



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TÍTULO DE LA DISERTACIÓN:

**DISEÑO DEL VERTEDERO TIPO TECLA DE PIANO PARA LA CAPTACIÓN
DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PILATÓN-SANTA ANA, PROVINCIA DE
PICHINCHA**

MARCELO RENÉ BARROS BARBOSA

DIRECTOR: ING. CARLOS LUIS NAVAS

QUITO, FEBRERO 2018

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres Sonia y Marcelo que con su amor, esfuerzo y paciencia me han apoyado incondicionalmente en todo momento enseñándome principios y valores para la vida.

De igual manera a mis hermanas María Verónica Y Stephanie que siempre tuve su apoyo y confiaron en mí y a la memoria de mis abuelas Fanny Ortiz y Zoila Ramos que fueron un pilar importante en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento a la ARCONEL (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD) ya que sin su colaboración y aporte este trabajo no hubiera sido posible

Agradezco a Dios y a la Virgen por haber guiado mi camino y haberme dado salud, fortaleza y el bienestar de poder haber culminado con esta carrera. A mis padres por todo el apoyo y esfuerzo que hicieron día a día para que logre culminar esta meta.

Al Ing. Carlos Luis Navas por su gran colaboración y guía para la realización de este trabajo, de igual manera al Ing. Roberto Unda y al Ing. Guillermo Flores.

A Estefany Mena por todo su apoyo incondicional y técnico durante el transcurso de este proyecto.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Objetivos.	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Alcance.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA TÉCNICA.	3
2.1. Revisión de literatura técnica sobre vertederos.	3
2.1.1. Vertederos de pared delgada.	3
2.1.2. Vertedero de pared gruesa.....	4
2.1.3. Vertedero de Cimacio.....	4
2.2. Revisión de literatura técnica sobre vertederos tipo tecla de piano.....	5
2.2.1. Base conceptual.....	5
2.2.2. Características técnicas.....	8
2.2.3. Criterios de diseño.....	9
2.2.4. Aplicaciones.....	12
2.2.5. Casos.....	14
2.3. Ensayo hidráulico sobre el modelo físico reducido.....	16
3. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PILATÓN-SANTA ANA.....	18
3.1. Información de la zona.	18
3.1.1. Clima	20
3.1.2. Población.....	21
3.2. Estado actual de los estudios	21
3.2.1. Cartografía y ubicación de puntos GPS.....	23
3.2.2. Ubicación de puntos GPS.....	23
3.2.2.1. Monumentación de nuevos puntos GPS.....	23
3.2.3. Hidrología.....	24
3.2.3.1. Alcance.....	24
3.2.3.2. Metodología.....	24
3.2.3.3. Fuentes de datos e información.....	24
3.3. Descripción general del proyecto.....	25
3.3.1. Captaciones	26

3.3.1.1.	Desarenadores	29
3.3.1.2.	Conducciones.....	31
3.3.1.3.	Conducción Santa Ana	32
3.3.1.4.	Conducción Chitóa	33
3.3.1.5.	Tanque de presión.....	34
3.3.1.6.	Tubería de presión	37
3.3.1.7.	Casa de máquinas.....	38
3.3.1.8.	Equipamiento mecánico	38
3.3.1.9.	Potencia y eficiencia de la turbina.....	38
3.3.1.10.	Determinación del tipo de turbina	40
3.4.	Caracterización del Río Pilatón.....	44
3.5.	Descripción y análisis de la estructura de captación.....	50
3.5.1.	Captaciones	51
4.	COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO DEL VERTEDERO DE EXCESOS DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PILATÓN-SANTA ANA	57
4.1.	Cálculo de caudales	57
4.1.1.	Temperatura.....	58
4.1.2.	Humedad relativa	60
4.1.3.	Precipitación.....	60
4.1.4.	Análisis de lluvias intensas	62
4.1.5.	Hidrología.....	64
4.1.5.1.	Datos disponibles	64
4.1.5.2.	Curvas de descarga de estaciones.....	65
4.1.5.3.	Caudales medios en estaciones	67
4.1.5.4.	Caudales en las captaciones de los ríos Pilatón, Santa Ana y Chitóa..	75
4.1.5.5.	Método de transportación de caudales	75
4.1.5.6.	Transposición de caudales	75
4.1.5.7.	Caudales aprovechables en los sitios de captación	79
4.1.5.8.	Caudal ecológico	79
4.1.5.9.	Caudales aprovechables para el proyecto	80
4.1.5.10.	Caudales máximos	81
4.1.5.11.	Transporte de sedimentos	84
4.2.	Prediseño del vertedero tipo Creager	89
4.3.	Prediseño del vertedero tipo tecla de piano.	94
4.4.	Comparación técnica y de costos.	97
4.4.1.	Comparación técnica.....	97

4.4.2.	Comparación de costos	100
5.	DISEÑO DEFINITIVO DEL VERTEDERO TIPO TECLA DE PIANO	103
5.1.	Criterios de diseño.....	103
5.2.	Diseño Hidráulico.....	103
5.2.1.	Cálculo hidráulico de las dimensiones del vertedero.....	104
5.3.	Planos de construcción.....	108
5.4.	Especificaciones técnicas.	111
5.4.1.	Replanteo, limpieza y desbroce.	111
5.4.2.	Excavación a cielo abierto.	112
5.4.3.	Obras de captación del rio Pilatón.	112
5.4.4.	Hormigón.....	116
5.4.5.	Muestras y ensayos.....	117
5.4.6.	Agregados	117
5.4.7.	Granulometría.....	119
5.4.8.	Aditivos.....	120
5.4.9.	Dosificación	120
5.4.10.	Encofrados.....	121
5.4.11.	Tratamiento previo a la colocación (vaciado) del hormigón	123
5.4.12.	Colocación del hormigón.....	124
5.4.13.	Construcciones de hormigón.....	125
5.4.14.	Juntas de construcción, de dilatacion e impermeables.....	126
5.5.	Presupuesto.	128
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	131
6.1.	Conclusiones	131
6.2.	Recomendaciones.....	132
	BIBLIOGRAFÍA.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de clima y temperatura	21
Tabla 2. Datos de la población	21
Tabla 3. Resumen de puntos GPS para el proyecto PILATÓN SANTA-ANA	23
Tabla 4. Coordenadas de ubicación de los sitios de captación.	25
Tabla 5. Características de las captaciones.....	29
Tabla 6. Características de los desarenadores	31
Tabla 7. Características de las conducciones	34
Tabla 8. Parámetros de diseño tuberías de presión	37
Tabla 9. Especificaciones de acero en tuberías	37
Tabla 10. Datos Fundamentales para el Proyecto Hidroeléctrico PILATÓN – SANTA ANA	38
Tabla 11. Parámetros fundamentales de diseño del Proyecto Hidroeléctrico PILATÓN – SANTA ANA	38
Tabla 12. Eficiencia de las turbinas hidráulicas para su caudal nominal.	39
Tabla 13. Potencias y eficiencias de los grupos de generación.	39
Tabla 14. Tipos de turbina recomendadas	40
Tabla 15. Características de la turbina tipo PELTON	42
Tabla 16. Características físicas de las cuencas hidrográficas de interés	46
Tabla 17. Tipo de suelo – taxonomía del área de estudio	49
Tabla 18. Características de la cobertura vegetal	50
Tabla 19. Características de las captaciones	56
Tabla 20. Estaciones y disponibilidad de información.	57
Tabla 21. Variación Estacional de la Temperatura media (°C)	58
Tabla 22. Temperatura extremas absolutas (°C).....	59
Tabla 23. Humedad relativa en las estaciones (%)	60
Tabla 24. Variación estacional de la precipitación (mm)	61
Tabla 25. Ecuaciones de intensidades de lluvia Zona 22.....	63
Tabla 26. Tabla de Intensidades de Lluvia (mm/h).....	63
Tabla 27. Información hidrométrica.....	64
Tabla 28. Ecuaciones de las curvas de descarga estaciones hidrológicas.....	65
Tabla 29. Caudales medios en estaciones hidrológicas.....	68
Tabla 30. Caudales medios anuales y específicos en las estaciones hidrológicas.....	69
Tabla 31. Ecuaciones de relleno de caudales medios mensuales estación H155	70
Tabla 32. Caudales medios mensuales en la estación H155 Pilatón DJ Sacalón (m ³ /s)	73

Tabla 33. Caudales medios naturales en captaciones (m ³ /s).....	76
Tabla 34. Caudales medios mensuales en el Río Pilatón captación PSA (CSA1).....	77
Tabla 35. Caudales característicos en valores medios mensuales de las captaciones del Aprovechamiento PSA (m ³ /s).....	79
Tabla 36. Caudales aprovechables en las captaciones (m ³ /s).....	80
Tabla 37. Caudales aprovechables mensuales en las captaciones (m ³ /s).....	81
Tabla 38. Serie de caudales máximos instantáneos en la estación H156 Pilatón AJ Toachi (m ³ /s).....	81
Tabla 39. Caudales máximos determinados.....	84
Tabla 40. Carga de sólidos en suspensión en estaciones (ton).....	85
Tabla 41. Carga de sólidos en suspensión en captaciones (ton).....	86
Tabla 42. Criterios para la estimación del transporte de sólidos de fondo.....	86
Tabla 43. Total de solidos transportados hasta las captaciones (ton/año).....	87
Tabla 44. Precipitación anual media en las cuencas de las captaciones (mm).....	88
Tabla 45. Total de solidos aportantes desde las cuencas.....	88
Tabla 46. Caudales con probabilidad de excedencia asociada.....	89
Tabla 47. TEORIA DE GEHY PARA EL COEFICIENTE c.....	91
Tabla 48. Resultados de la ecuación 16.....	93
Tabla 49. Coordenadas finales perfil tipo Creager.....	93
Tabla 50. Tabla de predimensionamiento del vertedero tipo tecla de piano.....	96
Tabla 51. Datos comparativos vertedero tipo tecla de piano vs perfil Creager.....	97
Tabla 52. Tabla comparativa entre el vertedero tipo tecla de piano y perfil Creager (Calado).....	98
Tabla 53. Tabla comparativa entre el vertedero tipo tecla de piano y perfil Creager (Longitud efectiva).....	98
Tabla 54. Tabla comparativa entre el vertedero tipo tecla de piano y perfil Creager (Coeficientes de descarga).....	99
Tabla 55. Tabla comparativa entre el vertedero tipo tecla de piano y perfil Creager (Aforo máximo de diseño).....	99
Tabla 56. Valores de los rubros manejados.....	101
Tabla 57. Tabla de dimensionamiento del vertedero tipo tecla de piano.....	105
Tabla 58. Características generales del vertedero tipo tecla de piano.....	106
Tabla 59. Graduación de tamicés.....	119
Tabla 60. Porcentaje de retención en tamicés.....	120
Tabla 61. Material de relleno (sellado).....	127
Tabla 62. Presupuesto obra civil vertedero tipo tecla de piano.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vertederos de pared delgada.....	4
Figura 2. Vertederos de pared gruesa	4
Figura 3. Vertedero de Cimacio	5
Figura 4. Vista en 3D vertedero tipo tecla de piano.....	6
Figura 5. Tipos de vertedero tipo tecla de piano	7
Figura 6. Vertedero tipo tecla de piano presa Australia Benalla Victoria	7
Figura 7. Esquema en 3D de un vertedero tipo tecla de piano y parámetros geométricos	12
Figura 8. Presa de María Cristina	14
Figura 9. Presa de María Cristina con el nuevo aliviadero	16
Figura 10. Modelo físico reducido del aliviadero de la presa Ma. Cristina.	16
Figura 11. Ubicación del proyecto hidroeléctrico Pilatón Santa-Ana	19
Figura 12. Sitio de captación en el río Pilatón.	20
Figura 13. Sitio de captación en el río Santa Ana (izquierda) y Chittoa (derecha).....	20
Figura 14. Río Pilatón	26
Figura 15. Río Santa Ana	27
Figura 16. Implantación de la captación Chittoa.....	29
Figura 17. Sección de conducción en el canal rectangular	31
Figura 18. Sección transversal – conducción en túnel – Pilatón.....	32
Figura 19. Sección de conducción en canal rectangular desde la captación Santa Ana hacia el desarenador	33
Figura 20. Sección transversal túnel Santa Ana – Tanque de carga.....	33
Figura 21. Implantación de tanque de carga Corte longitudinal de tanque de carga	36
Figura 22. Determinación del número de inyectores de la turbina Pelton.....	41
Figura 23. Variación de eficiencia con caudal en turbina Pelton	43
Figura 24. Vista lateral de una turbina Pelton de eje vertical.....	44
Figura 25. Vista en planta de una turbina Pelton de seis inyectores	44
Figura 26. Cuenca hidrográfica de los ríos Pilatón, Santa Ana y Chittoa.....	45
Figura 27. Perfil longitudinal y pendiente ponderada del cauce del río Pilatón.....	47
Figura 28. Perfil longitudinal y pendiente ponderada del cauce del río Santa Ana	47
Figura 29. Perfil longitudinal y pendiente ponderada del cauce del río Chittoa	48
Figura 30. Implantación de la captación en el río Pilatón.	52
Figura 31. Corte Longitudinal de la Captación Pilatón.....	52
Figura 32. Implantación de la Captación Santa Ana.....	54

Figura 33. Corte Longitudinal de la Captación Santa Ana	54
Figura 34. Implantación de la captación Chitua	55
Figura 35. Corte longitudinal de la captación Chitua	55
Figura 36. Ubicación de estaciones meteorológicas	58
Figura 37. Variación estacional de la temperatura media (°C).....	59
Figura 38. Relación de la temperatura media con la altitud.....	60
Figura 39. Variación estacional de la precipitación	61
Figura 40. Curva intensidad – duración – periodo de retorno Zona 22	64
Figura 41. Caudales medios mensuales en estaciones hidrológicas.....	68
Figura 42. Ubicación de autorizaciones de uso de aguas y caudales concesionados	70
Figura 43. Regresión lineal entre caudales medios mensuales estación H155 Pilatón DJ Sacalón vs. Estación H 156 Pilatón AJ Toachi (m ³ /s)	71
Figura 44. Regresión lineal entre caudales medios mensuales estación H155 Pilatón DJ Sacalón vs. Estación H160 Sarapullo AJ Toachi (m ³ /s).....	71
Figura 45. Regresión lineal entre caudales medios mensuales estación H155 Pilatón Dj Sacalón vs. Estación H162 AJ Pilatón (m ³ /s).....	72
Figura 46. Grafico ábaco para la obtención de k.....	92
Figura 47. Grafico ábaco para la obtención de n.....	93
Figura 48. Perfil del vertedero tipo Creager de Pilatón – Santa Ana	94
Figura 49.	95
Figura 50. Curva de descarga para el pre dimensionamiento del vertedero Tipo Tecla De Piano	97
Figura 51. Curva de descarga del vertedero tipo tecla de piano h=2,40 m.....	106
Figura 52. Dimensiones vertedero tipo tecla de piano.....	107
Figura 53. Planta del vertedero Tipo Tecla de Piano.....	108
Figura 54. Cortes del vertedero tipo Tecla de Piano.	109
Figura 55. Perspectivas en 3D del vertedero tipo Tecla de Piano.	110

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	10
Ecuación 2.....	10
Ecuación 3.....	10
Ecuación 4.....	10
Ecuación 5.....	10
Ecuación 6.....	11
Ecuación 7.....	11
Ecuación 8.....	38
Ecuación 9.....	65
Ecuación 10.....	83
Ecuación 11.....	90
Ecuación 12.....	90
Ecuación 13.....	91
Ecuación 14.....	92
Ecuación 15.....	92
Ecuación 16.....	93
Ecuación 17.....	95
Ecuación 18.....	95
Ecuación 19.....	96
Ecuación 20.....	104

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En el año 2010 el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), ahora llamado Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) consideró la realización de estudios de 10 proyectos hidroeléctricos distribuidos a lo largo del territorio Ecuatoriano entre los cuales se encuentra el proyecto hidroeléctrico PILATON SANTA-ANA, ubicado en la provincia de Pichincha cantón Mejía, y de esta manera aprovechar los recursos hídricos de la provincia para generar electricidad limpia y a bajo costo por medio de nuevas estructuras de captación (vertederos tipo tecla de piano) para centrales hidroeléctricas.

1.2. Justificación

En el año 2010 el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), ahora llamado Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) consideró la realización de estudios de 10 proyectos hidroeléctricos distribuidos a lo largo del territorio Ecuatoriano entre los cuales se encuentra el proyecto hidroeléctrico PILATÓN-SANTA ANA, ubicado en la provincia de Pichincha, cantón Mejía, y de esta manera aprovechar los recursos hídricos de la provincia para generar electricidad a un bajo costo, cubrir el déficit de energía en Pichincha y el excedente exportar a países vecinos, mediante la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas de pequeña y de mediana capacidad.

Con el propósito de analizar una alternativa al vertedero convencional (perfil Creager) que se utiliza en las estructuras de captación para este tipo de proyectos, se ha previsto realizar el presente estudio y el diseño del vertedero tipo tecla de piano para la central hidroeléctrica de mediana capacidad PILATON SANTA-ANA que tendrá una potencia instalada de 36 MW.

Los vertederos son estructuras hidráulicas importantes dentro de un proyecto hidroeléctrico, ya que estos elementos hidráulicos logran que el nivel de agua en la obra de toma alcance la cota requerida para su captación y posterior transporte en la obra de conducción; y, por otra parte, también evacua las aguas en exceso generadas durante los eventos de máximas crecidas.

El planteamiento de una opción que pueda aprovechar al máximo el espacio disponible y aumentar su capacidad hidráulica en espacios reducidos es el propósito de la presente

disertación, para lo cual se ha previsto la utilización y diseño de vertederos tipo tecla de piano.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general

Diseñar el vertedero de excesos tipo tecla de piano de la captación del proyecto hidroeléctrico Pilatón- Santa Ana en el río Pilatón, provincia de Pichincha.

1.3.2. Objetivos específicos

- Revisión de literatura técnica sobre vertederos y especialmente sobre vertederos tipo tecla de piano.
- Descripción de la información general del proyecto hidroeléctrico PILATON SANTA-ANA.
- Prediseño de vertederos con perfil Creager y tipo tecla de piano, y comparación técnica y de costos.
- Diseño definitivo del vertedero tipo tecla de piano para el proyecto hidroeléctrico Pilatón- Santa Ana en el río Pilatón.

1.4. Alcance

El estudio del vertedero tipo tecla de piano para el proyecto hidroeléctrico Pilatón- Santa Ana en el río Pilatón consta de:

- Comparación técnica y de costos de dos alternativas de vertederos.
- Estudios de hidrología.
- Diseño hidráulico.
- Prediseño del vertedero tipo Creager.
- Prediseño del vertedero tipo tecla de piano.
- Diseño del vertedero tipo tecla de piano.
- Planos de construcción.
- Presupuesto.

2. REVISIÓN DE LITERATURA TÉCNICA.

2.1. Revisión de literatura técnica sobre vertederos.

El vertedero hidráulico cumple diferentes funciones entre las que se encuentran garantizar que la estructura hidráulica ofrezca seguridad, pues impide que se eleve el nivel de aguas arriba sobre el máximo.

En el caso de una presa, un vertedero es la zona de la estructura que permite evacuar las aguas habitualmente o tener el control del nivel del reservorio de agua. Por lo general, las aguas son descargadas a la superficie más cercana que está libre en el embalse, en oposición a las descargas del fondo, por medio de las cuales salen de forma controlada del embalse.

Los vertederos se clasifican de diversas maneras:

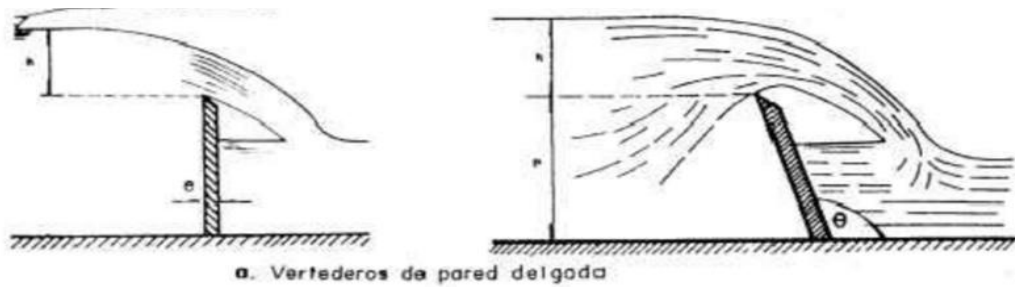
1. Según su localización en torno a la estructura principal.
 - Vertederos frontales, vertederos laterales, vertederos tulipa
2. Según los instrumentos con que se controla el caudal vertido.
 - Vertederos libres, es decir que no son controlados.
 - Vertederos controlados por medio de compuertas.
3. Según la pared en que se vierte.
 - Vertedero con perfil hidráulico, vertedero de pared gruesa, vertedero de pared delgada y vertedero de Cimacio.
4. Según la sección por donde se vierte.
 - Vertederos lineales, rectangulares, circulares, trapezoidales, triangulares.
5. Según su funcionamiento en torno al nivel de aguas abajo.
 - Vertedero ahogado o sumergido y vertedero libre.

