DE CAUDALES RIO ZARAPULLO “HIDRÓMETRO”**



**ANEXO 21: RÍO ZARAPULLO**



## **MEMORIAS DE CÁLCULO**

## Memorias 1: DISEÑO AZUD

### CENTRAL HIDROELECTRICA ATENAS DISEÑO DE LA CAPTACION PERFIL DEL AZUD

[Yellow Box] = Datos

#### 1. DATOS INICIALES

$Q_{\text{crec}} =$	140.00 [m <sup>3</sup> /s]	Caudal de crecida
$Q_{\text{azud}} =$	11.80 [m <sup>3</sup> /s]	Caudal de diseño azud
$L_r =$	13.00 [m]	Ancho del Rio
$L_v (B) =$	9.00 [m]	Ancho de la solera (lavadero)
$P =$	2.50 [m]	Altura libre
$C_o \text{ asumido} =$	2.05	Coficiente de descarga
$g =$	9.81 [m <sup>2</sup> /s]	Aceleracion de la gravedad.

$$Q = C_o * L * H_o^{\frac{3}{2}}$$

$H_o =$  3.861 [m]      Altura de carga de diseño para descarga de Q.

#### 2. VERIFICACION "C"

##### 1ra Verificación

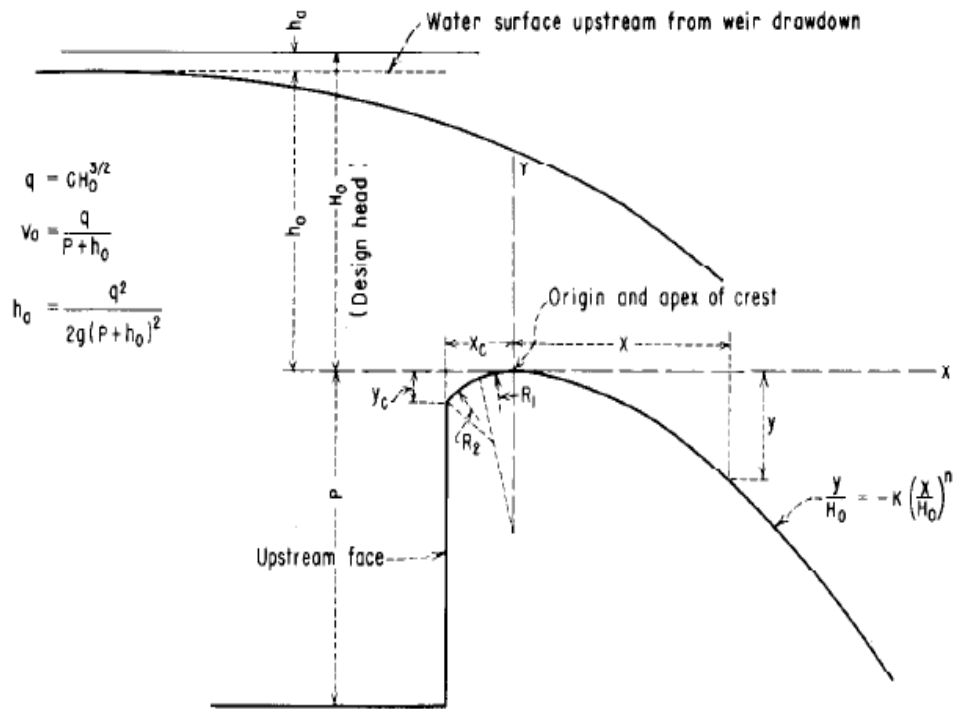
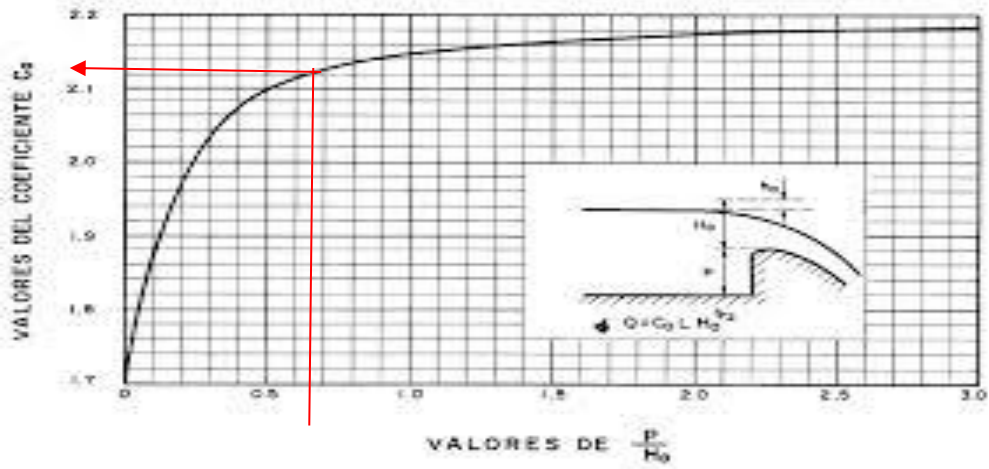
			<i>o calculad</i>		<i>Co asumido</i>	
$P/H_o =$	0.647	$\frac{\text{TABLA}}{\text{USBR}}$	=	2.13	≠	2.05 <b>XX ASUMIR Co</b>

##### 2da Verificación

$C_o \text{ asumido} =$  2.13      Coficiente de descarga  
 $H_o =$  3.764 [m]      Altura de carga de diseño para descarga de Q.

				<i>o calculad</i>		<i>Co asumido</i>	
$P/H_o =$	0.664	$\frac{\text{TABLA}}{\text{USBR}}$	=	2.13	=	2.13	<b>Wok</b>

**COEFICIENTES DE DESCARGA PARA LAS CRESTAS DE CIMACIO**



**(A) ELEMENTS OF NAPPE-SHAPED CREST PROFILES**

### 3. PERIL DE CREAGER

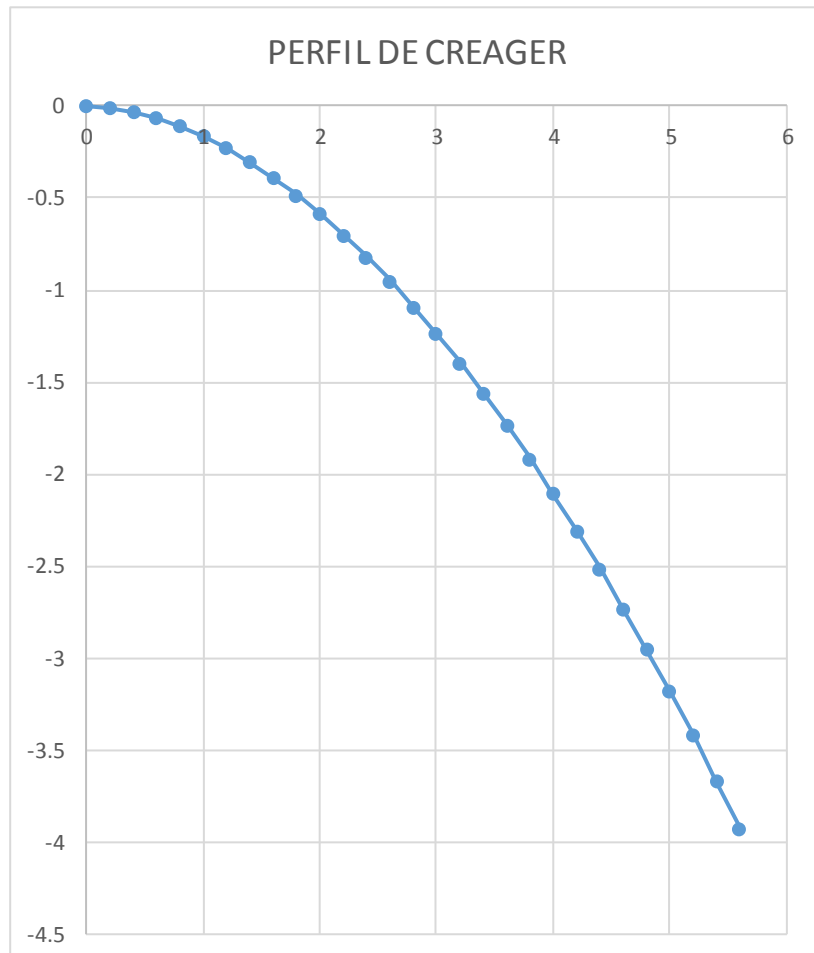
**Co= 2.13** Coeficiente de descarga  
**Ho= 3.764 [m]** Altura de carga de diseño para descarga de Q.  
**Q= 140.00 [m<sup>3</sup>/s]** Caudal de crecida

#### GEOMETRIA DE LA CRESTA DE CIMACIO

**R1= 1.88 [m]**  
**R2= 0.75 [m]**  
**a= 0.66 [m]**  
**b= 1.06 [m]**

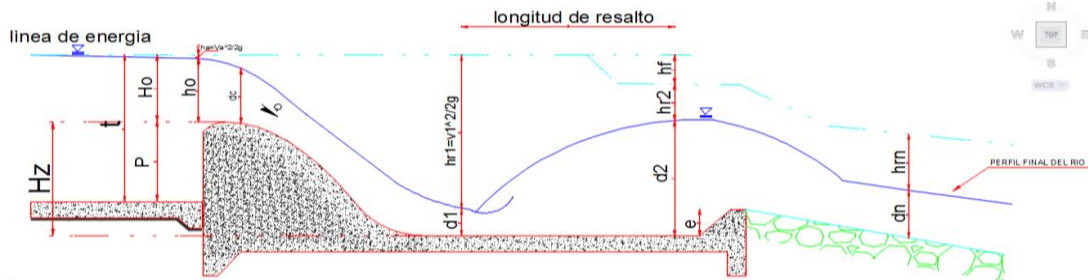
$$x^{1.85} = 2 * Ho^{0.85} * y$$

X	y
0	0
0.2	-0.0082494
0.4	-0.029739
0.6	-0.0629644
0.8	-0.1072091
1	-0.162
1.2	-0.2269867
1.4	-0.3018922
1.6	-0.3864889
1.8	-0.4805838
2	-0.5840103
2.2	-0.6966217
2.4	-0.8182873
2.6	-0.9488896
2.8	-1.0883219
3	-1.2364864
3.2	-1.3932931
3.4	-1.5586586
3.6	-1.7325056
3.8	-1.9147614
4	-2.1053582
4.2	-2.304232
4.4	-2.5113224
4.6	-2.7265722
4.8	-2.9499272
5	-3.1813359
5.2	-3.4207489
5.4	-3.6681195
5.6	-3.9234025



### 3. DIMENSIONAMIENTO DEL COLCHON AMORTIGUADOR (ZAMPEADO)

P=	2.50 [m]	Altura libre
Ho=	3.764 [m]	Altura de carga de diseño para descarga de Q.
dn=	2.5 [m]	Tirante normal del Rio para descargar Q.