(ARQHYS, 2012)

2.1.1. Vertederos de pared delgada.

Este tipo de vertedero debe tener la lámina libre, es decir, se encuentra en contacto directo con la presión atmosférica, su cresta es horizontal y su forma es como se muestra en la figura a. El vertedero de pared delgada es el más utilizado especialmente como aforador por ser una estructura de fácil construcción e instalación. Si el vertedero está debidamente calibrado se pueden obtener ecuaciones o curvas en las cuales el caudal es función de la carga hidráulica H (Granell Ninot & Toledo Municio, 2010)

Figura 1. Vertederos de pared delgada



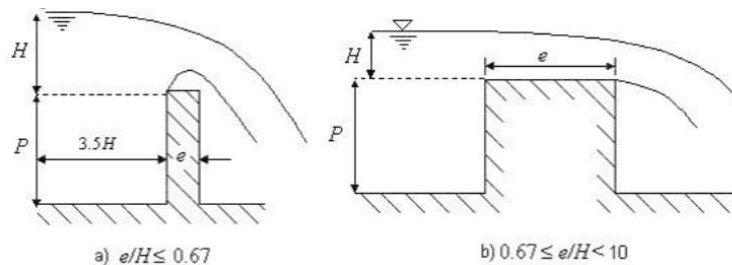
Fuente: (ARQHYS, 2012)

2.1.2. Vertedero de pared gruesa.

Son aquellos en los que el agua bordea la superficie de su cresta, pudiendo ésta tener diversidad de formas; tienen mayor capacidad de descarga para igual carga de agua que los vertederos de pared delgada y su uso más frecuente es como estructuras de control de nivel (Granell Ninot & Toledo Municio, 2010).

Entre los vertederos de pared gruesa más simples y más usados se tiene el vertedero rectangular, el mismo que se representa en la siguiente figura.

Figura 2. Vertederos de pared gruesa



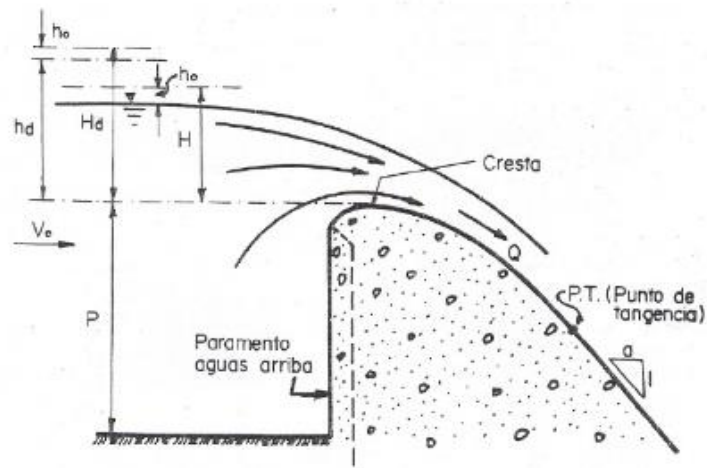
Fuente: (ARQHYS, 2012)

2.1.3. Vertedero de Cimacio.

Los vertederos de cimacio tienen sección en forma de S. La curva superior del cimacio hace que se ajuste rigurosamente al perfil de la superficie inferior de una lámina de agua con ventilación cayendo de un vertedero de cresta delgada. La lámina de agua se adhiere al paramento del perfil, evitando el acceso de aire a la cara inferior de la lámina. Para las descargas efectuadas con la carga del proyecto, el agua se desliza sobre la cresta sin interferencia de la superficie que la limita y casi alcanza su máxima eficiencia de descarga. El perfil, en la parte que sigue de la curva superior del cimacio se continúa en tangente a lo largo de un talud para soportar la lámina de agua sobre la superficie de derrame. Una

curva inversa al pie del talud desvía el agua hacia el lavadero de un estanque amortiguador o dentro del canal de descarga del vertedero (Salas, 2016).

Figura 3. Vertedero de Cimacio



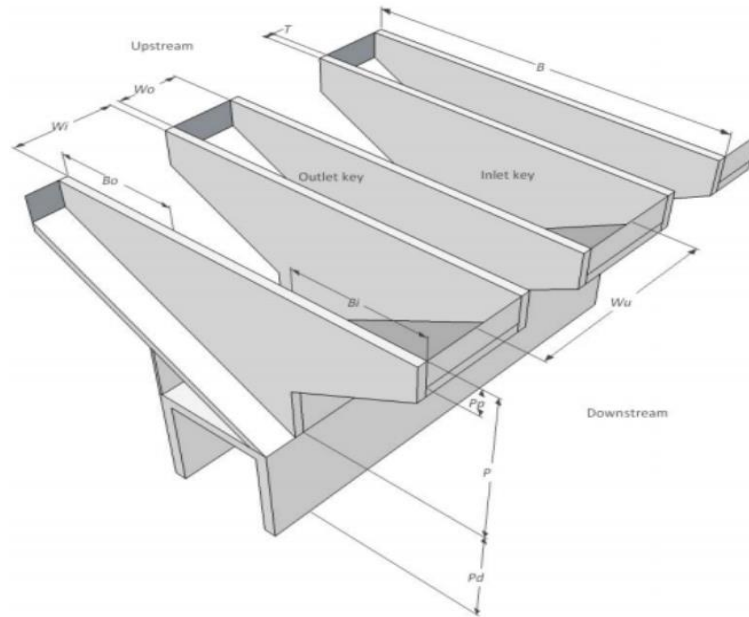
Fuente: (Salas, 2016)

2.2. Revisión de literatura técnica sobre vertederos tipo tecla de piano.

2.2.1. Base conceptual.

Se puede definir el vertedero como un muro de altura P , que al interrumpir la corriente del agua, obliga al líquido a que se derrame por encima del mismo. La abertura de la estructura mencionada puede ser de diferentes formas geométricas y tamaños según las finalidades a las que se destine (Granell Ninot & Toledo Municio, 2010).

Figura 4. Vista en 3D vertedero tipo tecla de piano



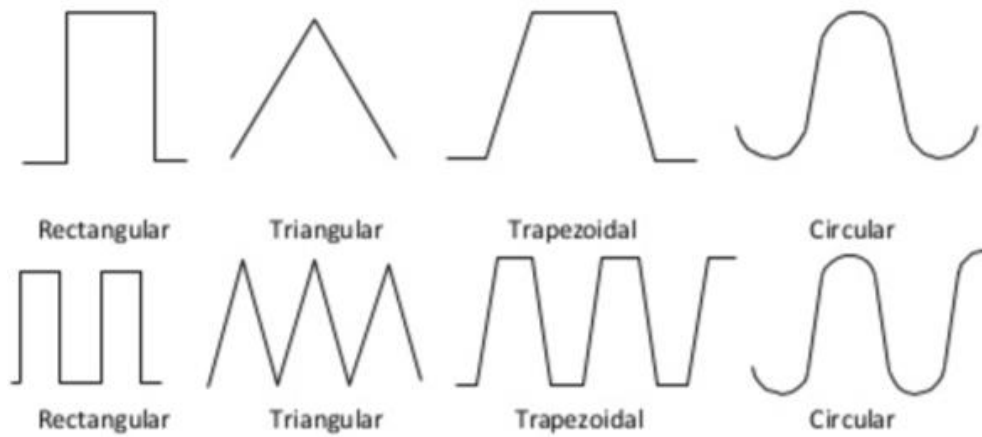
Fuente: (ARQHYS, 2012)

Un vertedero tipo tecla de piano es un vertedero usado en proyectos hidráulicos, que visto en planta se representa en forma de zigzag; su fondo es inclinado y avanza en voladizo con respecto a un vertedero en laberinto de muros verticales y mismas dimensiones de base, toma esta geometría con el objeto de aumentar la longitud del vertedero lo que producirá el aumento de la capacidad de descarga.

El vertedero tipo tecla de piano está conformado por varios ciclos, un ciclo es una secuencia de paredes y ápices dando una forma similar a una onda.

Las formas en planta más comunes de estos vertederos son el rectangular, triangular y trapezoidal. El vertedero rectangular está formado por paredes rectangulares dispuestas de manera perpendicular entre ellas; el tipo triangular dispone las paredes de manera angular semejando un triángulo. El tipo trapezoidal dispone las paredes en una formación semejando un trapecio (Granell Ninot, Archivo Digital Universidad Politécnica de Madrid, 2015).

Figura 5. Tipos de vertedero tipo tecla de piano



Fuente: (Falvey, 2003)

Figura 6. Vertedero tipo tecla de piano presa Australia Benalla Victoria



Fuente: (Buchanan, 2017)

Existen tres maneras de analizar la hidráulica de un vertedero tipo tecla de piano.

1. Mediante procedimientos experimentales de cálculos matemáticos cuyos resultados se extrapolan a una determinada gama de geometrías y rangos de funcionamiento.
2. Por medio de ensayos hidráulicos sobre modelaciones físicas a escala reducida.
3. Mediante modelaciones numéricas por el MEF (Modelación por elementos finitos).

Actualmente, el diseño inicial de los vertederos tipo tecla de piano se realiza por el primero de los tres métodos descritos anteriormente; una vez obtenidos los resultados se comprueba con modelación física (Cordero & Granell Ninot, 2005).

2.2.2. Características técnicas.

El vertedero tipo tecla de piano es un vertedero desarrollado por Lempérière el cual se origina a partir de un vertedero en laberinto con voladizos y así poder facilitar la ubicación del vertedero en las crestas de la presa. La primera maqueta realizada de este modelo hidráulico demostró que este nuevo tipo de Vertederos puede ser cuatro veces más eficiente que uno tradicional tipo Creager a la cabeza constante y longitud de coronación de la presa (Blanc & Lempérière, 2001).

El vertedero tipo tecla de piano muestra particularidades geométricas aguas arriba como aguas abajo con voladizos de anchura variable, en las pendientes del fondo de entrada y de salida, que implican un gran conjunto de variables de parámetros. El " vertedero tipo tecla de piano-unidad" es la medida más pequeña de un compuesto del vertedero tipo tecla de piano completa de una clave de entrada entero con dos paredes laterales y una clave de medio de salida en ambos lados. Los principales parámetros geométricos de un vertedero tipo tecla de piano son la altura del vertedero P , el número de vertedero tipo tecla de piano-unidades N_u , la longitud lateral de coronación B , la entrada y salida anchos W_i W_o , la de subida como la de bajada en voladizo longitudes de B_o y B_i y el espesor de pared T (Cordero & Granell Ninot, 2005).

Actualmente se han desarrollado estudios experimentales que se llevan a cabo en diferentes laboratorios para mejorar la comprensión y el análisis del comportamiento de flujo de los vertederos tipo tecla de piano (Anderson y Tullis de 2011, Machiels et al. 2011, Machiels 2012), y para caracterizar la influencia de una serie de parámetros geométricos sobre la capacidad de descarga de los vertederos tipo tecla de piano (Hien et al., 2006, Ouamane y Lempérière 2006b, Le Doucen et al. 2009, Machiels et al. 2010, Machiels 2012).

Hasta ahora, el diseño hidráulico de un vertedero tipo tecla de piano se lleva a cabo principalmente sobre la base del conocimiento experimental y modelos numéricos, utilizados para diseñar la geometría inicial, y que a continuación se realiza modelos a escala paso a paso siguiendo los lineamientos de los ingenieros encargados del proyecto.

Un método de diseño preliminar para vertederos tipo tecla de piano tiene por objeto que se aproxime de la mejor forma posible al modelo del diseño final, teniendo en cuenta las limitaciones del proyecto y de los posibles imprevistos que puedan ocurrir, para de esta manera tener un proyecto que sea óptimo y rentable.

2.2.3. Criterios de diseño

Los criterios de diseño se basan en las limitaciones del proyecto (descarga, niveles de los embalses, espacio disponible) y en la extrapolación de los resultados experimentales existentes a partir de un modelo de referencia a escala.

Las opciones para ampliar el estudio de los modelos de referencia para el diseño final son definidas en función de las necesidades del ingeniero diseñador del proyecto, ya que depende de varios factores como son el aumento del nivel de seguridad, el aumento de la capacidad de los embalses y la disminución de las dimensiones de la estructura.

Los requerimientos necesarios para el método de diseño se clasifican en los elementos del proyecto y los elementos del modelo de referencia. Los elementos del proyecto son las especificaciones hidráulicas y geométricas del proyecto (descarga, la cabeza y la anchura máxima disponible). Con respecto al modelo de referencia, una curva de capacidad de liberación emitida a partir de pruebas experimentales es necesario, así como características geométricas del modelo de prueba (Castro, 2006).

Sobre la base de los elementos del proyecto pueden existir diferentes diseños eficientes. El primer paso del método tiene por objeto definir estas diferentes posibilidades como una función del número de unidades del vertedero tipo tecla de piano en la estructura, mediante la ampliación de los parámetros geométricos e hidráulicos de la referencia del modelo (Udall & Dominy, 1972).

La anchura del vertedero tipo tecla de piano-unidad de W_u se define como una función del número de unidades de vertederos tipo tecla de piano y de la anchura N_u disponible para el proyecto W : (Kochin, 1978).

$$W_u = \frac{W}{Nu}$$

Ecuación 1

Fuente: (Epicum, S; Laugier, F.; Boillat, J.; Piroton, M.; Reverchon, B.; Schleiss, A. J., 2011)

La escala del modelo del proyecto X se define como la relación entre las anchuras del vertedero tipo tecla de piano-unidades en el proyecto W_u y en el modelo de referencia W_u^* .

$$X = \frac{W_u}{W_u^*}$$

Ecuación 2

Fuente: (Epicum, S; Laugier, F.; Boillat, J.; Piroton, M.; Reverchon, B.; Schleiss, A. J., 2011)

La aplicación de esta escala en el diseño de la cabeza de agua H, correspondiente en la referencia del Modelo H^* es:

$$H^* = \frac{H}{X}$$

Ecuación 3

Fuente: (Epicum, S; Laugier, F.; Boillat, J.; Piroton, M.; Reverchon, B.; Schleiss, A. J., 2011)

El coeficiente de descarga C_{dw} , de la ecuación de Poleni (Ecuación (4)), por lo general es utilizada para caracterizar eficiencia de vertederos, es un número adimensional, no hay escala de su valor y la de C_{dw} es el valor del modelo del proyecto para el diseño de la cabeza H que es igual al valor C_{dw}^* , este valor es de referencia del modelo en el correspondiente cabezal de H^* (Ecuación (5)).

$$Q = C_{dw} \cdot W \cdot \sqrt{2gH^3}$$

Ecuación 4

$$C_{dw}(H) = C_{dw}^*(H^*)$$

Ecuación 5

Fuente: (Epicum, S; Laugier, F.; Boillat, J.; Piroton, M.; Reverchon, B.; Schleiss, A. J., 2011)

Insertar la ecuación (1) en (3) y (5) en la ecuación de Poleni (4), una relación entre la cabeza y la descarga Se obtiene la descarga para el modelo del proyecto en función de la

hidráulica y de las características geométricas del modelo de referencia (W_u y C_{dw}^*) y de las restricciones del proyecto (W) y del número de vertederos tipo tecla de piano-unidades en el proyecto.

$$Q = C_{dw} \cdot W \cdot \sqrt{2gH^3} \text{ con } C_{dw} = f\left(\frac{H \cdot W_u \cdot Nu}{W}\right)$$

Ecuación 6

Fuente: (Epicum, S; Laugier, F.; Boillat, J.; Piroton, M.; Reverchon, B.; Schleiss, A. J., 2011)

Si el coeficiente de descarga del modelo de referencia no es conocido, su valor es calculado por extrapolación en el medio de los valores existentes. La precisión del método de diseño por lo tanto se vincula directamente a la exactitud de pruebas experimentales y al número de los resultados disponibles para el modelo de referencia.

Al dibujar las curvas de altura / descarga definida por la ecuación (6) para diferentes números de vertederos tipo tecla de piano unidades y la limitación de estas curvas de la cabeza y la descarga de valores por debajo de la cabeza del diseño y sobre diferentes diseños puede responder a las limitaciones del proyecto.

El segundo paso del método es optimizar los parámetros restantes en función de los requerimientos del proyecto, para definir con claridad el diseño final. Mediante la aplicación de la escala factor a la cotas del modelo de referencia X^* , las cotas del modelo del proyecto X son completamente definida (la ecuación (7)), lo que permite la optimización del diseño final incluyendo el diseño estructural, criterios económicos e hidráulicos (Epicum, S; Laugier, F.; Boillat, J.; Piroton, M.; Reverchon, B.; Schleiss, A. J., 2011).

$$X = x \cdot X^*$$

Ecuación 7

Fuente: (Epicum, S; Laugier, F.; Boillat, J.; Piroton, M.; Reverchon, B.; Schleiss, A. J., 2011)

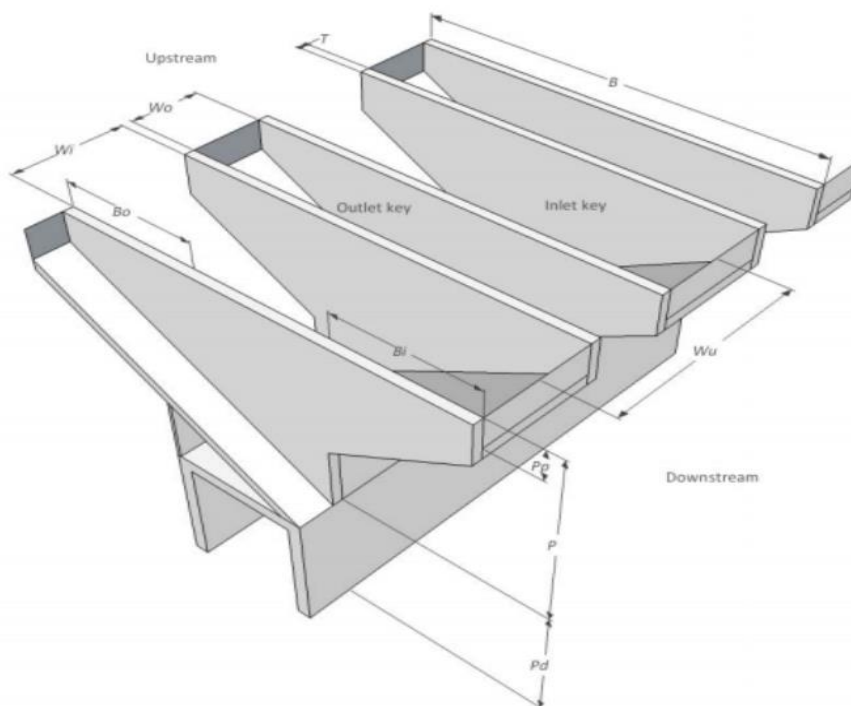
El método finalmente se puede resumir como los siguientes cuatro pasos:

1. Elegir un modelo de referencia;
2. La ampliación de las características geométricas e hidráulicas del modelo de referencia que corresponde con un número diferente de vertederos tipo tecla de piano-unidades.
3. El aislamiento de los diseños aceptados para responder a las limitaciones del proyecto.

4. Optimización del diseño basado en criterios hidráulicos, estructurales y económicos, en función de los intereses del proyecto.

Este método ha sido aplicado al pre-diseño de configuraciones variadas de vertederos tipo tecla de piano (Machiels 2012) destacando una buena predicción de los resultados experimentales, siempre que los efectos secundarios sean moderados. Esto es cierto para un gran número de vertederos tipo tecla de piano-unidades o para condiciones de un reservorio.

Figura 7. Esquema en 3D de un vertedero tipo tecla de piano y parámetros geométricos



Fuente: (Machiels, Ercicum, Archambeau, Dewals, & Pirotton, 2015)

2.2.4. Aplicaciones.

Los vertederos tipo tecla de piano son estructuras que tienen aplicaciones muy extendidas en todo tipo de proyectos hidráulicos, entre las cuales pueden tener las siguientes funciones:

- Captar el nivel de agua necesario en una obra de toma para el funcionamiento de la central hidroeléctrica.
- Mantener un nivel casi constante aguas arriba de una obra de toma, permitiendo que el flujo sobre el coronamiento del vertedero se desarrolle con una lámina líquida de espesor limitado.

- Permitir el control del flujo en estructuras de caída, disipadores de energía, transiciones, estructuras de entrada y salida en alcantarillas de carreteras, sistemas de alcantarillado, etc.

Entre las aplicaciones más importantes del vertedero tipo tecla de piano es dejar escapar el agua de excedentes o de crecientes que no cabe en el espacio destinado para el almacenamiento y en las presas de derivación para dejar pasar los excedentes que no se envían al sistema de derivación. Ordinariamente, los volúmenes en exceso se toman de la parte superior del embalse creado por la presa y se conducen por un conducto artificial de nuevo al río o hacia algún canal de drenaje natural (Flores Ortiz, 2013).