#### APLICACIÓN DE BERNOULLIE A-1 (línea base pie del azud)

$$Hz + Ho = d1 + \frac{V1^2}{2g}$$

$$\frac{Va^2}{2g} + t = \frac{V1^2}{2g} + h1 + 0.05 \frac{V1^2}{2g}$$

#### TIRANTE CONTRAIDO

resolviendo tenemos:  $Ho + P = 1.05 * \left( \frac{Q^2}{d1^2 * B^2 * 2g} \right) + d1$

despejando d1=	1.79 [m]	tirante contraido
V1=	8.69 [m/s]	velocidad en 1
FR=	2.074	Numero de FROUDE

==> **RESALTO DÉBIL**

#### TIRANTE CONJUGADO

$$d2 = \frac{d1}{2} (\sqrt{1 + 8 * FR^2} - 1)$$

d2=	4.43 [m]	tirante conjugado
	d2>dnr	
==>	<b>CASO b</b>	<b>Profundizar (e)</b>

#### 1er TANTEO

e1=	1.93 [m]	espesor a profundizar
==> Hz=	4.43 [m]	

**Bernoullie:**  $4.43 + 3.76 = 1.05 \frac{140^2}{9^2 * d1^2 * 2 * 9.81} + d1$

despejando d1=	1.38 [m]	tirante contraido
V1=	11.27 [m/s]	velocidad en 1
FR=	3.064	Numero de FROUDE
d2=	5.33 [m]	tirante conjugado
	d2>dnr+e1	
==>	<b>CASO b</b>	<b>Profundizar (e)</b>

**2do TANTEO**

e2= 0.90 [m]      espesor a profundizar  
 ==> Hz= 5.33 [m]

**Bernoullie:**  $5.331 + 3.76 = 1.05 \frac{140^2}{9^2 * d1^2 * 2 * 9.81} + d1$

despejando **d1**= 1.29 [m]      tirante contraído  
**V1**= 12.06 [m/s]      velocidad en 1  
**FR**= 3.39      Numero de FROUDE  
**d2**= 5.57 [m]      tirante conjugado  
 d2>dnr+e1+e2

==> **CASO b**      **Profundizar (e)**

**3er TANTEO**

e3= 0.24 [m]      espesor a profundizar  
 ==> Hz= 5.57 [m]

**Bernoullie:**  $5.56 + 3.76 = 1.05 \frac{140^2}{9^2 * d1^2 * 2 * 9.81} + d1$

despejando **d1**= 1.27 [m]      tirante contraído  
**V1**= 12.25 [m/s]      velocidad en 1  
**FR**= 3.47      Numero de FROUDE  
**d2**= 5.63 [m]      tirante conjugado  
 d2=dnr+e1+e2+e3      5.57

**APROX:**  
 5.6  
 5.6

==> **O.K.**

**CASOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA**

- a) **d2=dn**; El resalto se forma enseguida de d1.
- b) **d2>dn**; El resalto es realizado aguas abajo en el rio, curva de remanso inversa.
- c) **d2<dn**; El resalto es sumergido (calado del rio al tope del AZUD)

**CLASIFICACION DE LOS RESALTOS HIDRAULICOS**

$F_{R1}$	Tipo	Características del resalto	Esquema
$F_{R1} = 1$		Flujo crítico, por lo que no se forma ningún resalto.	
$1 < F_{R1} < 1.7$	Ondular	La superficie de agua presenta la tendencia a la formación de ondulaciones. La disipación de energía es baja, menor del 5%.	
$1.7 < F_{R1} < 2.5$	Débil	El ondulamiento de la superficie en el tramo de mezcla es mayor y aguas abajo las perturbaciones superficiales son menores. Se generan muchos rodillos de agua en la superficie del resalto, seguidos de una superficie suave y estable. La energía disipada está entre el 5%-15%.	
$2.5 < F_{R1} < 4.5$	Oscilante	Presenta un chorro intermitente sin ninguna periodicidad, que parte desde el fondo y se manifiesta hasta la superficie, y retrocede nuevamente. Cada oscilación produce una gran onda que puede viajar largas distancias. La disipación de energía es del 15%-45%.	
$4.5 < F_{R1} < 9.0$	Permanente o Estable	Se trata de un resalto plenamente formado, con mayor estabilidad y el rendimiento es mejor, pudiendo variar la energía disipada entre 45 % a 70 %.	
$F_{R1} > 9.0$	Fuerte	Resalto con gran disipación de energía (hasta 80 %), gran ondulación de la superficie con tendencia de traslado de la zona de régimen supercrítico hacia aguas abajo. Caracterizado por altas velocidades y turbulencia, con generación de ondas y formación de una superficie tosca aguas abajo.	

Figura XI.3. Clasificación de los resaltos hidráulicos. Modificado de Marbello (1997)

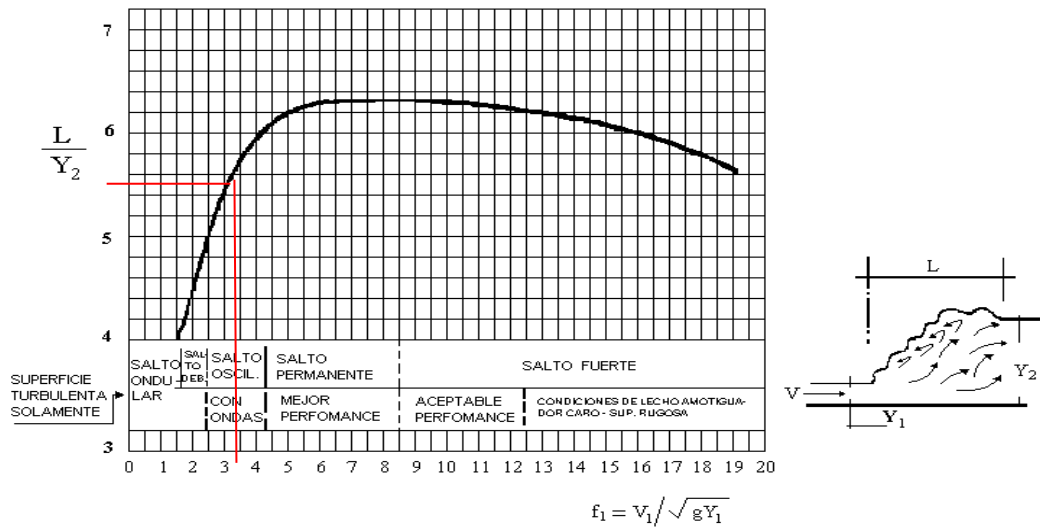
**RADIO Y LONGITUD DEL COLCHON AMORTIGUADOR**

**Rz=** 1.4 [m] Radio al final del perfil de Creager

**TABLA USBR : L/Y2=** 5.5  
**L=** 31.0 [m]

**SEGÚN BAKCHMETEV-MAZTKE (1936) L = 5 \* (d2 - d1)**  
**L=** 21.80 [m]

**LONGITUD DEL RESALTO HIDRAULICO EN FUNCION DEL TIRANTE CONJUGADO**



## Memorias 2: CÁLCULO PROFUNDIDAD NORMAL Y CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DEL RÍO ZARAPULLO EN LA CAPTACIÓN (CAUDAL DE CRECIDA)