La importancia que tiene un vertedero seguro no se puede exagerar, muchas fallas de las presas se han debido a vertederos mal proyectados o de capacidad insuficiente. La amplitud de la capacidad es de extraordinaria importancia en las presas de tierra y en las de enrocado, que tienen el riesgo de ser destruidas si son rebasadas, mientras que las presas de concreto pueden soportar un rebasamiento moderado. Generalmente, el aumento en costo no es directamente proporcional al aumento de capacidad. Con frecuencia el costo de un vertedero de amplia capacidad es sólo un poco mayor que el de uno que evidentemente es muy pequeño (Flores Ortiz, 2013).

Además de tener suficiente capacidad, el vertedero debe ser hidráulica y estructuralmente adecuado y debe estar localizado de manera que las descargas del vertedero no erosionen ni socaven el talón aguas abajo de la presa. Las superficies que forman el canal de descarga del vertedero deben ser resistentes a las velocidades erosivas creadas por la caída desde la disipación de la energía al pie de la caída (Udall & Dominy, 1972).

La frecuencia del uso del vertedero la determinan las características del escurrimiento de la cuenca y la naturaleza del aprovechamiento. Ordinariamente, las crecientes se almacenan en el embalse, se derivan por las tomas o se descargan y no es necesario que funcione el vertedero. Las descargas por el vertedero se pueden producir durante las avenidas o periodos de escurrimiento elevado sostenido, cuando las capacidades de las demás salidas se exceden. Cuando la capacidad del vaso es grande o cuando las otras de descarga o de derivación son grandes, el vertedero se utilizará rara vez. En las presas derivadoras en las que el almacenamiento es limitado y los volúmenes derivados son relativamente pequeños, comparados con el gasto normal del río, el vertedero se usará casi constantemente (Suárez, 2015).

2.2.5. Casos.

La presa de María Cristina fue construida durante las primeras décadas del siglo XX, ubicada en la provincia de Castellón España, la presa tiene la tipología de ARCO- GRAVEDAD, desde su diseño fue diseñada y construida como presa de GRAVEDAD, con perfil LEVY. Sus dos paramentos son escalonados.

La cota de coronación es de 138 m.s.n.m. con una altura de 56,50 m sobre sus cimientos, su longitud en coronación es de 322 m y su embalse puede almacenar un volumen de 19,59 Hm³ con el nivel del agua a la cota de máximo embalse normal (N.M.N.) (Cordero & Granell Ninot, 2005)

Figura 8. Presa de María Cristina



Fuente: (Cordero & Granell Ninot, 2005)

La capacidad del aliviadero que se ubica en la margen derecha de la cerradura, apurando el resguardo es de 597 m³/s. la embocadura es de labio fijo y el umbral se sitúa en la cota 133,58 m. El canal de descarga a los 130,00 m en planta. La presa se ha visto desbordada en diversas ocasiones a lo largo de la vida útil. La última fue en el año 2000. En tal fecha afluyó al embalse una creciente de 78 Hm³ y un caudal punta de 1.300 m³/s que dio lugar a un desborde de 52 cm.

Fue necesario un nuevo elemento hidráulico que eleve la capacidad de desagüe apreciablemente. El embalse carecía de capacidad laminadora, teniendo en cuenta de que el volumen es pequeño en comparación con el de las crecientes de cálculo. Una vez caracterizado el régimen de las crecientes, los valores del proyecto empleados fueron de

3.154 m³/s y 116 Hm³ correspondientes respectivamente al volumen y al caudal de punta de la crecida de 1.000 años de periodo de retorno y 5.620 m³/s y 207 Hm³, relativos a su vez, a la crecida de 10.000 años. La capacidad del embalse es de 19 Hm³.

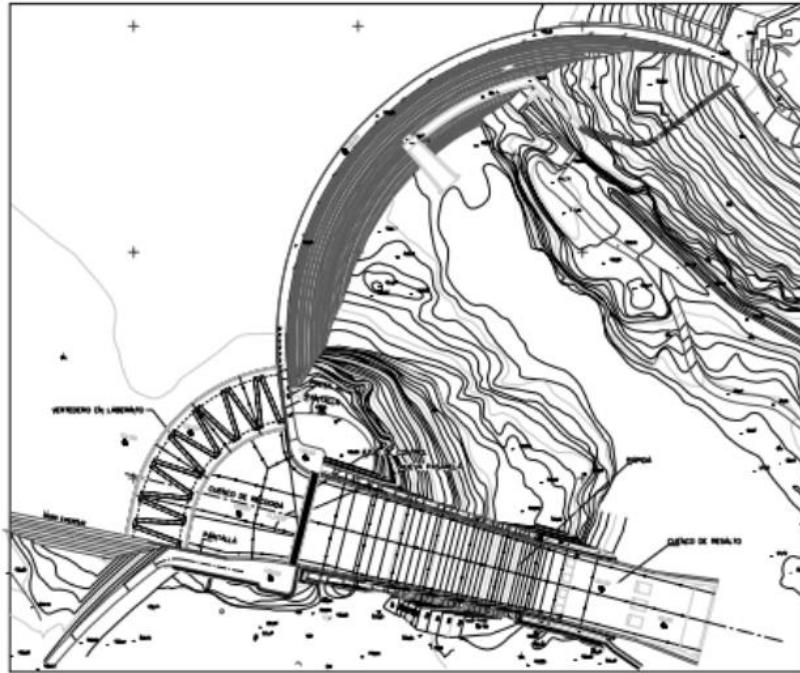
Por otra parte, el elevado valor histórico de la presa desaprueba la conversión de la misma en una presa vertedero o una solución de recrecimiento empleando la existente. Además de las condiciones geomorfológicas del emplazamiento impiden la actuación en cualquier punto que no sea el aliviadero de superficie existente y ubicado en la margen derecha.

La solución óptima fue la implantación de un vertedero tipo tecla de piano sobre la playa de alimentación del existente, previa demolición del existente y que evacue los caudales de descarga actual.

Las condiciones topográficas del emplazamiento del aliviadero condicionaron el diseño, dado que el elemento hidráulico se ubica lateralmente a la presa, en principio un aliviadero de alimentación lateral a la descarga hubiera facilitado una mayor longitud de vertido y unas mejores condiciones de alimentación, sin embargo en la parte de aguas arriba no era posible cimentar el vertedero, por lo que hubo que adoptar un aliviadero de alimentación frontal y con el vertedero dispuesto sobre una directriz curva.

Esta solución maximiza la longitud de vertido del vertedero, alcanzando los límites de una cimentación adecuada de la losa de apoyo y solventa en la medida de lo posible, los problemas derivados de la inapropiada alimentación, dado que acerca el vertedero al embalse. El análisis hidráulico se realizó según diversas metodologías si bien fue preciso acudir a la modelación hidráulica para determinar el ajuste y las formas del vertedero (Cordero & Granell Ninot, 2005).

Figura 9. Presa de María Cristina con el nuevo aliviadero



Fuente: (Cordero & Granell Ninot, 2005)

2.3. Ensayo hidráulico sobre el modelo físico reducido

El objetivo del modelo físico reducido fue analizar el comportamiento del nuevo aliviadero tipo tecla de piano para ello se proyectó un modelo reducido a escala geométrica 1/50 que fue construido en el centro C.E.H. en el modelo se reprodujo el vertedero y la totalidad de la presa.

Figura 10. Modelo físico reducido del aliviadero de la presa Ma. Cristina.



Fuente: (Cordero & Granell Ninot, 2005)

El vertedero proyectado cuenta con los siguientes elementos: vertedero tipo tecla de piano, cuenco de recogida, azud de control, rápida y estructura de restitución al cauce. El vertedero tipo tecla de piano tiene una longitud desarrollada de 301,30 m, de 9 módulos formados por dos muros diagonales de 14,10 m de longitud y dos muros de longitudinales de 2,50 m. La longitud media proyectada de los módulos era de 8,30 m, y el umbral se situaba a la cota 133,65 con una altura del vertedero de 7,15 m. Los ensayos tenían como principal objetivo la obtención de la curva de capacidad de descarga en el modelo a la vez que analizar el funcionamiento de cada parte de la obra (Cordero & Granell Ninot, 2005).

La modelación física del vertedero tipo tecla piano dio como resultado una muestra aproximada del comportamiento que tendría el mismo en la presa María Cristina para poder elevar la capacidad de evacuación de las aguas en el desagüe.

La implantación del vertedero tipo tecla de piano en la presa María Cristina dio como resultado el incremento de la longitud efectiva del vertedero para la evacuación de las aguas, resolviendo los continuos desbordes que sufría esta presa al momento de crecientes centenarias o milenarias.

3. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PILATÓN-SANTA ANA

3.1. Información de la zona.

El proyecto hidroeléctrico Pilatón Santa Ana está ubicado en el centro norte del país en la provincia de Pichincha, cantón Mejía, al sur oriente de la provincia de Pichincha. Sus límites son: al norte cantones Quito y Rumiñahui, al sur: provincia de Cotopaxi, al oriente: provincia de Napo y al occidente: provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Esta aproximadamente a 40 km de distancia de la ciudad de Quito.

La parroquia Manuel Cornejo Astorga, también conocida como Tandapi, es parte del cantón Mejía y es la población más cercana al proyecto. Los ríos Pilatón, Santa Ana y Chittoa, cuyas aguas se aprovechan para la generación hidroeléctrica, forman parte del sistema hidrográfico de Esmeraldas, vertiente del Pacífico.

El área de interés para el proyecto está situada en la zona 17S, entre las coordenadas UTM 745 074 mE y 9'995 169 mN en la Figura No. 1, se muestra la ubicación del proyecto en el país (CONELEC, 2013).

El proyecto hidroeléctrico capta los caudales de los ríos Pilatón, Santa Ana y Chittoa. La obra de toma del río Pilatón deriva el mayor caudal de aprovechamiento y corresponde a una captación lateral. En las secciones transversales de derivación para los ríos Santa Ana y Chittoa se han dispuesto captaciones con rejilla de fondo.

Figura 11. Ubicación del proyecto hidroeléctrico Pilatón Santa-Ana



Fuente: (CONELEC, 2013)

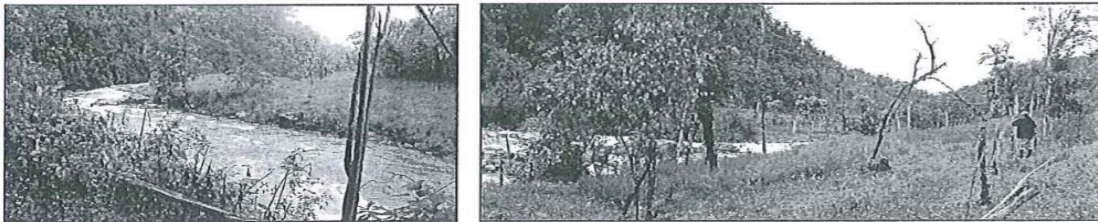
La zona de emplazamiento para las obras de la central hidroeléctrica PILATON SANTA-ANA se caracteriza por ser montañosa y de topografía irregular, como se puede observar en las fotografías.

Figura 12. Sitio de captación en el río Pilatón.



Fuente: (CONELEC, 2013)

Figura 13. Sitio de captación en el río Santa Ana (izquierda) y Chittoa (derecha)



Fuente: (CONELEC, 2013)

Para el acceso de los sitios seleccionados para la implantación de las obras se debe construir los accesos necesarios, además de mejorar los accesos existentes de segundo orden. Para acceder al sitio de la casa de máquinas y captación del río Chittoa se debe construir puentes de acceso.

La elevación media de las captaciones se encuentra alrededor de la cota 1400 m.s.n.m., razón por la cual los tramos de derivación de los ríos Pilatón Santa Ana y Chittoa corresponden a tramos medios altos típicos de ríos de pie de montaña. La cuenca de mayor área de aportación corresponde a la del río Pilatón, de donde se obtiene el 58% del caudal total de aprovechamiento (CONELEC, 2013).

3.1.1. Clima

La zona del proyecto se encuentra en una zona cálida y húmeda, por lo que presenta las siguientes características climáticas.

Tabla 1. Datos de clima y temperatura

Periodo seco			Periodo húmedo		
Época.	Temperatura Media. °C	Precipitaciones Pluviométricas mm ³	Época.	Temperatura Media. °C	Precipitación Pluviométrica. mm ³
Jun - ago.	15,2	1543	Sep.- Ene.	15,0	5525

Fuente: Estudio de factibilidad para la creación de una hostería ecológica ubicada en la vía Aloag-Santo Domingo, parroquia Manuel Cornejo Astorga (Tandapi). Escuela politécnica Nacional. 2009

3.1.2. Población

La parroquia Manuel Cornejo Astorga es la población de mayor importancia que se encuentra cerca de la zona del proyecto. Los poblados más cercanos son La Esperanza, La Esperie, Chittoa y Santuario de Baños.

Los datos de la población de la parroquia Manuel Cornejo Astorga se indican en el siguiente cuadro.

Tabla 2. Datos de la población

Parroquia	Hombres	Mujeres	Total
Manuel Cornejo Astorga	1944	1717	3661

Fuente: (INEC, 2010)

3.2. Estado actual de los estudios

El estado actual de los estudios se encuentra en estado de inventario el cual ha cumplido con la norma INEN NTE INEN-IEC 61366-6 Primera edición 2014-01 y consta de:

ÍNDICE

1.	ANTECEDENTES PARA EL DESARROLLO DEL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO PILATON- SANTA ANA	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	DESARROLLO DEL PERFIL PARA EL PROYECTO PIALTÓN-SANTA ANA	2
2.	OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO DE INVENTARIO	2
3.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DEL APROVECHAMIENTO	6
3.1	UBICACIÓN DEL APROVECHAMIENTO	6
3.2	ACCESOS	11

3.3	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA	11
3.4	CLIMA	12
3.5	POBLACIONES	13
3.6	INFORMACIÓN BÁSICA SOBRE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA O GANADERA Y ACTIVIDADES TURÍSTICAS DE LA ZONA DE INFLUENCIA	13
4.	CARTOGRAFÍA Y UBICACIÓN DE PUNTOS GPS	13
4.1	CARTOGRAFÍA	13
4.2	UBICACIÓN DE PUNTOS GPS	13
4.3	CONCLUSIONES	15
5.	CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA	16
5.1	CLIMATOLOGÍA	22
5.2	TEMPERATURA	23
5.3	HUMEDAD RELATIVA	25
5.4	PRECIPITACIÓN	25
5.5	ANÁLISIS DE LLUVIAS INTENSAS	29
5.6	HIDROLOGÍA	30
5.7	CAUDALES EN LAS CAPTACIONES DE LOS RÍOS PILATÓN, SANTA ANA Y CHITOA	42
5.8	CAUDALES APROVECHABLES EN LOS SITIOS DE CAPTACIÓN	48
5.9	TRANORTE DE SEDIMENTOS	52
5.10	CONCLUSIONES	55
6.	GEOLOGÍA Y GEOTECNÍA	59
6.1	LITOLOGÍA REGIONAL	59
6.2	ESTRUCTURAS REGIONALES.....	61
6.3	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAS OBRAS	62
6.4	SISMICIDAD	68
6.5	VOLCANISMO.....	69
6.6	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	71
6.7	CONCLUSIONES	72
7.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL APROVECHAMIENTO	74
7.1	DESCRPCIÓN DE LAS OBRAS CIVIL-HIDRÁULICAS	74
7.2	EQUIPAMIENTO MECÁNICO	97
7.3	COMPONENTE ELÉCTRICO	107
7.4	VÍAS DE ACCESO	113
8.	ESTUDIO AMBIENTAL	122
9.	PRESUPUESTO REFERENCIAL	147
10.	EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA PRELIMINAR, A NIVEL DE INVENTARIO.....	148
11.	ANÁLISIS DE LA VIALIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA, FINANCIERA Y AMBIENTAL.....	153

(CONELEC, 2013)

3.2.1. Cartografía y ubicación de puntos GPS

Para el desarrollo del Estudio a nivel de inventario se dispone de la siguiente información

Cartas topográficas IGM:

1:50000: MANUEL CORNEJO ASTORGA ÑIII-C1, AMAGUAÑA ÑIII-C2

1:25000 YAMBOYA ÑIII-C1d, CORNEJO ASTORGA ÑIII-C1b

3.2.2. Ubicación de puntos GPS

3.2.2.1. Monumentación de nuevos puntos GPS

Se definen los sitios exactos donde se colocarán los nuevos puntos GPS de precisión verificando que existan las condiciones mínimas para la formación del cono de enlace a fin de que se pueda realizar la conexión satelital y cuidando que la ubicación del punto permita la intervisibilidad con la posición del siguiente punto GPS a monumentarse (se recomienda que la distancia máxima entre puntos GPS pares no exceda los 500 metros).

Tabla 3. Resumen de puntos GPS para el proyecto PILATÓN SANTA-ANA

Ubicación	Código	Norte	Este	Cota(m.s.n.m.)
Pto. Control Horizontal – GPS IGM	PE 16997-Y	9958639.937	745090.451	1505.174
Pto. Control VERTICAL – GPS IGM	IGM - NIVELACIÓN	9961455.988	739711.206	1155.094
CAPTACIÓN PILATÓN				
Captación 1– GPS1	PSA-C1-1 (ref.)	9954570.931	744683.778	1429.711
Captación 1– GPS2	PSA-C1-2 (río.)	9958918.786	744288.158	1395.32
CAPTACIÓN SANTA ANA				
Captación 2– GPS1	PSA-C2-1 (río.)	9958977.679	744364.151	1393.341
Captación 2– GPS2	PSA-C2-2 (ref.)	9958918.786	744288.158	1395.32
CAPTACIÓN CHITOA				
Captación 3– GPS1	PSA-C3-1 (ref.)	9964522.868	744541.445	1482.64
Captación 3– GPS1	PSA-C3-2 (río.)	9964372.985	744389.116	1472.412
CASA DE MÁQUINAS				
Casa de Maq.– GPS2	PSA-CM-1 (río.)	9961444.404	739765.016	1152.762
Casa de Maq.– GPS1	PSA-CM-2 (ref.)	9961539.716	739809.708	1157.256

Fuente: (CONELEC, 2013)

El hito o vértice utilizado como base de la micro red interna GPS colocada para los estudios de Inventario del proyecto PILATON SANTA-ANA, corresponde al hito del instituto Geográfico Militar(IGM), con código PE 8933-X, el cual es un punto de control horizontal y vertical.

3.2.3. Hidrología

El objetivo general de los estudios de hidrología a nivel de inventario consiste en analizar la información meteorológica, hidrológica y de sedimentos disponible, con el fin de proporcionar los datos necesarios para el diseño de las obras, así como para evaluar los aspectos económicos y ambientales del proyecto (CONELEC, 2013).

La caracterización hidrológica definirá los caudales disponibles en la fuente hídrica del Proyecto Hidroeléctrico PILATON SANTA-ANA, con el propósito de establecer la oferta hídrica para la ejecución del diseño de las obras de captación, conducción, tanque de carga, tubería de presión, generación de energía y restitución.

3.2.3.1. Alcance

Definir los principales parámetros hidrológicos de diseño de los sitios de captación del proyecto hidroeléctrico PILATON SANTA-ANA (PSA), es decir, caudales medios, mínimos, máximos y el aporte de sedimentos de la cuenca hacia las obras.

3.2.3.2. Metodología

La aplicación de la metodología exige el cumplimiento de las siguientes actividades:

- Conformación del mapa base y localización de los puntos de interés en la carta topográfica 1:50.000.
- Delimitación de las cuencas y determinación de las características físicas de la misma hasta las secciones de interés del Proyecto.
- Obtención de la base de datos hidrométricos, para las estaciones hidrológicas del río Pilatón.
- Conformación de la serie de los caudales medios mensuales y generación de las curvas de duración general.

3.2.3.3. Fuentes de datos e información

Se ha revisado y utilizado la siguiente información en la zona de estudio:

- Información Cartográfica 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar (IGM) correspondiente a las cartas Jatunloma, Machachi, Amaguaña y Manuel Cornejo Astorga.
- Anuarios Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Higiología (INAHMI).
- Anuarios Hidrológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Higiología (INAHMI).
- Inventario de Recursos Energéticos del Ecuador con fines de generación eléctrica, 2009, CONELEC, 2010.

Para el análisis hidrológico a nivel de Inventario son de interés particular los sitios de captación.

La ubicación de estos sitios se incluye en el siguiente cuadro.

Tabla 4. Coordenadas de ubicación de los sitios de captación.