### DATOS GENERALES RÍO ZARAPULLO

QDISEÑO (m3/s)	7.5
QMA (m3/s)	14.6
QECO (m3/s)	1.5
QMIN (m3/s)	9
Jrío	0.05
BRío (m)	9
AREA CUENCA (KM2)	110.81
TR	100

### CÁLCULO DEL CAUDAL DE CRECIDA

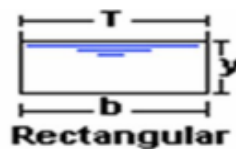
#### COEFICIENTE K (INERHI)

TR (Años)	1000	500	100	50	25	5	1
k	1	0.856	0.646	0.547	0.507	0.361	0.139

#### FÓRMULA INERHI

A (km2)	110.81
k	0.646
Qcalc (m3/s)	138.15
Qcrecida (m3/s)	140

### CÁLCULO PROFUNDIDAD NORMAL RÍO (Qcrecida)



### DATOS HIDRÁULICOS CANAL (SECCIÓN DE AZUD B=9M)

#### SECCIÓN RECTANGULAR

B(m)	9	Ancho de la Solera
T(m)	9	Ancho superficial
Yn(m)	2.16	Profundidad Normal

CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD NORMAL (ENSAYO Y ERROR)								
Yn (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	R	R <sup>2</sup> /3	AR <sup>2</sup> /3	nQ <sup>1/0.5</sup>	Observaciones	
1.7	15.3	12.4	1.23	1.15	17.6	25.04	No cumple	
1.72	15.48	12.44	1.24	1.15	17.8	25.04	No cumple	
1.74	15.66	12.48	1.25	1.16	18.17	25.04	No cumple	
1.76	15.84	12.52	1.27	1.17	18.53	25.04	No cumple	
1.78	16.02	12.56	1.28	1.18	18.9	25.04	No cumple	
1.8	16.2	12.6	1.29	1.19	19.28	25.04	No cumple	
1.82	16.38	12.64	1.3	1.19	19.49	25.04	No cumple	
1.84	16.56	12.68	1.31	1.2	19.87	25.04	No cumple	
1.86	16.74	12.72	1.32	1.2	20.09	25.04	No cumple	
1.88	16.92	12.76	1.33	1.21	20.47	25.04	No cumple	
1.9	17.1	12.8	1.34	1.22	20.86	25.04	No cumple	
1.92	17.28	12.84	1.35	1.22	21.08	25.04	No cumple	
1.94	17.46	12.88	1.36	1.23	21.48	25.04	No cumple	
1.96	17.64	12.92	1.37	1.23	21.7	25.04	No cumple	
1.98	17.82	12.96	1.38	1.24	22.1	25.04	No cumple	
2	18	13	1.38	1.24	22.32	25.04	No cumple	
2.02	18.18	13.04	1.39	1.25	22.73	25.04	No cumple	
2.04	18.36	13.08	1.4	1.25	22.95	25.04	No cumple	
2.06	18.54	13.12	1.41	1.26	23.36	25.04	No cumple	
2.08	18.72	13.16	1.42	1.26	23.59	25.04	No cumple	
2.1	18.9	13.2	1.43	1.27	24	25.04	No cumple	
2.12	19.08	13.24	1.44	1.28	24.42	25.04	No cumple	
2.14	19.26	13.28	1.45	1.28	24.65	25.04	No cumple	
2.16	19.44	13.32	1.46	1.29	25.08	25.04	No cumple	
2.18	19.62	13.36	1.47	1.29	25.31	25.04	No cumple	
2.2	19.8	13.4	1.48	1.3	25.74	25.04	No cumple	

### CUADRO DE RESULTADOS

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
<b>B (m)</b>	9	Ancho solera
<b>T (m)</b>	9	Ancho Superficial
<b>Y (m)</b>	2.16	Profundidad Agua
<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	19.44	Área
<b>P (m)</b>	13.32	Perímetro mojado
<b>R</b>	1.46	Rádío Hidráulico

### CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO

<b>V (m/s)</b>	7.19
<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	139.77
<b>g (m/s<sup>2</sup>)</b>	9.81
<b>q (m)</b>	15.53
<b>Yc (m)</b>	2.91
<b>Vc (m/s)</b>	5.34
<b>FR</b>	1.562
<b>Tipo de Flujo</b>	<b>SUPERCRTICO</b>

### Memorias 3: DISEÑO DE LA REJILLA

#### DISEÑO REJILLA DE ENTRADA

DATOS	
Altura del Azud ( $H''$ ) m	2.5
Altura del Umbral ( $Y1$ ) m	1
Altura del Agua ( $H$ ) m	1.5
Altura Rejilla ( $Hr$ ) m	1.5
Desnivel entre Superficies ( $Z$ ) m	0.1
Altura del Desripiador ( $Y2$ ) m	1.3
Ancho de los Barrotes ( $a'$ ) m	0.15
Velocidad de Entrada a los Barrotes ( $Ve$ ) m/s	1
Separación entre los Barrotes ( $b'$ ) m	0.1
Elevación Agua bajo el Vertedero ( $hn$ ) m	1.4
Altura del agua ne el Desripiador ( $h2$ ) m	2.7

#### CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE SUMERSIÓN (S)

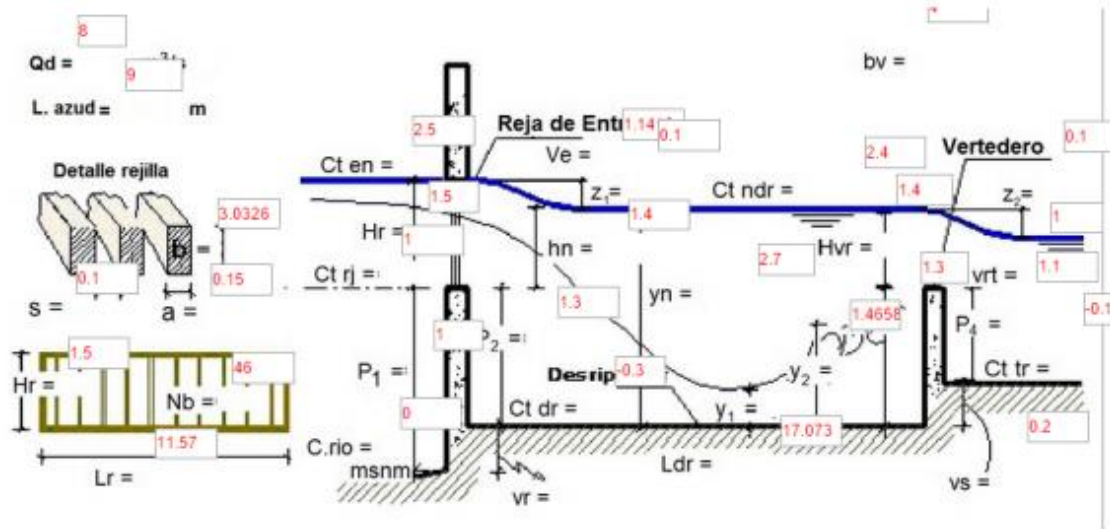
S	0.52
---	------

#### CÁLCULO DEL COEFICIENTE (M)

M	2.12
---	------

#### CALCULO DE LAS DIMENSIONES

Ancho Toma de Agua ( $b1$ )	4.15
# Espacios (n)	42
# Barrotes (N)	41
Ancho Total de la Reja de la Toma (B) m	10.3
Velocidad Media $Vr$ (m/s)	0.58
$\alpha$	1.8



## Memorias 4: DISEÑO DEL DESRIPIADOR Y CANAL DE LIMPIEZA

### DISEÑO DESRIPIADOR

DATOS	
Q <sub>DISEÑO</sub> (m <sup>3</sup> /s)	7.5
Altura del Umbral (Y <sub>2</sub> ) m	1.3
Altura del Agua (H') m	1.4
Desnivel entre Superficies (Z') m	0.1
Altura del Canal (Y <sub>3</sub> ) m	1.1
Elevación Agua bajo el Vertedero (h'n) m	1.3
Ancho Total de la Reja de la Toma (B) m	10.3
Ancho del Canal de Conducción (B <sub>c</sub> ) m	3.5

### CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE SUMERSIÓN (S)

S	0.54
---	------

### CÁLCULO DEL COEFICIENTE (M)

M	2.05
---	------

### CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES

Ancho del vertedero (b <sub>2</sub> )	4.1
Ancho del Desripiador Calculada (L <sub>d</sub> ) m	13.98
Ancho del Desripiador Final (L <sub>d</sub> ) m	15.3

### DISEÑO CANAL DE LIMPIEZA DESRIPIADOR

#### DATOS HIDRÁULICOS CANAL

B (m)	1.3	Ancho de la Solera
Y (m)	1.3	Profundidad Normal
T (m)	1.3	Ancho Superficial
n	0.025	Coefficiente de Rugosidad

### CÁLCULO PENDIENTE CANAL

A (m <sup>2</sup> )	1.69
P (m)	3.9
R	0.43
R <sup>2/3</sup>	0.57
AR <sup>2/3</sup>	0.96
nQ	0.19
J	0.039

## Memorias 5: DISEÑO DEL CANAL DE CONDUCCIÓN

### DATOS HIDRÁULICOS CANAL

<b>B(m)</b>	3.5	Ancho
<b>S(m)</b>	0.002	Pendiente
<b>n</b>	0.014	Coficiente de Rugosidad de Manning



### SECCIÓN RECTANGULAR

<b>B(m)</b>	3.5	Ancho de la Solera
<b>T(m)</b>	3.5	Ancho superficial
<b>Yn(m)</b>	0.93	Profundidad Normal

### CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD NORMAL (ENSAYO Y ERROR)

Yn (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	R	R <sup>2/3</sup>	AR <sup>2/3</sup>	nQ/ <sup>1/0.5</sup>	Observaciones
0.9	3.15	5.3	0.59	0.7	2.21	2.35	No cumple
0.92	3.22	5.34	0.6	0.71	2.29	2.35	No cumple
0.93	3.26	5.36	0.61	0.72	2.35	2.35	Cumple
0.95	3.33	5.4	0.62	0.73	2.43	2.35	No cumple
0.97	3.4	5.44	0.63	0.73	2.48	2.35	No cumple
0.99	3.47	5.48	0.63	0.73	2.53	2.35	No cumple
1.01	3.54	5.52	0.64	0.74	2.62	2.35	No cumple
1.03	3.61	5.56	0.65	0.75	2.71	2.35	No cumple
1.05	3.68	5.6	0.66	0.76	2.8	2.35	No cumple
1.07	3.75	5.64	0.66	0.76	2.85	2.35	No cumple
1.09	3.82	5.68	0.67	0.77	2.94	2.35	No cumple
1.11	3.89	5.72	0.68	0.77	3	2.35	No cumple
1.13	3.96	5.76	0.69	0.78	3.09	2.35	No cumple
1.15	4.03	5.8	0.69	0.78	3.14	2.35	No cumple
1.17	4.1	5.84	0.7	0.79	3.24	2.35	No cumple
1.19	4.17	5.88	0.71	0.8	3.34	2.35	No cumple
1.21	4.24	5.92	0.72	0.8	3.39	2.35	No cumple
1.23	4.31	5.96	0.72	0.8	3.45	2.35	No cumple
1.25	4.38	6	0.73	0.81	3.55	2.35	No cumple
1.27	4.45	6.04	0.74	0.82	3.65	2.35	No cumple
1.29	4.52	6.08	0.74	0.82	3.71	2.35	No cumple
1.31	4.59	6.12	0.75	0.83	3.81	2.35	No cumple
1.33	4.66	6.16	0.76	0.83	3.87	2.35	No cumple
1.35	4.73	6.2	0.76	0.83	3.93	2.35	No cumple
1.37	4.8	6.24	0.77	0.84	4.03	2.35	No cumple
1.39	4.87	6.28	0.78	0.85	4.14	2.35	No cumple

**CUADRO DE RESULTADOS**

<b>PROPIEDADES GEOMÉTRICAS</b>		
<b>B (m)</b>	3.5	Ancho solera
<b>T (m)</b>	3.5	Ancho Superficial
<b>Y (m)</b>	0.93	Profundidad Agua
<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	3.26	Área
<b>P (m)</b>	5.36	Perímetro mojado
<b>R</b>	0.61	Rádío Hidráulico
<b>BL (m)</b>	0.8	Borde libre
<b>H (m)</b>	1.73	Altura Total (Yn +BL)
<b>K</b>	167.49	Conductividad

**CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO**

<b>V (m/s)</b>	2.3
<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	7.5
<b>g (m/s<sup>2</sup>)</b>	9.81
<b>q (m)</b>	2.14
<b>Yc (m)</b>	0.78
<b>Vc (m/s)</b>	2.77
<b>FR</b>	0.761
<b>Tipo de Flujo</b>	<b>SUBCRÍTICO</b>

## Memorias 6 DISEÑO DEL DESRIPIADOR

### 6.1: DISEÑO DEL CANAL DE INGRESO AL DESRIPIADOR

#### PROYECTO HIDROELECTRICO ATENAS DISEÑO DEL DESARENADOR CANAL DE INGRESO

[ ] = Datos

#### A. CAUDAL DE DISEÑO

##### 1. GEOMETRIA Y DATOS HIDRAULICOS

B = [ 6.50 ] [m] Ancho del canal  
J = [ 0.002 ] [m/m] Pendiente del canal  
n = [ 0.014 ] Rugosidad

##### 2. CONDICIONES DE FLUJO NORMALES

Q = [ 7500.00 ] [l/s] Caudal de diseño

$$y_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

q = 1153.85 [l/s] Caudal unitario  
yc = 0.51 [m] Calado crítico  
yn = [ 0.51 ] [m] Calado normal - Ensayo y error

$$Q = \left( \frac{A^{5/3} * \sqrt{j}}{n * p^{2/3}} \right)$$

Ecuación general del flujo uniforme

Q = 6,215.53 [l/s] Caudal calculado para comprobación  
V = 2.24 [m/s] Velocidad  
Tipo de flujo : Subcrítico ==> **O.K.**

## B. CAUDAL DE CRECIDA

### 1. GEOMETRIA Y DATOS HIDRAULICOS

B =	6.50 [m]	Ancho del canal
J =	0.003 [m/m]	Pendiente del canal
n =	0.014	Rugosidad

### 2. CONDICIONES DE FLUJO NORMALES

Q =	9075.00 [l/s]	Caudal de diseño
-----	---------------	------------------

$$y_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

q =	1396.15 [l/s]	Caudal unitario
yc =	0.58 [m]	Calado crítico
yn =	0.61 [m]	Calado normal - Ensayo y error

$$Q = \left( \frac{A^{5/3} * \sqrt{j}}{n * p^{2/3}} \right)^2$$

Ecuación general del flujo uniforme

Q =	9,874.01 [l/s]	Caudal calculado para comprobación
V =	2.30 [m/s]	Velocidad
Tipo de flujo :	Subcrítico	==> O.K.

## C. LONGITUD DEL CANAL DE INGRESO

### 1. LONGITUD HORIZONTAL

B1 =	3.50 [m]	Ancho del canal de ingreso
B2 =	6.50 [m]	Ancho del canal luego de la transición
$\theta$ =	12.50 [°]	Angulo de la transición
$\theta$ =	0.22 [rad]	Angulo de la transición

$$L = (B2 - B1) / 2 \operatorname{tg}(\theta)$$

APROX.

L = 6.77 7 Longitud de la transición

$$Q = m L h (2 g h)^{1/2}$$

$$L' = mL - 0.4 h$$

Si:

h = 0.58 [m] Calado al final de la transición

m = 0.46

L' = 2.88 [m]

g = 9.81 [m/s<sup>2</sup>] Aceleración de la gravedad

Q = 6.09 [m<sup>3</sup>/s] Verificación caudal de diseño

Qconducc= 7.5 [m<sup>3</sup>/s] Caudal de salida de la conducción

==> O.K.

## 2. LONGITUD INCLINADA

$$inclinada = \sqrt{horizontal^2 + \left(\frac{B2 - B1}{2}\right)^2} =$$

APROX.