Obra	Coordenadas UTM WGs84 17S	
	Norte	Este
Captación 1- río Pilatón (CSA1)	9954583	744730
Captación 2- río Santa Ana (CSA2)	9958923	744289
Captación 1- río Chittoa (CSA3)	9963094	743209

Fuente: (CONELEC, 2013)

3.3. Descripción general del proyecto

El proyecto hidroeléctrico PILATON SANTA-ANA aprovecha las aguas de los ríos Pilatón, Santa Ana y Chittoa que corresponde a una central de pasada, que turbinas un caudal total de 29,0 m³/s, aprovechando una carga bruta de 239,2 m, para instalar una potencia de 58,45 MW.

El proyecto plantea una captación con rejilla lateral en el río Pilatón y captaciones con rejilla de fondo en los ríos Santa Ana y Chittoa. Estas obras permitirán la derivación de los caudales de diseño, así como también el tránsito seguro de los caudales de crecida. Se incluye un desarenador ubicado mediante canales y túneles con flujo libre, hasta el tanque de carga donde se presuriza el flujo y desciende a través de la tubería de presión hasta la casa de máquinas ubicada aguas arriba de la confluencia del río Chittoa con el Pilatón, al cual se restituyen los caudales turbinados (CONELEC, 2013).

3.3.1. Captaciones

El Proyecto Hidroeléctrico Pilatón-Santa Ana se abastece a través de tres captaciones, denominadas en este estudio con el mismo nombre del río del cual se derivan los caudales del proyecto.

La captación Pilatón.- Considerando el caudal de aprovechamiento así como las características morfológicas del río Pilatón en el tramo de captación, se ha planteado una toma con rejilla lateral o toma convencional, apropiada para ríos con grandes caudales líquidos, que arrastran de igual manera un volumen importante de material grueso. El tramo de captación presenta una alineación relativamente recta con taludes laterales bien definidos y su pendiente longitudinal representativa es del orden de 3% como se puede observar en la fotografía.

Figura 14. Río Pilatón



Fuente: (CONELEC, 2013)

La sección del río en el sitio de derivación se cierra totalmente con tres (3) vanos de compuertas radiales, montadas entre pilas sobre un umbral de fondo cuya geometría facilita el tránsito del material sólido durante las crecidas y aperturas de compuertas. El ancho total del cierre es de 25,0 m. Cada compuerta radial tiene un ancho de 8,2 m y una altura de 6,0 m. El ancho de las pilas es de 2.5m (CONELEC, 2013).

Aguas arriba del cierre móvil, se cuenta con muros laterales de aproximación. En el muro lateral derecho, se ha dispuesto el orificio de toma con una longitud total de 12,5 m, con dos pilas de 4,0 m de ancho. El extremo inferior del orificio lateral se ubica a 2,0 m sobre el fondo del río para evitar su obstrucción.

Para evitar el ingreso de material grueso y material flotante hacia la conducción se ha dispuesto delante del orificio lateral de toma, una rejilla con separación de 5,0 cm entre barrotes, conformada por platinas de 30x12 mm. Esta rejilla permitirá el ingreso del agua hacia una cámara desripadora, seguida por una transición que continua con el canal de conducción hacia el desarenador, dispuesto sobre la margen derecha del río a 120 m desde la captación.

El cierre móvil planteado favorece el tránsito de los caudales líquidos y sólidos esperados durante el tránsito de los eventos extraordinarios, reduciendo el efecto de obstrucción que la obra de derivación ocasiona en el tramo de río Pilatón. Al abrir las compuertas radiales se recupera en gran medida el área hidráulica disponible para el flujo de crecida. El caudal centenario definido para el diseño de toma corresponde a 245,8 m³/s. (CONELEC, 2013)

La captación Santa Ana.- considerando el caudal disponible así como las características morfológicas del río Santa Ana en el tramo de captación, caracterizado por una pendiente longitudinal representativa del 3%, taludes laterales estables y la mayor cantidad de material grueso en el lecho del río, como se observa en la fotografía, se plantea como obra de toma a la captación con rejilla o caucasiana (CONELEC, 2013).

Figura 15. Río Santa Ana



Fuente: (CONELEC, 2013)

La obra de toma con rejilla de fondo cierra la sección transversal del río con un ancho total de 10 m, medidos desde la margen izquierda hasta su salida en la margen derecha.

A 1.0 m sobre el fondo natural del río, se ha dispuesto una rejilla que cubre 8 m en el cierre. La separación de barrotes en esta rejilla de toma es de 5 cm. Los barrotes estarán conformados por perfiles estructurales de 3 x 2.2 mm dispuestos con una pendiente del

22% en el sentido de flujo. Esta rejilla permitirá el ingreso del agua hacia la galería de recolección, que se conecta con el canal de salida de la toma y que conduce el flujo hacia el desarenador dispuesto sobre la margen derecha del río. El ancho de la galería (dimensión en el sentido de flujo) es de 2.30 m.

Sobre el azud de cierre circularán los caudales de crecida centenaria correspondiente a $96.90 \text{ m}^3/\text{s}$, con una carga de 2.70 m.

Aguas abajo del azud se ha dispuesto el cuenco de disipación de energía que confinará el resalto hidráulico con un profundizamiento de 1.0 m y una de 12 m. a continuación del cuenco se ha dispuesto un enrocado de protección en una longitud de 10 m (CONELEC, 2013).

La captación Chitoa.- considerando el caudal disponible así como las características morfológicas del río Chitoa en el tramo de derivación caracterizado por una pendiente longitudinal representativa del 5%, con taludes laterales bien definidas.

El caudal disponible para el aprovechamiento en este río es de $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que se plantea la opción de una rejilla de fondo, apropiada para cauces con pendientes relativamente fuertes, que arrastran gran cantidad de material grueso.

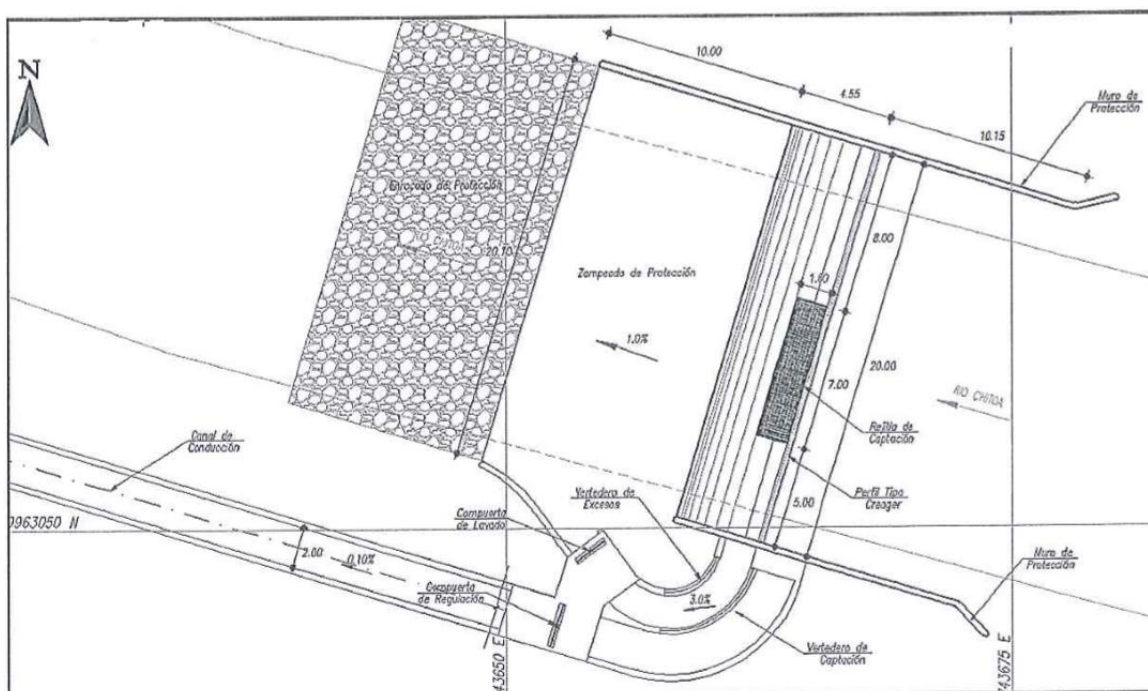
El azud cierra el cauce con un ancho de 20 m la rejilla de fondo se ha dispuesto en el tercio medio del río, a una altura desde el fondo de 1.0 m el ancho de la rejilla es igual a 7 m. y su longitud en el sentido de flujo es de 1.6 m con una inclinación en el sentido del flujo del 22%.

La rejilla está conformada por perfiles estructurales de $3 \times 2.2 \text{ mm.}$, con separación entre barrotes de 5 cm. El caudal captado en la galería sale por el margen izquierdo y es conducido por un canal abierto hasta el Desarenador, que se encuentra ubicado a 50 m aguas abajo.

El caudal de crecida centenaria corresponde a $45.60 \text{ m}^3/\text{s}$, el mismo que pasa sobre el azud de cierre con una carga de 1.31 m.

Aguas abajo del azud se ha dispuesto un zampeado de protección con un profundizamiento de 1 m. y una longitud de 10 m. Finalmente, para proteger el cauce en el tramo de aguas abajo del cuenco de disipación de energía se ha dispuesto un enrocado de protección cuya longitud es de 10 m. (CONELEC, 2013).

Figura 16. Implantación de la captación Chittoa



Fuente: (CONELEC, 2013)

Tabla 5. Características de las captaciones.

Captación	Tipo de Captación	Caudal de Diseño	Caudal Crecida $T_R=100$ años	Cota Derivación	Ancho de la Galería	Ancho de Azud	Longitud del Cuenco Disipación
Río		m ³ /s	m ³ /s	msnm	m	m	M
Pilatón	Rejilla Lateral	17.20	245.80	1407.7	-	25.00	23.00
Santa Ana	Rejilla de fondo	8.00	96.90	1403.3	2.25	12.30	12.00
Chittoa	Rejilla de fondo	3.80	45.60	1406.5	1.60	20.00	10.00

Fuente: (CONELEC, 2013)

3.3.1.1. Desarenadores

El proyecto hidroeléctrico Pilatón Santa Ana dispone de tres desarenadores, uno por cada captación. El diseño garantiza la retención de partículas sólidas con tamaño mayores o iguales a 0.2 mm, con velocidades horizontales de la partícula de 0,25 m/s.

El desarenador de la captación Pilatón, recibirá un caudal de 17,2 m³/s; es de cuatro cámaras idénticas. Para uniformizar y distribuir uniformemente el flujo que llega por la conducción desde la captación se ha dispuesto una transición de 40,9 m de longitud. Al inicio de cada una de las cámaras se ha ubicado una compuerta que permitirá suspender el flujo en caso de mantenimiento. Cada cámara del desarenador tiene una longitud de 55,0 m y ancho de 5,1 m.

La profundidad útil de la misma es de 4,5m. Incluyendo la transición aguas abajo del vertedero de salida de 4 cámaras, se tiene una longitud total de 95,9 m y un ancho total de 21,6 m, considerando que las paredes intermedias de las cámaras requieren de un espesor de 0,4m. Cada una de las cámaras dispone de tolvas de depósito de material sólido cuya altura es variable. Para la limpieza de cada tolva se ha previsto un canal de lavado, que descargará hacia el cauce del río con pendiente suficiente para garantizar el arrastre del material sólido. Al inicio de la conducción, aguas debajo de la transición de salida del desarenador se ha dispuesto una compuerta plana.

El desarenador de la captación Santa Ana está diseñado para el caudal de 8.0 m³/s ha sido diseñado como el lavado continuo con dos cámaras idénticas. La transición de entrada desde la conducción al desarenador tiene una longitud de 18.8 m permitiendo que el flujo se distribuya uniformemente. Se han dispuesto compuertas planas en el ingreso de cada cámara para suspender el flujo a cada cámara durante las operaciones de mantenimiento de esta obra.

Cada una de las cámaras del desarenador tiene una longitud de 61.00 m, un ancho de 5.70m y una profundidad útil de 4.95 m. Para el desarrollo de los vertederos de salida del desarenador y la transición de entrega se requiere de una longitud total de 79.80 m y un ancho total de 11,80 m, considerando que las paredes intermedias tienen un ancho de 0.40 m.

Cada cámara dispone de una tolva de retención de material sólido, que descarga hacia el canal de limpieza, el mismo que permite la evacuación del material sólido, que descarga hacia el canal de limpieza, el mismo que permite la evacuación del material retenido sólido retenido en el desarenador hacia el río.

En el siguiente cuadro se puede observar las principales características de los desarenadores requeridos en el sistema del aprovechamiento hidroeléctrico Pilatón –Santa Ana (CONELEC, 2013).

Tabla 6. Características de los desarenadores

Nombre	Caudal de Diseño	Numero de Cámaras	Longitud Útil	Ancho Útil	Altura Útil
	m ³ /s		m	m	m
Pilatón	17.20	4	95.90	21.60	4.50
Santa Ana	8.00	2	79.80	11.80	4.95
Chitóa	3.20	2	56.50	8.20	3.45

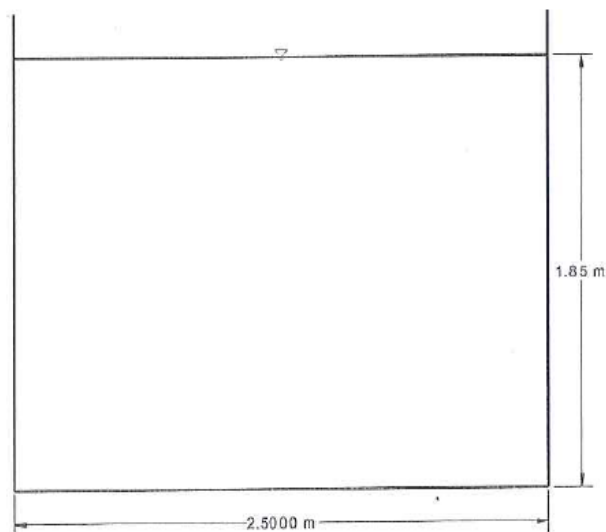
Fuente: (CONELEC, 2013)

3.3.1.2. Conducciones

El caudal captado por el río Pilatón es conducido a gravedad por un canal rectangular abierto. La sección transversal tiene una altura de 2,85 m y un ancho de 3.50 m. La pendiente longitudinal en este tramo es igual al 1 por mil para garantizar velocidades de autolimpieza y reducir al mínimo la pérdida de carga.

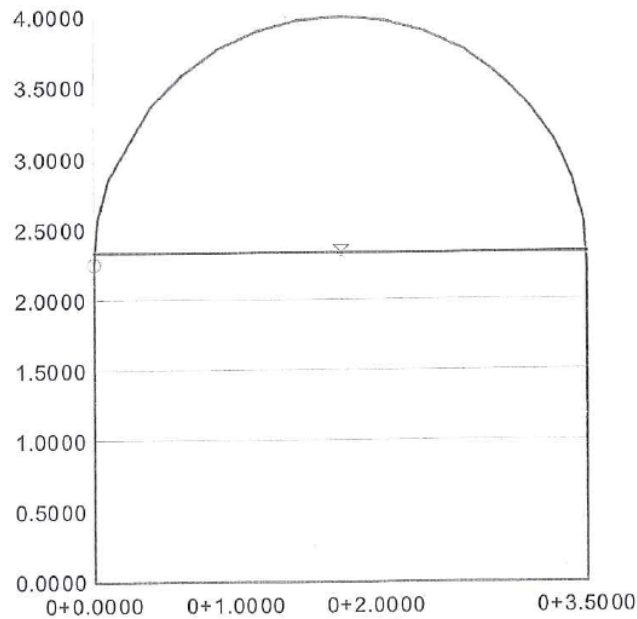
Aguas abajo del desarenador, el tramo de conducción mantiene las mismas características hidráulicas y geométricas durante el tramo de 2820 m, desde donde se continúa con un túnel con flujo a gravedad de 3.50 m de ancho y 4.00 m de altura e igual pendiente con una longitud de 2256 m hasta el punto donde se une con el túnel de conducción en donde se juntan los caudales derivados desde los ríos Pilatón y Santa Ana. En las figuras (CONELEC, 2013).

Figura 17. Sección de conducción en el canal rectangular



Fuente: (CONELEC, 2013)

Figura 18. Sección transversal – conducción en túnel – Pilatón



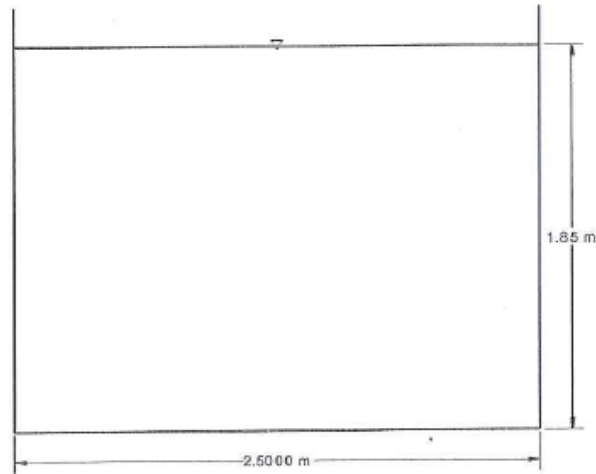
Fuente: (CONELEC, 2013)

3.3.1.3. Conducción Santa Ana

El caudal que se capta del río Santa Ana es conducido por un canal de flujo a gravedad de forma rectangular, con una altura de 2.35 m y con un ancho de 2.50 m y una pendiente del 1 por mil hasta el desarenador. Aguas abajo continúa con un canal de las mismas características geométricas hasta llegar al túnel que conduce el caudal de $25.20 \text{ m}^3/\text{s}$, hasta el tanque de carga.

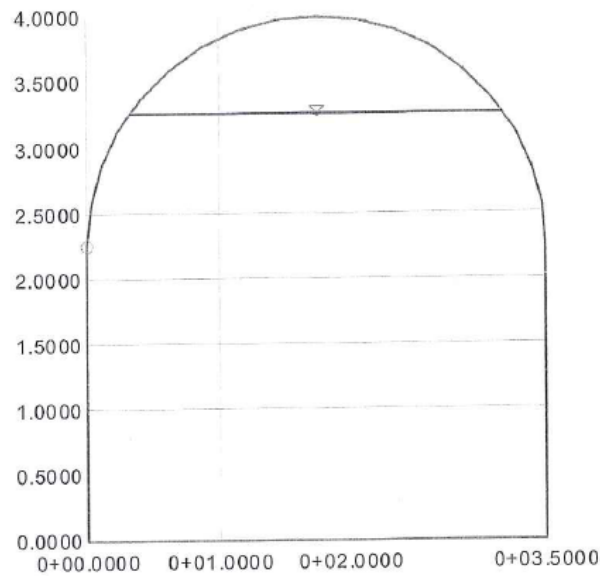
En las siguientes figuras se presentan las principales características geométricas e hidráulicas de la sección transversal de la conducción antes descrita.

Figura 19. Sección de conducción en canal rectangular desde la captación Santa Ana hacia el desarenador



Fuente: (CONELEC, 2013)

Figura 20. Sección transversal túnel Santa Ana – Tanque de carga



Fuente: (CONELEC, 2013)

3.3.1.4. Conducción Chitóa

Por medio de un canal rectangular abierto, con flujo a gravedad de 1.80 m de altura y de 2.00 m de ancho es captado el caudal del río Chitóa. La pendiente longitudinal es 1 por mil.

Se plantea el diseño de dos sifones con sus respectivos tanques de carga y de salida ya que en el trazado existente se debe cruzar dos quebradas importantes. El sifón No. 1, que

atraviesa la quebrada No. 1 está diseñado para 15 m de carga y requiere un desarrollo de 120 m, con un diámetro de 1600 mm, en este sifón la pérdida de carga es de 2 m.

El sifón No. 2 está diseñado para 39 m de carga, y tiene una longitud de 168 m y un diámetro de 1600 mm, con una longitud de 168 m, se estima que la pérdida de carga en este cruce llegue hasta los 2 m.

En el siguiente cuadro se muestra las principales características hidráulicas y geométricas de las conducciones desde las captaciones hasta el tanque de carga del proyecto Pilatón – Santa Ana.

Tabla 7. Características de las conducciones

Conducción	Rectangular			Caudal m ³ /s	Longitud m
	base	altura	pendiente		
Canal conducción Pilatón	3.50	2.85	0.01	17.20	2820
Túnel conducción Pilatón	3.50	4.00	0.01	17.20	2256
Canal conducción Santa Ana	2.50	2.35	0.01	8.00	360.00
Túnel conducción Santa Ana	3.50	4.00	0.01	25.20	3942.00
Canal conducción Chittoa	2.00	1.60	0.01	3.80	4425.00
Sifón 1	1600 mm			3.80	120.00
Sifón 2	1600 mm			3.80	168.00

Fuente: (CONELEC, 2013)

3.3.1.5. Tanque de presión

A la salida del túnel de captación de la conducción Santa Ana se ubica el tanque de presión, que transporta el caudal derivado en los ríos Pilatón y Santa Ana que es de 25,20 m³/s, a este tanque también llega el canal de conducción de la captación del río Chittoa con 3.8 m³/s.

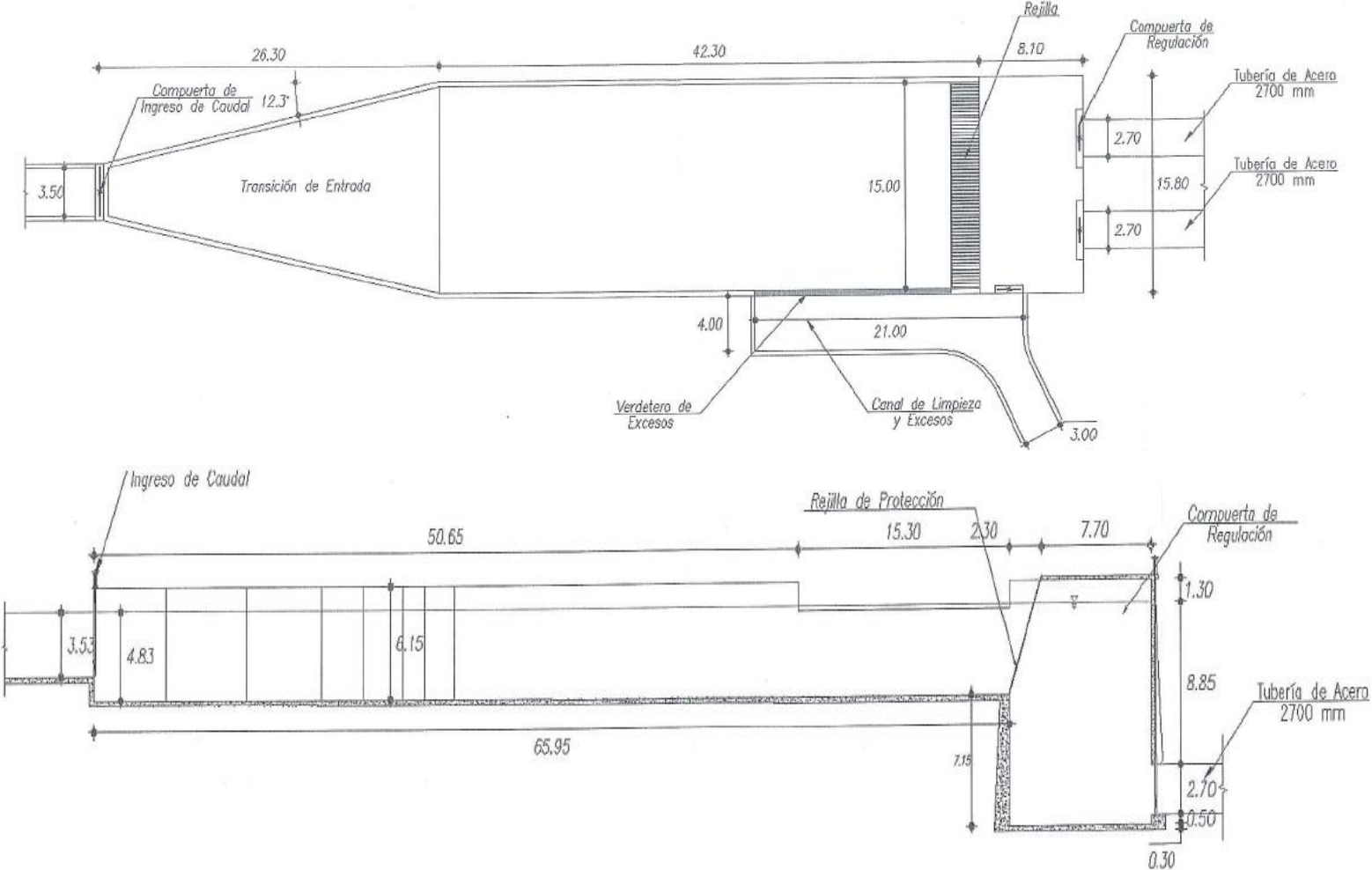
Las dimensiones del tanque de carga garantizan un volumen de reserva de 165 segundos, que se requiere para el funcionamiento del equipo electromecánico. Por medio de compuertas deslizantes ubicadas en su sección transversal inicial se puede suspender el ingreso del flujo al tanque. Su ancho es de 15.00 m y la longitud definida es de 75.95 m la profundidad de 13.35 m garantiza que el flujo ingrese sin aire y su presurización (CONELEC, 2013).

Se ha previsto la instalación de una rejilla fina con una inclinación de 70° a una distancia de 10.00 m aguas arriba del inicio de la tubería de presión.

Para realizar las operaciones de lavado del tanque de carga y evacuar los caudales de exceso se ha previsto una rápida con cubetas que permite la disipación gradual de energía hasta su entrega al cauce del río Pilatón.

En las siguientes figuras se presenta el diseño preliminar del tanque de presión.

Figura 21. Implantación de tanque de carga Corte longitudinal de tanque de carga



Fuente: (CONELEC, 2013)

3.3.1.6. Tubería de presión

A través de dos tuberías de las mismas características se realizara la conducción del flujo en el tramo de alta presión, con una longitud de 813.40 m y un diámetro interno constante de 2650 mm.

En el siguiente cuadro se detalla los parámetros utilizados para el dimensionamiento de casa una de las tuberías de presión.

Tabla 8. Parámetros de diseño tuberías de presión

PARÁMETROS	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR
Caudal de diseño	Q	m ³ /s	14,50
Caída bruta	H	m	239,20
Longitud de tubería	L	m	813,40
Eficiencia	E	%	80
Sobrepresión (golpe de ariete)	Sp	%	1,2
Viscosidad cinemática t=15°	μ	m ² /s	1.20E-06
Valor de rugosidad	€	mm	3.00E-01
Años para cancelar el préstamo	n	años	10
Tasa de interés	r	%	8

Fuente: (CONELEC, 2013)

Tabla 9. Especificaciones de acero en tuberías

SIMBOLO	UNIDAD	VALOR
T _{op. Planta}	h/año	8760
Fac. de planta		0.67
C. de energía	\$/Kw/h	0.0719
Esfuerzo de trabajo del acero S	Kg/cm ²	4215
W _{agua}	Ton/m ³	1
e ₁ esp mín por corrosión	M	0.002
e ₂ ES _P mín para manipuleo	M	0.002
e ₀ =(e ₁ +e ₂) Esp adicional mín	M	0.002
P Peso del acero	t/m ³	7.85
Costo	\$/t	4750.00

Fuente: (CONELEC, 2013)

3.3.1.7. Casa de máquinas

En la zona más cercana a la confluencia de los ríos Chitoa y Pilatón se ubicará la casa de máquinas, la cota de implantación de la casa de máquinas corresponde a una altura mínima de 10 m sobre el fondo del río, con lo que se garantiza la estabilidad de la casa de máquinas y del canal de restitución en caso de que exista tránsito de caudales extraordinarios que puedan afectar a las estructuras.

3.3.1.8. Equipamiento mecánico

Tabla 10. Datos Fundamentales para el Proyecto Hidroeléctrico PILATÓN – SANTA ANA

DATOS FUNDAMENTALES					
PROYECTO	CAUDALES	CAUDAL DE DISEÑO	ALTURA BRUTA	ALTURA NETA	DIÁMETRO
	CAPTACIÓN	m ³ /s	M	m	mm
PILATÓN SANTA ANA	Pilatón	29,00	239,2	237,8	2 x 2700
	Santa Ana				
	Chitoa				

Fuente: (CONELEC, 2013)

Tabla 11. Parámetros fundamentales de diseño del Proyecto Hidroeléctrico PILATÓN – SANTA ANA

PARÁMETRO TÉCNICO	ECUACIÓN	UNIDADES	VALOR
Altura Neta	H	m	237,8
Caudal de Diseño	Q	m ³ /s	29
Potencia Hidráulica	P _{oth} =9,81*H*Q	Kwatt	67652

Fuente: (CONELEC, 2013)

3.3.1.9. Potencia y eficiencia de la turbina

Para el cálculo de la Potencia (Pot) vamos a utilizar la ecuación:

$$Pot = \frac{Q*H*\eta}{0.102}$$

Ecuación 8

Donde:

Pot: Potencia en Kw.

Q: Caudal efectivo en m³/seg.

H: Altura en metros.

η : Eficiencia.

Tabla 12. Eficiencia de las turbinas hidráulicas para su caudal nominal.

TIPO DE TURBINA	EFICIENCIAS (%)	η [%] (Diseño)
PELTON	80 - 95	90%
MICHELL	70 - 85	85%
FRANCIS	80 - 97	93%
KAPLAN	80 - 97	90%

Fuente: Manual de GILKES HYDROPOWER, (GILKES Hydropower systems, 2010)

En el MANUAL DE LOS FABRICANTES DE TURBINAS GILKES HYDROPOWER, se define como eficiencia nominal, el valor referencial del 90%, con el que se trabajará en los cálculos a nivel de inventario. En los siguientes cuadros se presentan la variación para diferentes caudales de operación y los valores de las eficiencias de las turbinas hidráulicas.

Tabla 13. Potencias y eficiencias de los grupos de generación.

PARÁMETRO TÉCNICO	ECUACIÓN	UNIDADES	VALOR
Altura Neta	H	m	237,8
Caudal de Diseño	Q	m ³ /s	29
Potencia Hidráulica	$P_{oth}=9,81 \cdot H \cdot Q$	Kwatt	67652
Número de Turbinas			4
Caudal por Turbina	Q_t	m ³ /s	7,25
Potencia hidráulica por turbina	$P_{otht}= P_{oth}/2$	Kwatt	16913
Potencia hidráulica por turbina CV		CV	22995
Velocidad de rotación de Turbina	N	RPM	450
Velocidad Sincrónica del Generador		RPM	450
Eficiencia de la Turbina	η_t	%	90%
Eficiencia del Generador	η_g	%	96%
Potencia generada por unidad	Pot	Kwatt	14613
Potencia generada por unidad CV		CV	19868
Potencia total generada	P_{otg}	Kwatt	58451

Fuente: Manual de GILKES HYDROPOWER, (GILKES Hydropower systems, 2010)

Se utilizaran dos turbinas en paralelo, el caudal de cada turbina será de 14,5 m³/s.

3.3.1.10. Determinación del tipo de turbina

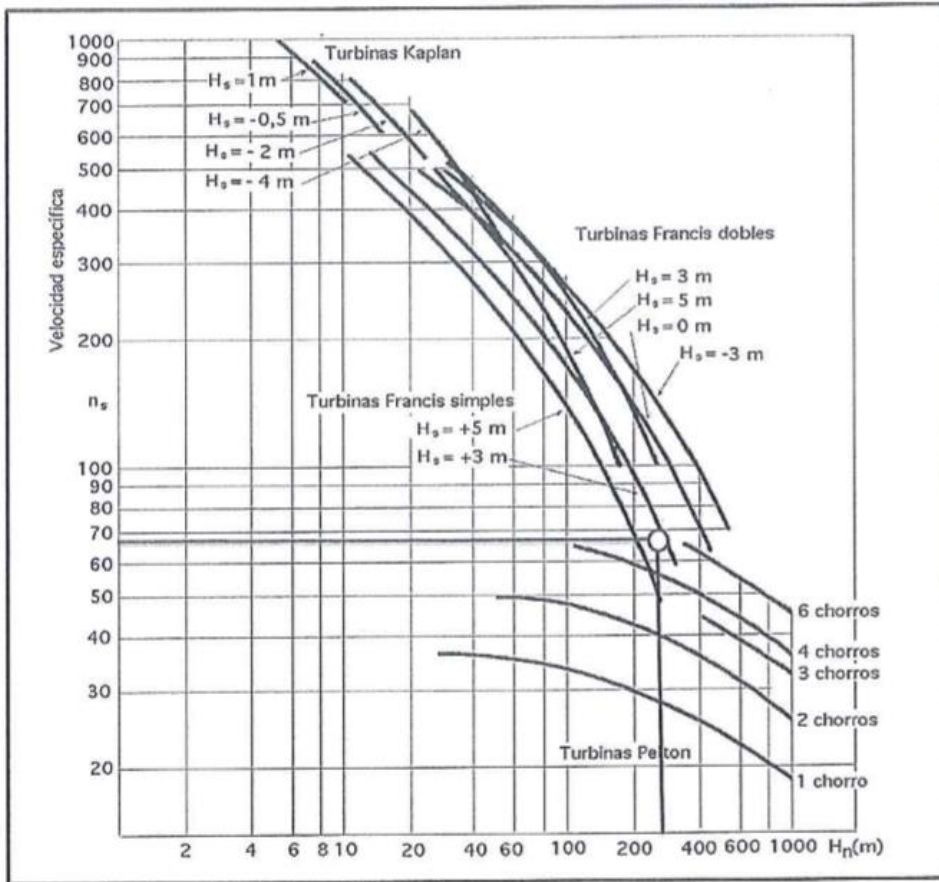
En el siguiente cuadro se presenta la selección del tipo más adecuado de la turbina para los valores calculados de velocidades específicas.

Tabla 14. Tipos de turbina recomendadas

ns		TIPO DE TURBINA RECOMENDADA	nq	
de:	hasta		de:	hasta:
5	30	PELTON UN SOLO INECTOR	1	9
14	42	PELTON DE DOS INYECTORES	4	13
17	73	PELTON DE TRES O MÁS INYECTORES	5	22
60	200	OSSBERG – MICHELL BANKI	18	60
69	125	FRANCIS LENTA	18	38
125	225	FRANCIS NORMAL	38	68
225	450	FRANCIS RÁPIDA	68	135
450	700	FRANCIS EXTRARÁPIDA	135	152
500	1200	KAPLAN	152	320
1000	1350	KAPLAN DOS ÁLABES	320	400

Fuente: (Sassen, 2009)

Figura 22. Determinación del número de inyectores de la turbina Pelton



Fuente: (Fernández Díez, 2002)

Se determinó que la Central Hidroeléctrica del Proyecto Hidroeléctrico PILATON SANTA-ANA dispondrá de Cuatro Unidades de Generación Tipo Turbina Pelton de ejes Vertical con seis inyectores cada una.

Tabla 15. Características de la turbina tipo PELTON

PARÁMETRO TÉCNICO	ECUACIÓN	UNIDADES	VALOR
Altura neta	H	m	237,8
Caudal de diseño	Q	m ³ /s	29
Potencia hidráulica	Poht=poth/2	Kwatt	67652
Número de turbinas			4
Caudal por turbina	Qt	m ³ /seg	7,25
Potencia hidráulica por turbina	Poht=poth/2	Kwatt	16913
Potencia hidráulica por turbina CV		CV	22995
Velocidad de rotación de turbina	N	RPM	450
Velocidad sincrónica del generador		RPM	450
Eficiencia de la turbina	η_t	%	90%
Eficiencia del generador	η_g	%	96%
Potencia generada por unidad	Pot	Kwatt	14613
Potencia generada por unidad CV		CV	19868
Potencia total generada	Pot	Kwatt	58451
Velocidad específica (Sistema Europeo)	$ns=(N*Pot^{(1/2)})/^{(5/4)}$	N=RPM;Pot=CV; H=m	68
Velocidad Específica (Sistema Americano)	$nq=(N*Qt^{(1/2)})/^{(3/4)}$	N=RPM;Qt= m ³ /seg;H=m	20
Tipo de Turbina	CUATRO TURBINAS PELTON DE SEIS INYECTORES DE EJE VERTICAL		

Fuente: (Fernández Diez, 2002)

Por su diseño y características técnicas cabe recalcar que las turbinas PELTON pueden soportar variaciones de grandes caudales sin una gran disminución de su rendimiento. Esta característica es muy importante cuando se va a seleccionar aquellas unidades que pueden operar con bajos valores de caudal sin que represente una disminución significativa de la eficiencia o el rendimiento.

En el Manual de Pequeños Aprovechamientos Hidráulicos de la ESHA (European Small Hydropower Association) de la Dirección General de Energía de la comunidad Europea, editado en el año 1998, por el Ing. Celso Penche de la Universidad Politécnica de Madrid España, se indica que la variación del rendimiento de la turbina Pelton en su eficiencia nominal; con la variación del caudal respecto de su nominal, actualmente con el desarrollo tecnológico, la precisión y la tolerancias muy finas en fabricación, los fabricantes de

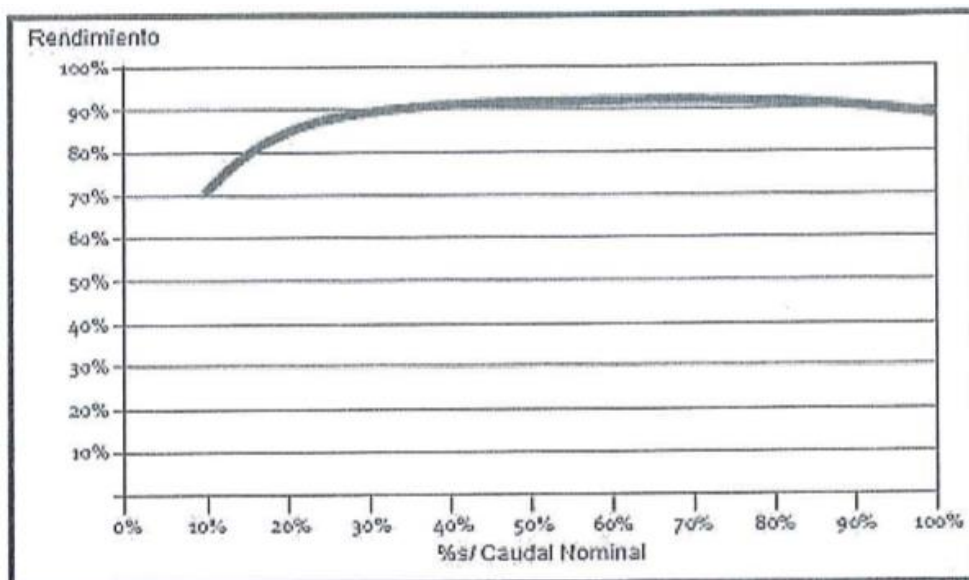
turbinas Pelton aseguran la operación de estas unidades con caudales entre el 50 y 100% de su caudal nominal sin que esto afecte significativamente su rendimiento, como se muestra en la siguiente figura.

En este caso cada turbina trabajará con caudales entre 3.5 a 7.25 m³/s sin variación significativa de su eficiencia.

Otros autores como A. Castro "Minicentrales Hidroeléctricas", Madrid 2006, coinciden en que la turbina Pelton, permite una gran flexibilidad de funcionamiento, al poder turbinar desde el 20% hasta el 105% del caudal nominal con rendimientos óptimos.

En este caso se tiene un alto rendimiento cercano al 90% en condiciones de diseño, permitiendo una variación de caudales en su funcionamiento.

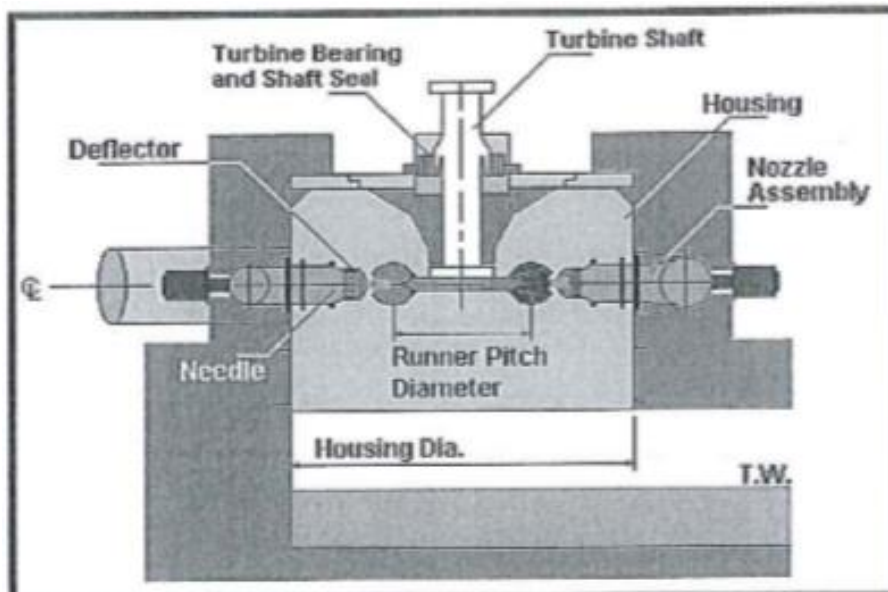
Figura 23. Variación de eficiencia con caudal en turbina Pelton



Fuente: (Castro, 2006)

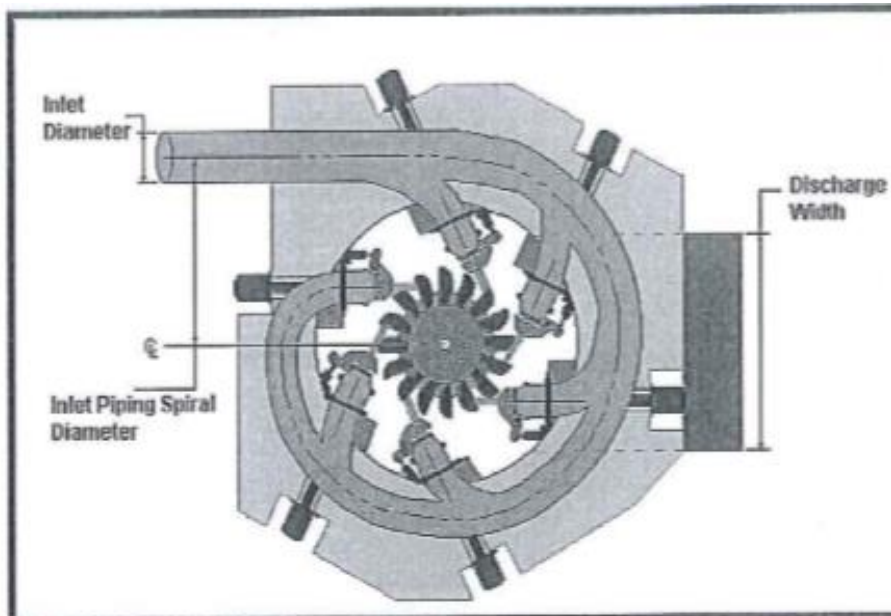
Imágenes referenciales de las turbina de seis inyectores y eje vertical

Figura 24. Vista lateral de una turbina Pelton de eje vertical



Fuente: (Sassen, 2009)

Figura 25. Vista en planta de una turbina Pelton de seis inyectores



Fuente: (Sassen, 2009)

3.4. Caracterización del Río Pilatón

Las cuencas hidrográficas de interés para el proyecto hidroeléctrico se ubican sobre los 1400 msnm, la zona se caracteriza por sus fuertes pendientes.