L= 7.15891053 7.2 [m]

## MEMORIA DE CALCULO 6.2: DISEÑO DE LA TRANSICIÓN

### CENTRAL HIDROELECTRICA ATENAS DISEÑO DEL DESARENADOR TRANSICION

[ ] = Datos

#### 1. TRANSICION HASTA COMPUERTAS

B1 =	3.00 [m]	Ancho del canal de ingreso
B2 =	6.30 [m]	Ancho del canal luego de la transición
$\theta =$	12.50 [°]	Angulo de la transición
$\theta =$	0.22 [rad]	Angulo de la transición

$$L = (B2 - B1) / 2 \operatorname{tg}(\theta)$$

APROX.

L =	7.44	7.5	Longitud de la transición
-----	------	-----	---------------------------

$$Q = m L h (2 g h)^{1/2}$$

$$L' = mL - 0.4 h$$

Si:

h =	0.59 [m]	Calado al final de la transición
m =	0.46	
L' =	3.19 [m]	
g =	9.81 [m/s <sup>2</sup> ]	Aceleración de la gravedad
Q =	6.94 [m <sup>3</sup> /s]	Verificación caudal de diseño
Qconducc=	7.50 [m <sup>3</sup> /s]	Caudal de salida de la conduccion

==>

O.K.

#### 2. LONGITUD INCLINADA

$$inclinada = \sqrt{horizontal^2 + \left(\frac{B2 - B1}{2}\right)^2} =$$

APROX.

L=	7.62337342	7.7 [m]
----	------------	---------

# MEMORIA DE CALCULO 6.3: GEOMETRÍA Y EFICIENCIA DEL DESARENADOR

## CENTRAL HIDROELECTRICA ATENAS DISEÑO DEL DESARENADOR GEOMETRIA Y EFICIENCIA

[ ] = datos

### 1. DATOS HIDRAULICOS ( 1 CAMARA-LAVADO INTERMITENTE)

Qdis=	7.50 [m3/s]	Caudal de ingreso a la camara del desarenador
d=	0.2 [mm]	Diámetro de la partícula más pequeña a sedimentarse
Ys=	2.50 [t/m3]	Peso específico de la partícula (arena)
Yagua=	1.00 [t/m3]	Peso específico del agua
T=	20.0 [°C]	Temperatura ambiente

### 2. Vs ASUMIDO

Vs 20°C=	2.16 [cm/s]	Velocidad de sedimentacion a 20°C
Vs 20°C=	0.0216 [m/s]	Velocidad de sedimentacion a 20°C
APROX.=	0.0200 [m/s]	Velocidad de sedimentacion a 20°C

### 3. Vs CALCULADO

#### LEY DE STOKES

$$V_s = \frac{g}{18} * \frac{(\rho_s - \rho)}{\mu} * d^2$$

g =	9.81 [m/s2]	Aceleración de la gravedad
$\rho_s$ =	2.40 [g/cm3]	Peso específico de la partícula (arena)
$\rho_a$ =	1.00 [g/cm3]	Peso específico del agua
d =	<b>0.20</b> [mm]	Diámetro de la partícula más pequeña a sedimentarse
T =	20.00 [°C]	Tempratura ambiental
$\mu$ =	0.01399 [cm2/s]	Viscosidad cinemática del fluido
Vs =	2.182 [cm/s]	Velocidad de sedimentación
Vs =	0.022 [m/s]	Velocidad de sedimentación
APROX.=	0.020 [m/s]	Velocidad de sedimentación

**Vs asumido=Vs calculado**

==> **O.K.**

#### 4. LONGITUD DEL DESARENADOR (Solucion por tanteo)

As neces.=	347.222 [m2]	Area necesaria
asum. Va=	0.3 [m/s]	Velocidad horizontal del agua
At=	25.00 [m2]	Area transversal del desarenador
b/h=	2.00 [m]	Relacion ancho/alto
h=	3.16 [m]	Alto del desarenador
b=	6.32 [m]	Ancho del desarenador

*Dimensiones constructivas:*

h=	3.00 [m]	Alto del desarenador
b=	6.30 [m]	Ancho del desarenador

*Asumiendo :*

CL=	1.2	Eficiencia del desarenador
h=	3.00 [m]	Altura hasta el borde libre del desarenador
B=	6.30 [m]	Ancho de la camara desarenadora en analisis

$$L = CL * h * \frac{Va}{Vs}$$

L=	50.00 [m]	Longitud del desarenador
----	-----------	--------------------------

*Chequeo:*  $L/B > 4$   
 $\implies$  **O.K.**

Vol.=	1250.00 [m3]	Volùmen necesario del desarenador
As real=	416.67 [m2]	Area real requerida por el desarenador

As real > As necesario  
 $\implies$  **O.K.**

#### 5. EFICIENCIA DEL DESARENADOR (Tiempos de flujo)

$ts < td$   $\implies$  eliminacion efectiva

td=	166.67 [s]	tiempo de flujo horizontal
ts=	138.89 [s]	tiempo de descenso de la particula

$\implies$  **O.K.**

## MEMORIA DE CALCULO 6.4: DISEÑO DEL CANAL DIRECTO DEL DESARENADOR

### PROYECTO HIDROELECTRICO ATENAS DISEÑO DEL DESARENADOR CANAL DIRECTO

[ ] = Datos

#### A. CAUDAL DE DISEÑO

##### 1. GEOMETRIA Y DATOS HIDRAULICOS

Q=	[ ] 7.50 [m <sup>3</sup> /s]	Caudal de ingreso
Qmax=	[ ] 9.00 [m <sup>3</sup> /s]	Caudal maximo= 1.2 del Qdiseño
b=	[ ] 3.00 [m]	Ancho libre del canal
n =	[ ] 0.014	Rugosidad
J=	[ ] 0.002	Pendiente
g=	[ ] 9.81 [m/s <sup>2</sup> ]	Aceleracion de la gravedad

##### 2. CÁLCULO DEL CALADO

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} * J^{\frac{1}{2}}$$

$$\begin{aligned} A= & b*h \\ P= & b+2*h \end{aligned} \cdot \frac{9 * 0.014}{\sqrt{0.002}} = \frac{(3.00 * h)^{\frac{5}{3}}}{(3.00 + 2h)^{\frac{2}{3}}}$$

despejamos h= [ ] 1.22 [m] ≈ [ ] 1.25 [m]