Tabla 16. Características físicas de las cuencas hidrográficas de interés

Cuenca	Á	L	P	Hmáx	Hmín	S	Sc	Hmedc	Dd
	Km ²	m	Km	msnm	msnm	%	%	msnm	Km/Km ²
Río Pilatón captación PSA(CSA1)	291.5	31.3	78.3	4360	1400	9.5	66.6	2780	3.7
Río Santa Ana captación PSA (CSA2)	114.0	24.2	49.3	3960	1400	10.6	71.8	2481	3.3
Río Chittoa captación PSA (CSA2)	54.1	14.4	32.6	3080	1400	11.7	59.1	2061	1.6

Fuente: (CONELEC, 2013)

En donde:

A: Área total de la cuenca (Km²)

L: Longitud del cauce principal hasta el sitio de interés (m)

p: Perímetro de la cuenca (Km)

Hmáx: Elevación máxima del cauce principal (msnm)

Hmín: Elevación mínima del cauce principal (msnm)

S: Pendiente media del cauce principal (%)

Sc: Pendiente media de la cuenca (%)

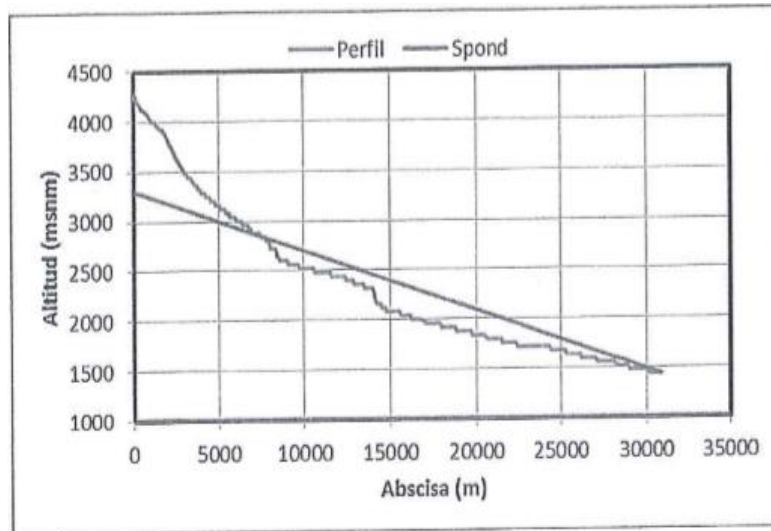
Hmedc: Altitud media de la cuenca (msnm)

Dd: Densidad de drenaje (Km/Km²)

Los ríos Pilatón, Santa Ana y Chittoa tienen características de ríos de montaña, la pendiente del cauce es fuerte, pendientes de las superficies de drenaje importantes, relieve determinado por procesos tectónicos, fluviales y fenómenos de remoción de masa.

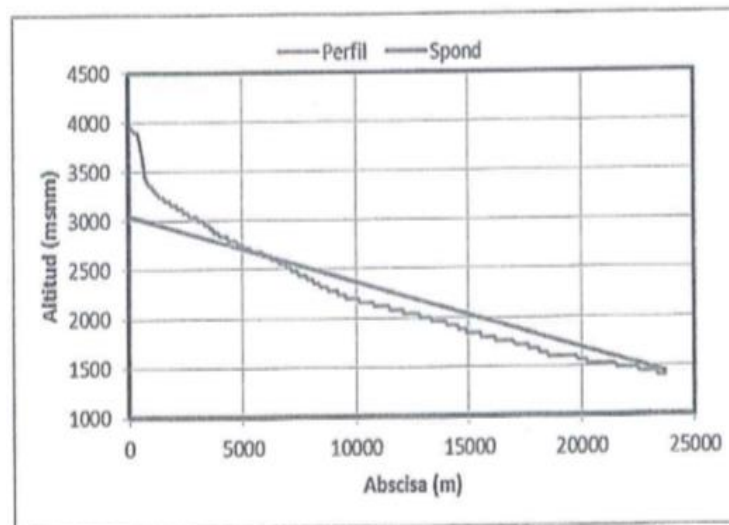
La pendiente ponderada del cauce del Río Pilatón hasta el sitio de captación tiene un valor de 6.0 %, la pendiente ponderada del río Santa Ana es del 6.8 % y la pendiente del cauce del río Chittoa es de 8.3%.

Figura 27. Perfil longitudinal y pendiente ponderada del cauce del río Pilatón



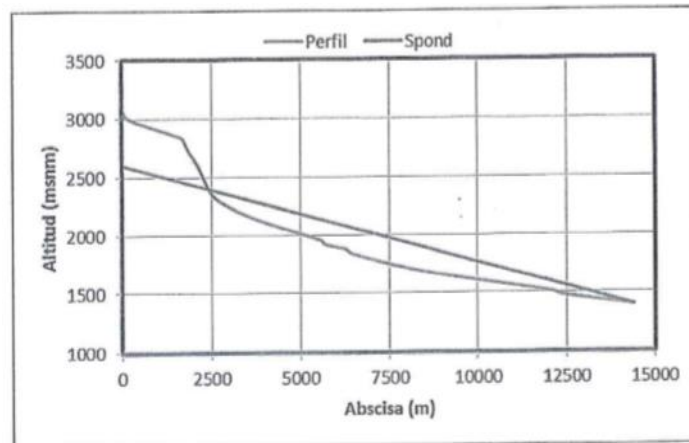
Fuente: (CONELEC, 2013)

Figura 28. Perfil longitudinal y pendiente ponderada del cauce del río Santa Ana



Fuente: (CONELEC, 2013)

Figura 29. Perfil longitudinal y pendiente ponderada del cauce del río Chittoa



Fuente: (CONELEC, 2013)

Los suelos de origen volcánico y la vegetación, permiten la retención de agua, que da como resultado una regulación natural de los caudales que se originan en cuencas con páramo, permitiendo el aporte de caudal base.

En las cuencas hidrográficas asociadas al proyecto hidroeléctrico Pilatón Santa Ana, de acuerdo con la clasificación Taxonómica del USDA, 1975 y al mapa de tipo de suelo 1: 250 000 del PRONAREG, se identifican los tipos de suelos D2 y D3; además de áreas donde existe afloramiento de roca. A saber:

Conjunto de suelos D: suelos derivados de cenizas volcánicas, alofánicos con baja densidad aparente, francos a arenosos, gran capacidad de retención de agua. Muy negros en áreas frías a muy frías, negros en clima templado y presencia de horizonte amarillento de gran espesor en clima cálido.

D2: Sierra volcánica alta, en altitudes > 2800 msnm, relieve moderado a fuertemente ondulado y estribaciones occidentales de la sierra de fuertes pendientes. Suelos negros o muy negros, francos, profundos, drenaje bueno, pH ácido, fertilidad baja, áreas húmedas, retención de humedad de 20 a 50 %.

D3: Sierra volcánica alta entre 3200 y 4000 msnm y estribaciones de la Cordillera, con relieve fuertemente ondulado, de áreas húmedas. Suelos negros o muy negros, franco a franco limoso, profundo, drenaje bueno, pH ácido (4.5-5.5), fertilidad mediana, retención de humedad del 50 al 100%.

Los suelos son principalmente franco y franco limosos, la textura de los suelos es moderadamente gruesa. De acuerdo con estas características del suelo, se tiene en el área bajo estudio un suelo que corresponde al grupo hidrológico B.

En el siguiente cuadro se muestra los tipos de suelo identificados en la cuenca del río Pilatón, del río Santa Ana y del río Chitóa.

Tabla 17. Tipo de suelo – taxonomía del área de estudio

Cuenca	Tipo	Área (km²)	Área %
Pilatón	Afloramiento rocoso	7.18	2.5
	D2	58.57	20.1
	D3	225.72	77.4
Total		291.5	100
Santa Ana	D2	26.11	22.7
	D3	88.76	77.3
Total		114.9	100
Chitóa	D2	32.1	59.3
	D3	22.0	40.7
Total		54.1	100

Fuente: (CONELEC, 2013)

Las principales unidades de cobertura vegetal de suelo identificadas en el área de drenaje se incluyen en la siguiente tabla, como se aprecia las áreas de bosque cubren más del 50 % de las cuencas.

Tabla 18. Características de la cobertura vegetal

Cuenca	Cobertura	Área (Km²)	Área (%)
Pilatón	Bosque intervenido	98.84	33.9
	Bosque natural	119.31	40.9
	Cultivos	0.78	0.3
	Páramo	24.3	8.3
	Pasto cultivado	47.23	16.2
	Zonas erosionadas	1.01	0.3
Total		291.5	100
Santa Ana	Bosque intervenido	13.361	11.6
	Bosque natural	97.92	85.2
	Paso cultivado	3.59	3.1
Total		114.9	100
Chitoa	Bosque intervenido	13.34	24.7
	Bosque natural	40.73	75.3
Total		54.1	100

Fuente: (CONELEC, 2013)

Las cuencas en estudio están ubicadas en parte de la reserva ecológica de los Ilinizas y dentro del área del bosque protector Toachi Pilatón.

La Reserva Ecológica Los Ilinizas tiene una superficie de 149.000 hectáreas y comprende las provincias de Pichincha y Cotopaxi, abarca los ríos Toachi y Angamarca, los páramos occidentales de los cerros Ilinizas, cerro Corazón, Quilotoa y estribaciones de la cordillera Occidental conocidas como Sarapullo, Cerro Azul, Jaligua Alto Tenefuerte.

3.5. Descripción y análisis de la estructura de captación.

La Central Hidroeléctrica PILATON SANTA-ANA corresponde a una central de pasada, que turbinas un caudal total de 29,6 m³/s, aprovechando una carga bruta de 239.2 m, para instalar una potencia de 60 MW.

El proyecto a nivel de inventario plantea una captación con rejilla lateral en el río Pilatón y captaciones con rejilla de fondo en los ríos Santa Ana y Chitoa. Estas obras permitirán la derivación de los caudales de aprovechamiento así como también el paso seguro de los caudales de crecida. Se incluye un desarenador ubicado cerca de cada una de las obras de toma.

La conducción desde los desarenadores se realiza mediante canales y túneles con flujo libre, hasta el tanque de carga donde se presuriza el flujo y desciende a través de la tubería de presión hasta la casa de máquinas ubicada aguas arriba de la confluencia del río Chitua con el Pilatón, al cual se restituyen los caudales turbinados.

3.5.1. Captaciones

La central hidroeléctrica PILATON SANTA-ANA es abastecida por tres captaciones antes mencionadas en este estudio, a las cuales se las conoce con el mismo nombre del río del cual derivan los caudales de aprovechamiento.

La captación Pilatón.- Teniendo en cuenta el caudal de aprovechamiento así como las características morfológicas del río Pilatón en el tramo de captación, se plantea una toma con rejilla lateral o toma convencional, apropiada para ríos con grandes caudales líquidos que arrastran de igual manera un volumen importante de material grueso. El tramo de captación presenta una alineación relativamente recta con taludes bien definidos y su pendiente longitudinal representativa es del orden del 3%.

La sección transversal del río en el sitio de derivación, se cierra totalmente con tres vanos de compuertas radiales, montadas entre pilas sobre un umbral de fondo cuya geometría facilita el tránsito del material sólido durante el tránsito de las crecidas y apertura de compuertas. El ancho total de cierre es de 25 m. Cada compuerta radial tiene un ancho de 8.2 m y una altura de 6m. El ancho de las pilas es de 2.5 m.

Aguas arriba del cierre móvil, se tiene muros laterales de aproximación. En el muro lateral derecho, se ha dispuesto el orificio de toma con una longitud total de 12.5 m, con dos pilas de 4 m de ancho. El extremo inferior del orificio lateral se ubica 4.0 m sobre el fondo del río para evitar su obstrucción.

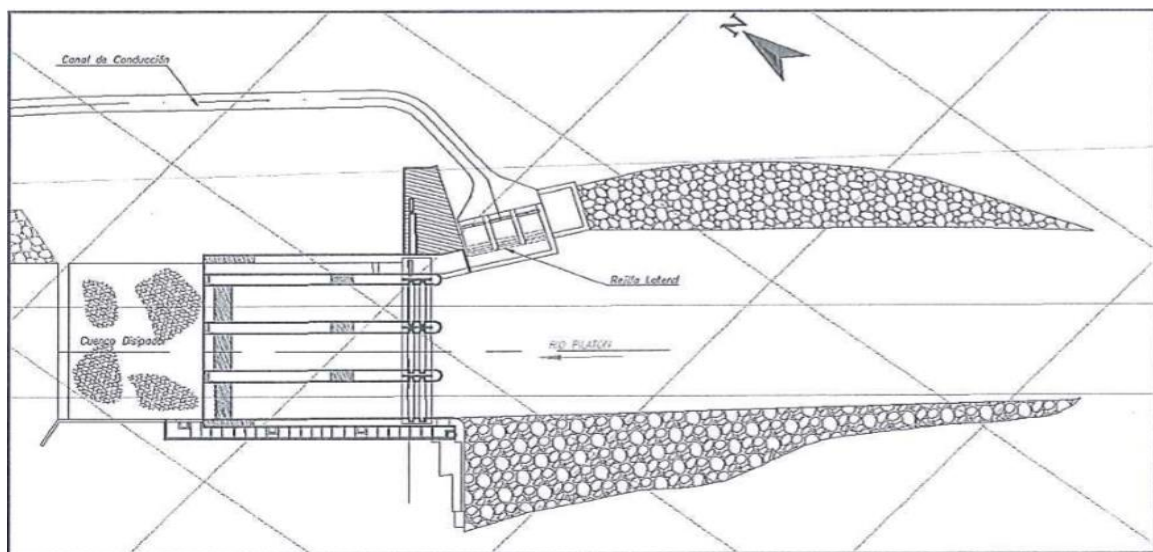
Para evitar el ingreso de material grueso y material flotante hacia la conducción se ha dispuesto delante del orificio lateral de toma, una rejilla con separación de 5 cm entre barrotes, conformada por platinas de 30 x 12 mm. Esta rejilla permitirá el ingreso del agua hacia una cámara desripadora, seguida por una transición que continua con el canal de conducción hacia el desarenador, dispuesto sobre la margen derecha del río a 120 m desde la captación (CONELEC, 2013).

El cierre móvil planteado favorece el tránsito de los caudales líquidos y sólidos esperados durante el tránsito de los eventos extraordinarios, reduciendo el efecto de obstrucción que

la obra de derivación ocasiona en el tramo del río Pilatón. Al abrir las compuertas radiales se recupera en gran medida el área hidráulica disponible para el flujo de crecida. El caudal centenario definido para el diseño de toma corresponde a $267.32 \text{ m}^3/\text{s}$ (CONELEC, 2013).

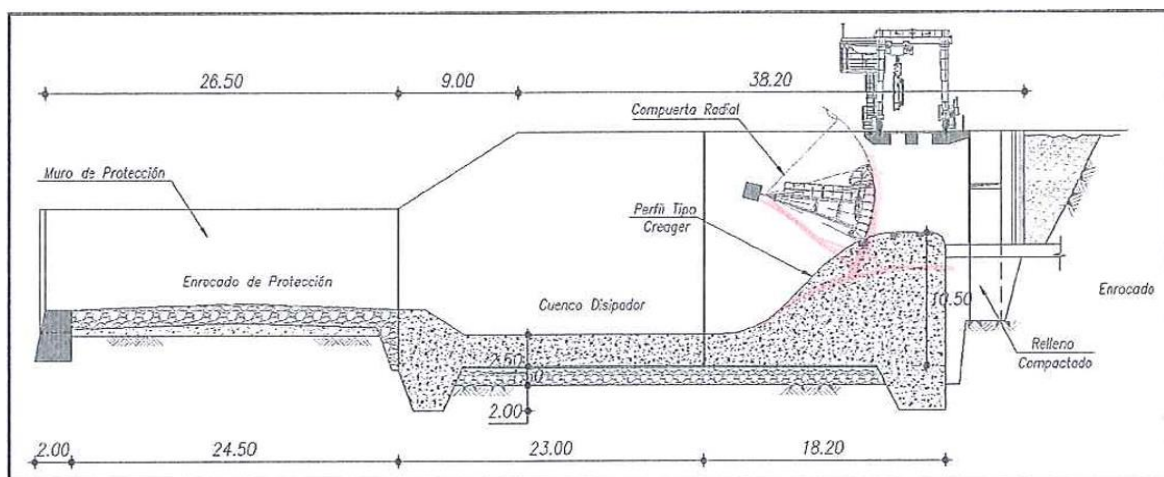
Aguas abajo del azud se ha dispuesto un cuenco de disipación de energía en el que se confinará el resalto hidráulico, para posteriormente pasar al enrocado de protección luego del cual el flujo es entregado al lecho natural del tramo inferior del río. La longitud del cuenco de disipación de energía es de 23 m y del enrocado de protección es de 24.5 m (CONELEC, 2013).

Figura 30. Implantación de la captación en el río Pilatón.



Fuente: (CONELEC, 2013)

Figura 31. Corte Longitudinal de la Captación Pilatón.



Fuente: (CONELEC, 2013)

La captación Santa Ana.- Teniendo en cuenta el caudal de aprovechamiento hidroeléctrico así como las características morfológicas del río Santa Ana en el tramo de captación, caracterizado por una pendiente longitudinal representativa del 3%, taludes laterales estables y la mayor cantidad de material grueso en el lecho del río, se plantea como obra de toma a la captación con rejilla de fondo o caucasiana.

La obra de toma con rejilla de fondo cierra la sección transversal del río con un ancho total de 10 m, medidos desde la margen izquierda hasta su salida en la margen derecha.

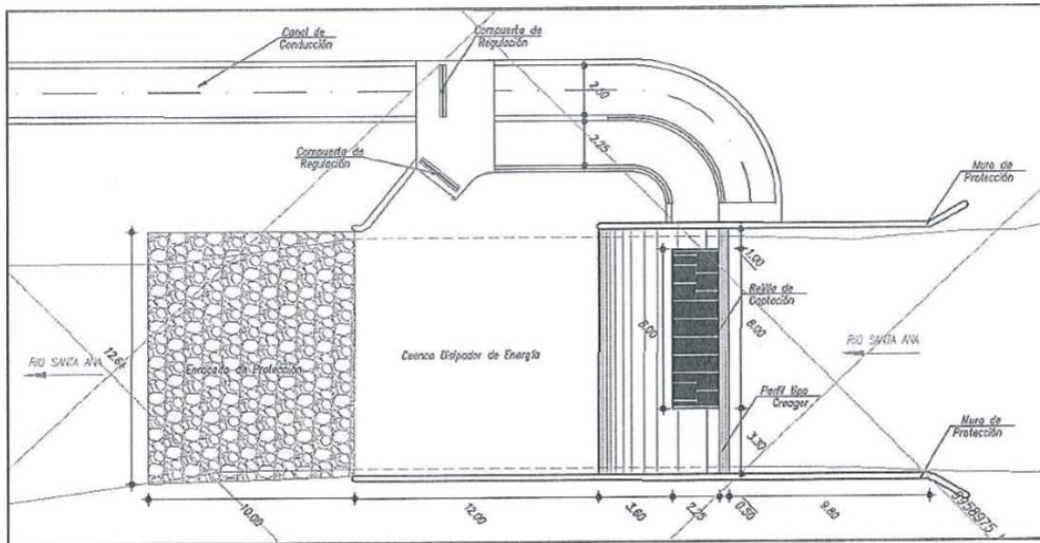
A 1.00 m sobre el fondo natural del río, se ha dispuesto una rejilla que cubre 8 m en el cierre. La separación de barrotes en esta rejilla de toma es de 5 cm. los barrotes estarán conformados por perfiles estructurales de 3x2.2 mm dispuestos con una pendiente del 22 % en el sentido del flujo.

Esta rejilla permitirá el ingreso del agua hacia la galería de recolección, que se conecta con el canal de salida de la toma y que conduce el flujo hacia el desarenador dispuesto sobre la margen derecha del río. El ancho de la galería (dimensión en el sentido de flujo) es de 2.30 m.

Sobre el azud de cierre circularán los caudales de crecida centenaria correspondiente a 96.90 m³/s con una carga de 2.70 m.

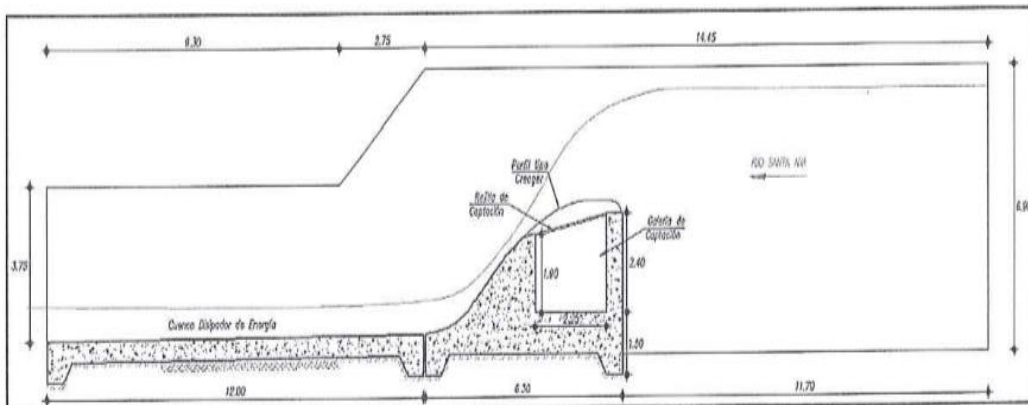
Aguas abajo del azud se ha dispuesto el cuenco de disipación de energía que confinará el resalto hidráulico con una profundidad de 1.0 m y una longitud de 12 m. A continuación del cuenco se ha dispuesto un enrocado de protección en una longitud de 10m (CONELEC, 2013).

Figura 32. Implantación de la Captación Santa Ana.



Fuente: (CONELEC, 2013)

Figura 33. Corte Longitudinal de la Captación Santa Ana



Fuente (CONELEC, 2013):

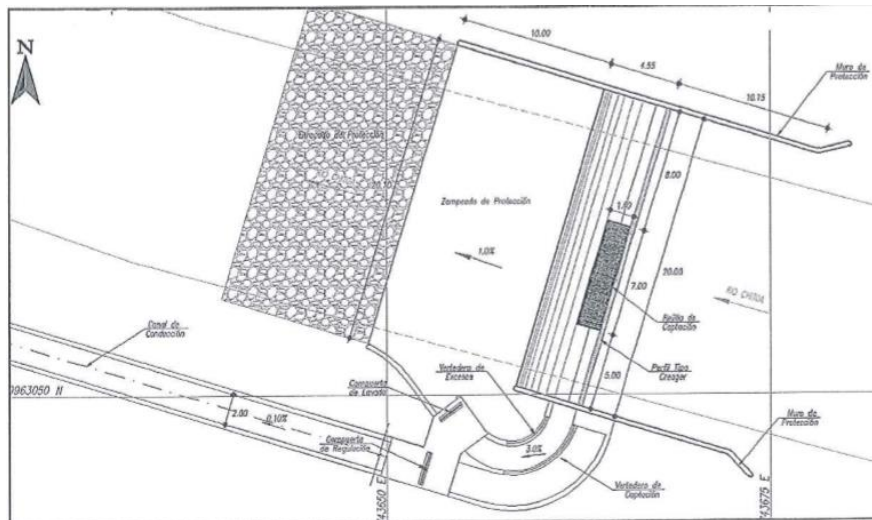
La captación Chitua.- La pendiente longitudinal representativa del tramo es del 3.8% con taludes laterales bien definidos. El caudal disponible para el aprovechamiento en este río es $3.38 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que se plantea una captación con rejilla de fondo, apropiada para cauces con pendientes relativamente fuertes, que arrastran gran cantidad de material grueso.

El azud cierra el cauce con un ancho de 20 m. La rejilla es igual a 7 m y su longitud en el sentido de flujo es de 1.6 m con una inclinación en el sentido del flujo del 22%. La rejilla está conformada por perfiles estructurales de $3 \times 2.2 \text{ mm}$, con separación entre barrotes de 5 cm. El caudal captado en la galería sale por la margen izquierda y es conducido por un canal abierto hasta el Desarenador, que se ubica a 50 m aguas debajo de la obra.

El caudal de crecida centenaria corresponde a 45.60 m³/s, el mismo que pasa sobre el azud de cierre con una carga de 1.31 m (CONELEC, 2013).

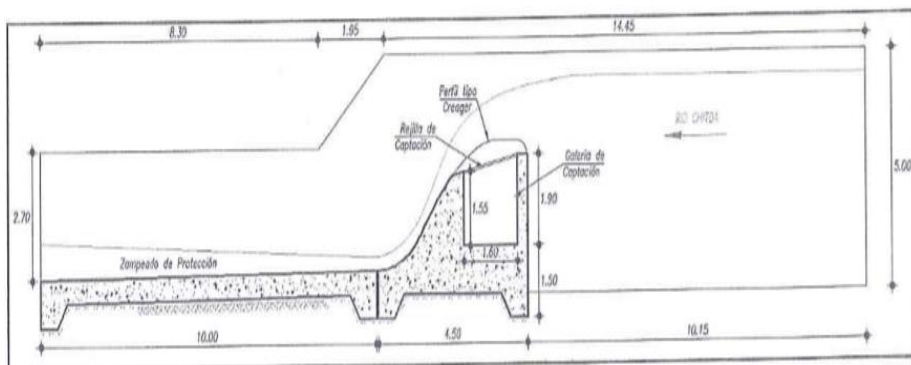
Aguas abajo del azud se ha dispuesto un zampeado de protección con una profundidad de 1 m y una longitud de 10 m. Finalmente para proteger el cauce en el tramo aguas abajo del cuenco de disipación de energía se ha dispuesto un enrocado de protección cuya longitud es de 10 m (CONELEC, 2013).

Figura 34. Implantación de la captación Chitota



Fuente: (CONELEC, 2013)

Figura 35. Corte longitudinal de la captación Chitota



Fuente: (CONELEC, 2013)

Tabla 19. Características de las captaciones

Captación.	Tipo de Captación	Caudal de diseño	Caudal Crecida $T_R=100$ años	Cota de Derivación.	Ancho de la Galería.	Ancho de Azud.	Longitud del Cuenco de Disipación
Río		m ³ /s	m ³ /s	msnm	m	m	m
Pilatón	Rejilla Lateral	17.20	245.80	1407.7	-	25.00	23.00
Santa Ana	Rejilla de fondo	8.00	96.90	1403.3	2.25	12.30	12.00
Chitóa	Rejilla de fondo	3.80	45.60	1406.5	1.60	20.00	10.00

Fuente: (CONELEC, 2013)

4. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO DEL VERTEDERO DE EXCESOS DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PILATÓN-SANTA ANA

4.1. Cálculo de caudales

Para la realización de este estudio se sustentó principalmente en la información del INAHMI.

La información climática de la zona es escasa. Existen principalmente estaciones pluviométricas. Para el análisis se ha considerado principalmente estaciones ubicadas en las cuencas próximas al área de estudio y cuyos registros cuenten con al menos 10 años de datos. Adicionalmente se toman en cuenta las estaciones cuya elevación sea superior a 800 msnm, para poder establecer la variación altitudinal.

Tabla 20. Estaciones y disponibilidad de información.

Estación	Código	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)	Periodo	Tipo	Institución
Izobamba	M003	772702	9959435	3058	1962-2009	AP	INAMHI
Chiriboga	M116	746875	9976709	1750	1962-2009	PV	INAMHI
Palo Quemado	M198	731869	9959045	1160	1974-1993	CP	INAMHI
Alluriquín Inecel	M209	723643	9964823	850	1976-1993	CO	INAMHI
Hda. La Granja Alóag	M350	761190	9947300	3100	1963-1994	PV	INAMHI
Pilatón AJ Toachi	M355	730107	9965744	920	1967-1985	PV	INAMHI
Chitoa Tandapi	M360	728746	9961904	1120	1964-1984	PV	INAMHI
Las Pampas	M362	726300	9950970	1640	1965-2009	CP	INAMHI

Nota: Coordenadas UTM WGS84 17S

Fuente: Elaboración propia

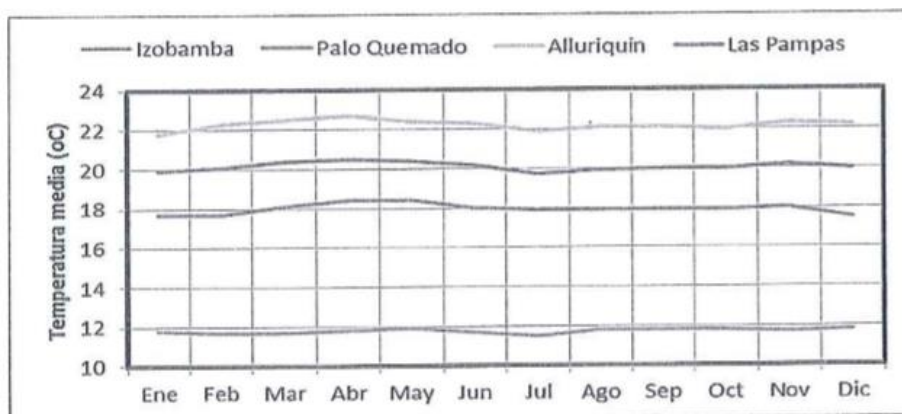
El tipo de estación se señala acuerdo a la clasificación del INAMHI:

AP Agrometereológica

CP Climatológica Principal

CO Climatológica Ordinaria

Figura 37. Variación estacional de la temperatura media (°C)



Fuente: (CONELEC, 2013)

En el siguiente cuadro se incluye las temperaturas extremas absolutas registradas en las estaciones consideradas.

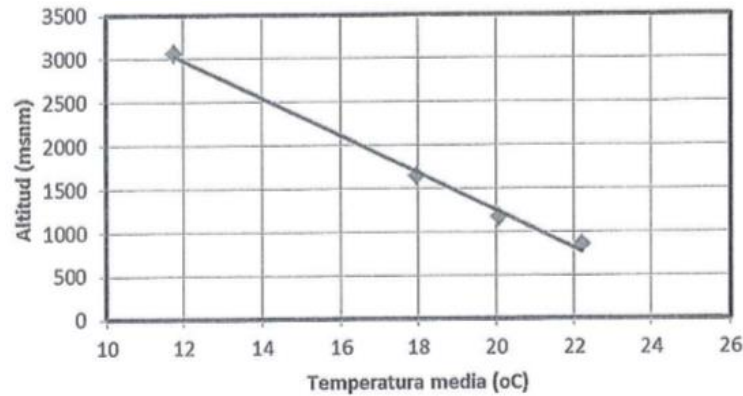
Tabla 22. Temperatura extremas absolutas (°C)

Estación	Temperatura máxima absoluta	Temperatura mínima absoluta
Izobamba	23.8	-4.3
Palo Quemado	29.2	10.0
Alluriquín	34.0	8.0
Las Pampas	29.7	10.0

Fuente: Elaboración propia

El siguiente cuadro se presenta la variación altitudinal de la temperatura en el área de análisis. Cuando esta relación, que toma en cuenta la altitud media, la temperatura media en las cuencas de los ríos Pilatón, Santa Ana y Chittoa, varía entre 12 y 16 °C.

Figura 38. Relación de la temperatura media con la altitud.



Fuente: (CONELEC, 2013)

La temperatura media aumenta con el decrecimiento de la altura a una razón de 0.5 °C cada 100m. La casa de máquinas se localizara en la cota 1162msnm, por lo que la temperatura media en este sitio será aproximadamente 20 °C.

4.1.2. Humedad relativa

Es la cantidad de vapor de agua, expresada en porcentaje, presente en los estratos bajos de la atmosfera. En las estaciones de control, regularmente se toman tres lecturas diarias: 07h00, 13h00 y 19h00.

El cuadro muestra la variación mensual de la humedad relativa para las estaciones.

Tabla 23. Humedad relativa en las estaciones (%)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Izobamba	81	82	83	82	82	77	73	71	75	80	81	81
Alluriquín	89	89	88	88	88	88	86	85	86	87	87	88
Las Pampas	95	96	95	94	93	92	91	91	92	92	91	94

Fuente: Elaboración propia

La humedad relativa media en el área de interés, de acuerdo con los registros es del orden del 80% en la parte alta; mientras en la parte baja es del orden del 87%.

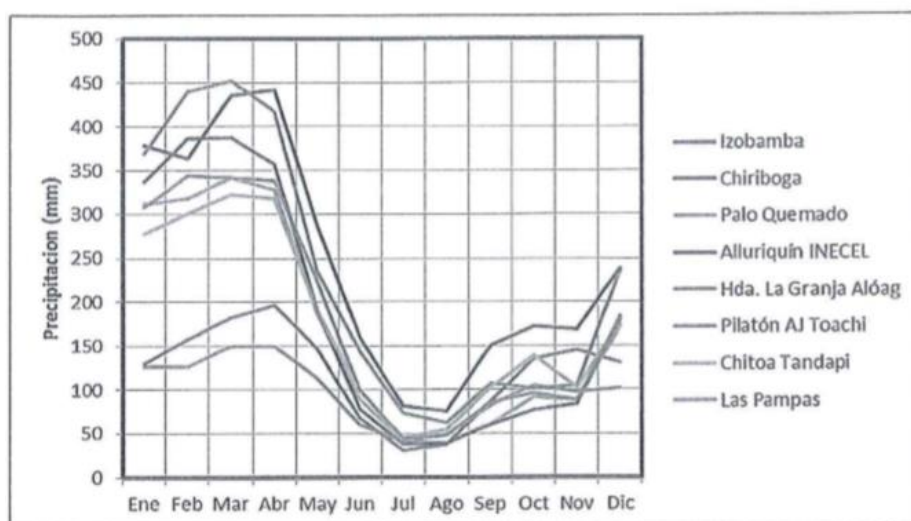
4.1.3. Precipitación

La precipitación es uno de los parámetros climatológicos determinantes del ciclo del agua en una región, así como también de la ecología, paisaje y uso del suelo.

La distribución anual de las precipitaciones observa un comportamiento unimodal, con un pico máximo en el mes de abril. El periodo de menor precipitación ocurre entre los meses de junio y septiembre como se puede observar en la figura.

La precipitación anual media de la zona se encuentra en el orden de 2000 mm.

Figura 39. Variación estacional de la precipitación



Fuente: (CONELEC, 2013)

Tabla 24. Variación estacional de la precipitación (mm)

Estación	Mes												Total anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Izobamba	129.3	156.9	181.9	196.4	147.7	68.4	31.1	38.2	86.8	135.0	144.9	130.2	1446.8
Chiriboga	378.6	363.6	434.9	442.2	288.2	159.8	81.9	76.1	151.2	171.6	168.8	238.2	2955.2
Palo Quemado	311.2	318.1	341.2	328.2	188.8	88.9	41.2	39.3	61.7	91.2	88.6	171.9	2070.4
Alluriquín INECEL	336.7	386.4	387.4	357.1	191.8	78.1	38.1	39.5	60.4	83.4	83.4	183.2	2218.5
Hda. La Granja Alóag	126.5	125.7	149.7	150.1	113.4	60.1	41.5	49.6	83.0	105.5	96.7	101.5	1203.2
Chittoa Tandapi	277.8	300.5	322.7	318.4	191.0	98.9	44.6	55.1	102.5	138.2	102.3	174.7	2126.8
Las Pampas	308.2	343.8	341.1	338.6	224.0	98.9	45.2	47.6	86.5	95.6	87.9	179.9	2197.4

Fuente: (CONELEC, 2013)

4.1.4. Analisis de Lluvias intensas

El estudio "Calculo de intensidades de Lluvia para el Diseño de Drenaje", del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), de 1999, cuya informacion es plenamente justificada para el objetivo del Estudio de Inventario de Centrales Hidroeléctricas, ha sido utilizado para la determinación del análisis de Lluvias intensas. El método constituye un estudio basado en conceptos de regionalización, en el cual se incluyen los eventos extraordinarios El Niño y determinan las relaciones intensidad – duración – período de retorno (frecuencia).

Según este estudio la zona de interes, aquella de las cuencas de los ríos Pilatón, Santa Ana y Chitóa, se encuentra ubicada en la zona 22 de la regionalización propuesta por el INAMHI.

Las ecuaciones de intensidad para esta zona son las siguientes:

$$\text{Si } 5 \text{ min} < t < 67 \text{ min: } I_{Tr} = 48.772 t^{-0.3533} I_{d, Tr}$$

$$\text{Si } 67 \text{ min} < t < 1440 \text{ min: } I_{Tr} = 266.64 t^{-0.7687} I_{d, Tr}$$

En donde:

I = Intensidad de precipitación, mm/h

t = duración de la lluvia, (min)

Tr = período de retorno, (años)

$I_{d, Tr}$ = intensidades de lluvia para 24 horas, con periodo de retorno asociado, que se determinan de las tablas incluidas en el mismo informe del INAMHI – 1999, (mm/h).

Para el presente análisis se consideraron los valores $I_{d, Tr}$ de intensidad máxima de 24h de la estación M360 Tandapi, como representativos del área de interes.

En el siguiente cuadro, se muestran las ecuaciones intensidad – duración – período de retorno de la zona de referencia.

Tabla 25. Ecuaciones de intensidades de lluvia Zona 22

Periodo de retorno	Ecuaciones		Intensidades 24 hr mm
	5 min < t < 67 min	67 min < t < 1440 min	
5	$I = 145.34 t^{-0.35}$	$I = 794.59 t^{-0.7687}$	2.98
10	$I = 161.92 t^{-0.35}$	$I = 885.24 t^{-0.7687}$	3.32
25	$I = 195.09 t^{-0.35}$	$I = 999.90 t^{-0.7687}$	3.75
50	$I = 209.72 t^{-0.35}$	$I = 1085.22 t^{-0.7687}$	4.07
100	$I = 234.11 t^{-0.35}$	$I = 1170.55 t^{-0.7687}$	4.39

Fuente: (CONELEC, 2013)

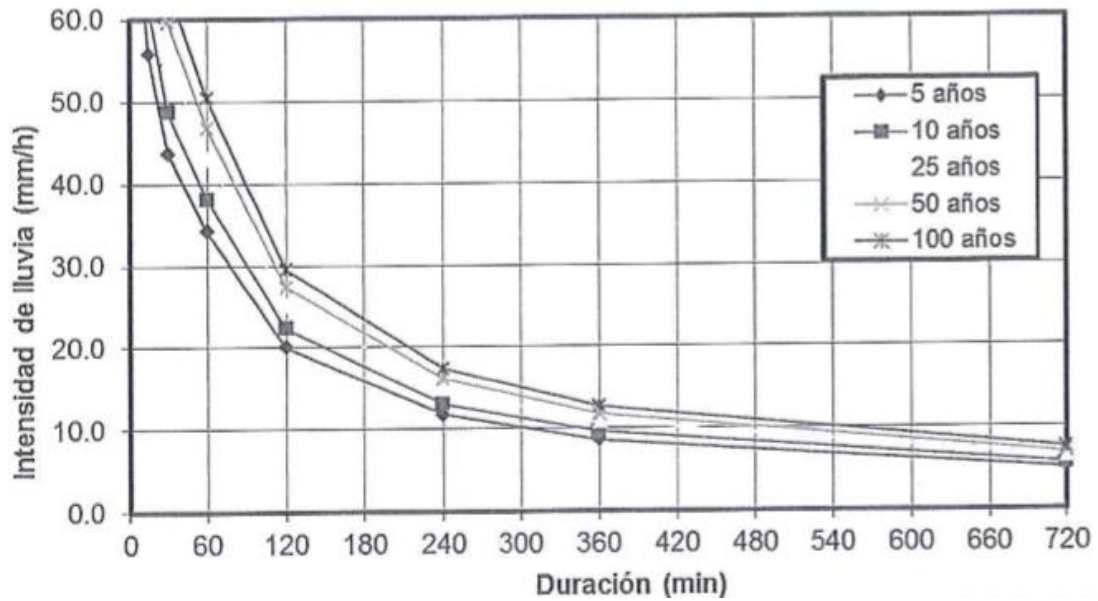
En el siguiente cuadro se muestra los valores de intensidades de precipitación determinados para el área de estudio.