##### 2. CÁLCULO DEL NÚMERO DE FROUDE

$$F = \frac{V}{\sqrt{g * h}}$$

V=	2.46 [m/s]	Velocidad
A=	3.66 [m <sup>2</sup> ]	Área
P=	5.44 [m]	Perimetro mojado
h´=	1.22 [m]	==> <b>O.K.</b>

F= 0.71079932 Número de Froude

tipo de flujo= SUBCRITICO ==> **O.K.**

##### 3. CHEQUEO DE LA VELOCIDAD

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * J^{1/2}$$

R=	0.67	Radio hidráulico
Vmax=	3.5 [m/s]	Velocidad maxima en canales

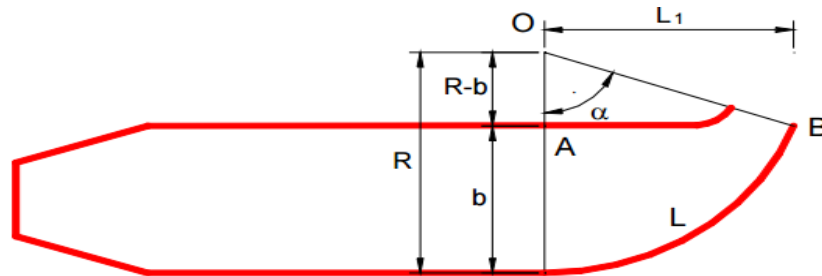
V= 2.45 [m/s]

==> **O.K.**

# MEMORIA DE CALCULO 6.5: DISEÑO VERTEDERO DE PASO DEL DESARENADOR

## PROYECTO HIDROELECTRICO ATENAS DISEÑO DEL DESARENADOR VERTEDERO DE PASO

= Datos



### 1. GEOMETRIA Y DATOS HIDRAULICOS

h=	<span style="background-color: yellow;">0.25</span> [m]	Cara de agua sobre el vertedero
C=	2.00	Coefficiente de descarga-Creager
Q=	<span style="background-color: yellow;">7.50</span> [m]	Caudal de diseño
J=	<span style="background-color: yellow;">0.02</span>	Pendiente de la camara

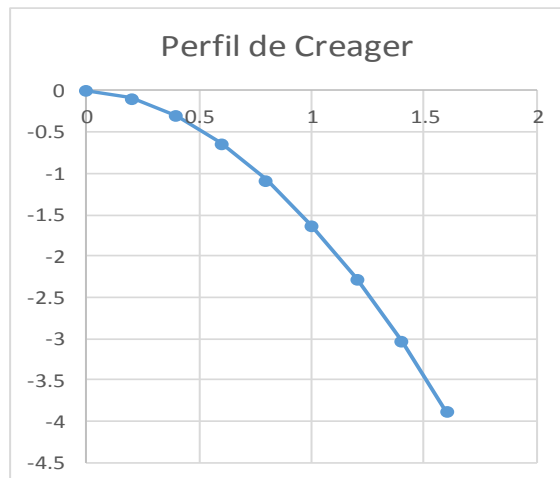
### 2. CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL VERTEDERO

$$L = \frac{Q}{C * h^{3/2}}$$

L= 30 [m] Longitud del vertedero

### 3. PERFIL DE CREAGER

X	y
0	0
0.2	-0.08274826
0.4	-0.29830762
0.6	-0.63158699
0.8	-1.07539953
1	-1.625
1.2	-2.27687228
1.4	-3.02823958
1.6	-3.87681729



### 3. Cálculo de $\alpha$ y R con que se traza la longitud del vertedero.

$$\frac{\alpha}{1 - \cos\alpha} = \frac{180 * L}{\pi * b}$$

$$R = \frac{180 * L}{\pi * \alpha}$$

despejando:

$\alpha =$	270.5 °	Ángulo central
R=	6.35 [m]	Radio del vertedero
L1=	6.34 [m]	Longitud proyectada

### 4. Cálculo de la longitud total del desarenador

$$L_{tot} = L_t + L + \bar{L}$$

Donde:

$L_t$  = longitud de la transición

$L$  = longitud de la cámara de sedimentación

$\bar{L}$  longitud promedio: longitud del vertedero y proyectada longitudinal

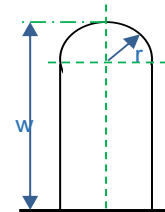
$$L = 75.79 \text{ [m]} \cong 75.8 \text{ [m]}$$

### 5. Cálculo de la altura de la cresta. $hc = j * L$

$$hc = 1.52 \text{ [m]} \quad \text{Altura cresta}$$

### 6. CHEQUEO DISEÑO DEL VERTEDERO

$Q_{dis} =$	7.50 [m <sup>3</sup> /s]	Caudal de diseño para cada vertedero
$b =$	30.00 [m]	Longitud de vertedero
$h =$	0.25 [m]	Carga sobre el vertedero
$w =$	1.52 [m]	Altura del vertedero, $w = hx - h$
$r =$	0.20 [m]	Radio de curvatura de la cresta



$$\mu = 1,02 - \frac{1,015}{\frac{h}{r} + 2,08} + \left[ 0,04 \cdot \left( \frac{h}{r} + 0,19 \right)^2 + 0,0223 \right] \cdot \frac{r}{w}$$

$$\mu = 0.73 \quad \text{Coeficiente de corrección para cresta circular}$$

$$Q_{dis} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot b \cdot \mu \cdot h^{3/2}$$

$$Q = 8.29 \text{ [m}^3\text{/s]} \quad \text{Caudal}$$

==> **O.K.**

$$r/h = 0.79$$

$$h/r \leq 1.27$$

==> **O.K.**