Tabla 26. Tabla de Intensidades de Lluvia (mm/h)

Período de retorno (años)	Duración (min)									
	5	10	15	30	60	120	240	360	720	1440
5	82.3	64.4	55.8	43.7	34.2	20.0	11.8	8.6	5.1	3.0
10	91.7	71.8	62.2	48.7	38.1	22.3	13.1	9.6	5.6	3.3
25	103.6	81.1	70.3	55.0	43.1	25.2	14.8	10.8	6.4	3.7
50	112.4	88.0	76.3	59.7	46.7	27.4	16.1	11.8	6.9	4.1
100	121.3	94.9	82.2	64.4	50.4	29.5	17.3	12.7	7.4	4.4

Fuente: (CONELEC, 2013)

Figura 40. Curva intensidad – duración – periodo de retorno Zona 22



Fuente: (CONELEC, 2013)

4.1.5. Hidrología

4.1.5.1. Datos disponibles

Las estaciones hidrométricas consideradas en la evaluación del recurso hídrico del proyecto hidroeléctrico Pilatón Santa Ana constan en el siguiente cuadro que se considera datos a nivel mensual y anual.

Tabla 27. Información hidrométrica

Estación	Código	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)	Período	Área (km ²)
Pilatón DJ Sacalón	H155	740920	9960479	1130	1974 – 1984	470
Pilatón DJ Chitua	H188	739932	9961713	1110	2000 – 2010	508
Sarapullo AJ Toachi	H156	730211	9965663	890	1964 – 1981 / 1996 – 2010	520
Sarapullo AJ Toachi	H160	73492	9956590	1020	1968 – 1982	329
Toachi AJ Pilatón	H161	727990	9965077	820	1964 - 2010	1435

Nota: *Coordenadas UTM WGS84 17 S
Fuente: (CONELEC, 2013)

Se ha tomado en cuenta los registros de la cuenca del río Toachi y Sarapullo, como referencia de las cuencas vecinas.

4.1.5.2. Curvas de descarga de estaciones

En el siguiente cuadro se incluyen las ecuaciones de las curvas de descarga de las estaciones hidrológicas consideradas en el análisis y reportadas por el INAMHI, las ecuaciones de las curvas de descarga tienen la siguiente forma:

$$Q = a (H+H_o)^b$$

Ecuación 9

En donde:

Q - caudal (m³/s)

H – Nivel del agua (m)

a, b, Ho - coeficientes

Tabla 28. Ecuaciones de las curvas de descarga estaciones hidrológicas

CODIGO	ESTACION	PERIODO VALIDEZ		Rango (m)		a	Ho	B
H0155	PILATON DJ SACALZON	25/01/1974	31/12/1985	-0.11	2.5	45.530	0.110	1.590
H0156	PILATON AJ TOACHI	31/01/1964	02/02/1968	0	5	18.109	0.000	1.724
H0156	PILATON AJ TOACHI	03/02/1968	15/03/1969	-0.8	5	6.256	0.800	2.220
H0156	PILATON AJ TOACHI	16/03/1969	04/02/1971	-0.6	5	13.808	0.600	1.789
H0156	PILATON AJ TOACHI	05/02/1971	31/01/1973	-0.5	5	23.722	0.500	1.511
H0156	PILATON AJ TOACHI	01/02/1973	24/01/1980	-0.45	5	22.010	0.450	1.537
H0156	PILATON AJ TOACHI	25/01/1980	18/03/1980	-0.8	5	6.256	0.800	2.220
H0156	PILATON AJ TOACHI	19/03/1980	15/07/1980	-0.5	5	23.722	0.500	1.511
H0156	PILATON AJ TOACHI	16/07/1980	05/02/1981	-0.6	5	13.808	0.600	1.789
H0156	PILATON AJ TOACHI	06/02/1981	16/04/1981	-0.45	5	22.010	0.450	1.537
H0156	PILATON AJ TOACHI	17/04/1981	31/12/1981	-0.5	5	23.722	0.500	1.511
H0156	PILATON AJ TOACHI	01/01/1995	16/05/2012	-1.05	5	8.204	1.050	2.282

H0161	TOACHI AJ PILATON	01/01/1964	02/02/1968	-1	7.5	1.221	1.000	2.990
H0161	TOACHI AJ PILATON	03/02/1968	15/01/1970	-1.1	3.5	1.543	1.100	2.800
H0161	TOACHI AJ PILATON	03/02/1968	15/01/1970	3.501	7.5	1.221	1.000	2.990
H0161	TOACHI AJ PILATON	16/01/1970	31/01/1973	-1.3	4.6	1.665	1.300	2.730
H0161	TOACHI AJ PILATON	16/01/1970	31/01/1973	4.601	7.5	1.221	1.000	2.990
H0161	TOACHI AJ PILATON	01/02/1973	09/08/1980	-1.57	5.8	1.460	1.570	2.780
H0161	TOACHI AJ PILATON	01/02/1973	09/08/1980	5.801	7.5	1.221	1.000	2.990
H0161	TOACHI AJ PILATON	10/08/1980	26/12/1980	-1.3	4.6	1.665	1.300	2.730
H0161	TOACHI AJ PILATON	10/08/1980	26/12/1980	4.601	7.5	1.221	1.000	2.990
H0161	TOACHI AJ PILATON	27/12/1980	10/06/1981	-1.57	5.8	1.460	1.570	2.780
H0161	TOACHI AJ PILATON	27/12/1980	10/06/1981	5.801	7.5	1.221	1.000	2.990
H0161	TOACHI AJ PILATON	11/06/1981	08/11/1981	-1.3	4.6	1.665	1.300	2.730
H0161	TOACHI AJ PILATON	11/06/1981	08/11/1981	4.601	7.5	1.221	1.000	2.990
H0161	TOACHI AJ PILATON	09/11/1981	01/02/1983	-1.57	5.8	1.460	1.570	2.780
H0161	TOACHI AJ PILATON	09/11/1981	01/02/1983	5.801	7.5	1.221	1.000	2.990
H0161	TOACHI AJ PILATON	02/02/1983	31/05/1983	-1.1	3.5	1.543	1.100	2.800
H0161	TOACHI AJ PILATON	02/02/1983	31/05/1983	3.501	7.5	1.221	1.000	2.990
H0161	TOACHI AJ PILATON	01/06/1983	31/12/1986	-1.57	5.8	1.460	1.570	2.780
H0161	TOACHI AJ PILATON	01/06/1983	31/12/1986	5.801	7.5	1.221	1.000	2.990
H0161	TOACHI AJ PILATON	01/06/1987	31/12/1989	-1.1	3.5	1.543	1.100	2.800
H0161	TOACHI AJ PILATON	01/06/1987	31/12/1989	3.501	7.5	1.221	1.000	2.990
H0161	TOACHI AJ PILATON	01/01/1990	31/12/1995	-1.1	3.5	1.543	1.100	2.800
H0161	TOACHI AJ PILATON	01/01/1999	31/12/1998	-2.1	7	0.280	2.100	3.350
H0161	TOACHI AJ PILATON	01/01/1999	31/07/2007	-1.3	4.6	1.665	1.300	2.730
H0161	TOACHI AJ PILATON	01/01/1999	31/07/2007	4.61	7.5	1.221	1.000	2.990

H0161	TOACHI AJ PILATON	01/01/1999	08/04/2008	-1.3	7	1.665	1.300	2.730
H0161	TOACHI AJ PILATON	09/04/2008	14/05/2012	-1.1	7	1.543	1.100	2.800
H0188	PILATON D.J. TOACHI	12/04/1995	18/05/2012	-0.5	2.5	8.200	0.500	3.310

Fuente: (CONELEC, 2013)

4.1.5.3. Caudales medios en estaciones

En el análisis de los caudales debe considerarse las siguientes definiciones

Caudales naturales.- son los presentes en condiciones naturales en la cuenca, es decir sin intervención antrópica.

Caudales remanentes o disponibles.- son los existentes actualmente en los ríos, considerando variaciones o cambios en la cobertura vegetal de las cuencas y derivaciones de recurso hacia aguas arriba (CONELEC, 2013).

Caudales aprovechables.- es la parte del caudal disponible susceptible de ser captado, en este caso, sería el caudal disponible menos el caudal ecológico a mantenerse en el río.

Caudal de diseño.- caudal máximo a derivarse, igual o menor al aprovechable para el proyecto considerando la disponibilidad (CONELEC, 2013).

En base a la información de las series históricas de las estaciones consideradas a continuación se presenta el resumen de los caudales mensuales y anuales (CONELEC, 2013)

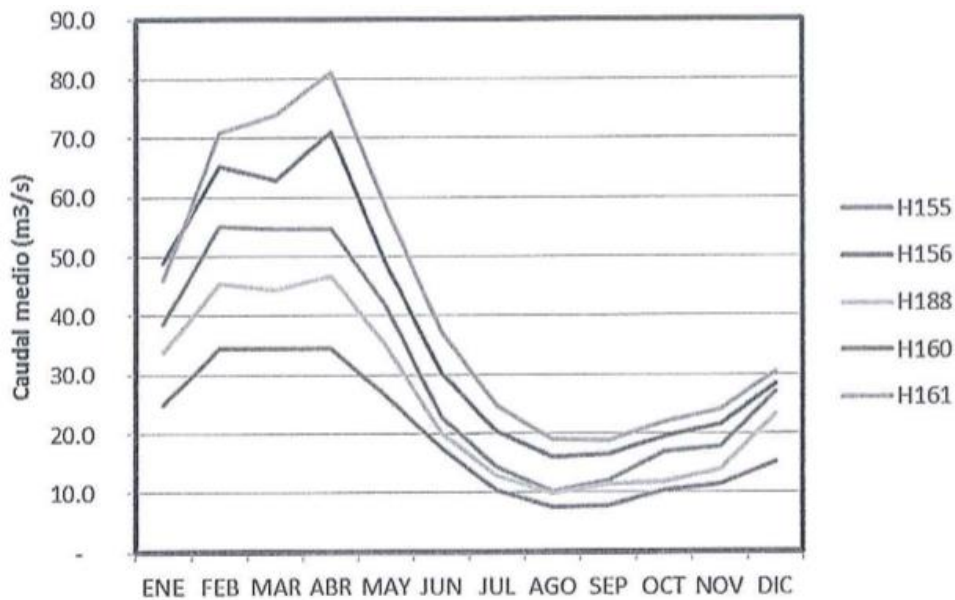
Tabla 29. Caudales medios en estaciones hidrológicas

Código	Estación	Caudales medios mensuales (m ³ /s)												QM A (m ³ /s)
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
H155	Pilatón DJ Sacalzón	38.7	55.1	54.8	54.7	41.7	22.8	14.5	10.1	12.2	16.9	17.9	27.1	30.5
H156	Pilatón AJ Toachi	49.1	65.4	62.9	71.0	48.8	30.3	20.4	16.1	16.4	19.5	21.6	28.3	37.8
H188	Pilatón DJ Chitóa	33.8	45.4	44.3	46.8	34.8	20.0	13.0	10.0	11.5	11.9	13.9	23.2	25.7
H160	Sarapullo AJ Toachi	24.9	34.6	34.4	34.3	26.5	17.6	10.5	7.6	8.0	10.4	11.4	15.2	19.0
H161	Toachi AJ Pilatón	46.1	71.1	74.1	81.2	58.3	37.1	24.7	19.1	18.8	21.9	24.1	30.4	42.5

Fuente: (CONELEC, 2013)

En el siguiente cuadro se muestra la variación mensual de los caudales, observándose un régimen unimodal con valores máximos en el mes de abril y mínimos entre agosto y septiembre.

Figura 41. Caudales medios mensuales en estaciones hidrológicas



Fuente: (CONELEC, 2013)

Siendo las estaciones H155 Pilatón DJ Sacalzón y H188 DJ Chitóa las más próximas a los sitios de captación de los ríos Pilatón, Santa Ana y Chitóa, inicialmente se evaluaron los caudales medios en estas estaciones.

Los registros de los caudales medios mensuales se la estación H155 Pilatón DJ Sacalzón del periodo 1974 – 1984, determina un caudal medio de 30.538 m³/s, que corresponde a un caudal específico igual a 65 l/s/km².

Los caudales medios anuales y específicos obtenidos en base a los registros de cada estación, se incluyen en el siguiente cuadro.

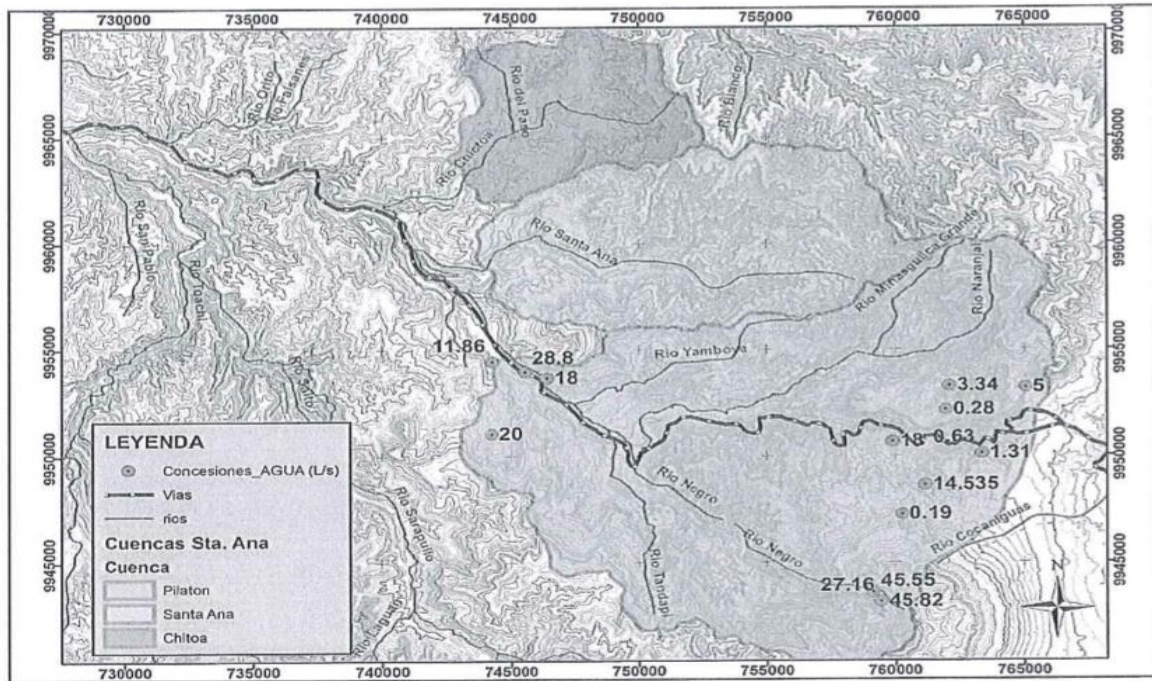
Tabla 30. Caudales medios anuales y específicos en las estaciones hidrológicas

Código	Estación	Área (km²)	Caudal medio anual (m³/s)	Caudal medio específico (l/s/ km²)	Lamina de escurrimiento (mm)
H155	Pilatón DJ Sacalzón	470	30.538	65.0	2049
H188	Pilatón DJ Chitua	508	25.746	50.7	1598
H156	Pilatón AJ Toachi	520	37.777	72.6	2291
H160	Sarapullo AJ Toachi	329	18.992	57.7	1820
H161	Toachi AJ Pilatón	1435	42.460	29.6	933

Fuente: (CONELEC, 2013)

De la información recopilada de concesiones y autorizaciones de derecho de uso del agua registrados por SENAGUA en la cuenca del río Pilatón, se identifican 15 autorizaciones que suman un caudal de apenas 240 l/s. La mayoría se ubican en la parte alta de la cuenca del Pilatón, específicamente en la subcuenca del río Naranjal. En las cuencas de los ríos Santa Ana y Chitua no se observan registros de concesiones. No se evidencia la captación del proyecto Corazón de 0.98 MW, en la figura se muestra la ubicación de las concesiones y el caudal autorizado.

Figura 42. Ubicación de autorizaciones de uso de aguas y caudales concesionados



Fuente: (CONELEC, 2013)

Por todo lo antes expuesto se considera tomar los caudales naturales de la estación H155 como base para el análisis de los caudales disponibles en los sitios de aprovechamiento de los ríos Pilatón, Santa Ana y Chitoa. Obviamente, se deberá considerar los caudales autorizados para diversos usos.

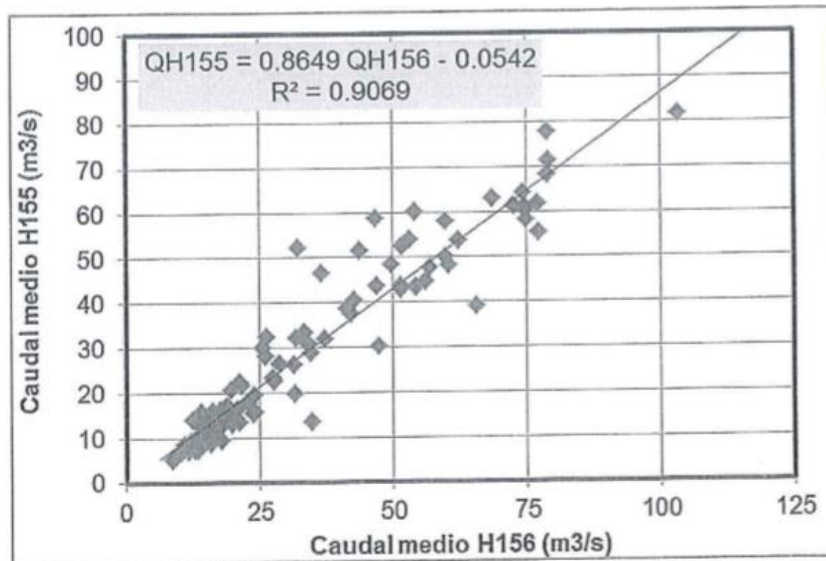
Para usar los caudales medios naturales en la estación H155 Pilatón DJ Sacalón, se realizó el relleno y extensión de la serie, para lo cual aplicando regresiones de tipo lineal, se correlacionaron los caudales mensuales con los registros de las estaciones H156 Pilatón AJ Toachi, H160 Sarapullo AJ Toachi y H161 Toachi AJ Pilatón. Las ecuaciones determinadas para el relleno y extensión de la serie de la estación H155 Pilatón DJ Sacalón, se muestra en el siguiente cuadro

Tabla 31. Ecuaciones de relleno de caudales medios mensuales estación H155

Ecuación	Correlacion, r
$QH155 = 0.8649 * QH165 - 0.0542$	0.95
$QH155 = 1.6405 * QH160 - 0.3864$	0.96
$QH155 = 0.6049 * QH161 + 5.4565$	0.89

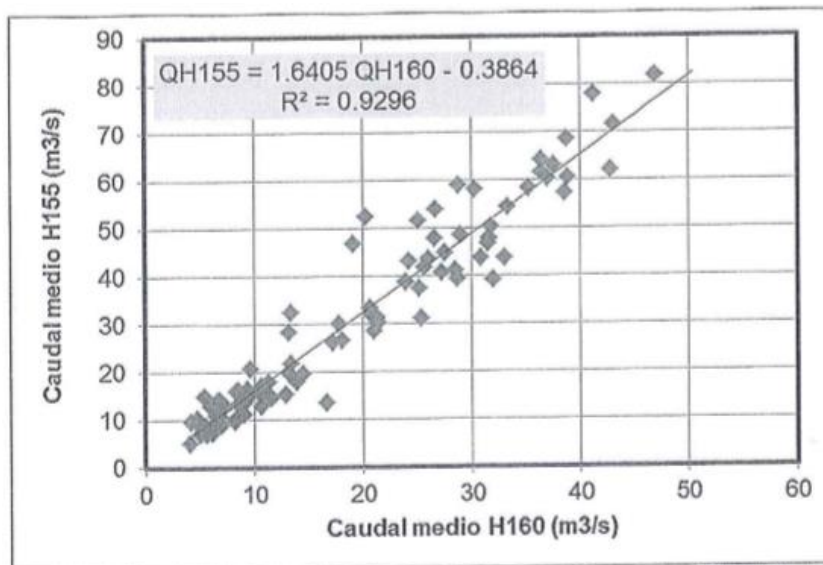
Fuente: (CONELEC, 2013)

Figura 43. Regresión lineal entre caudales medios mensuales estación H155 Pilatón DJ Sacalón vs. Estación H 156 Pilatón AJ Toachi (m3/s)



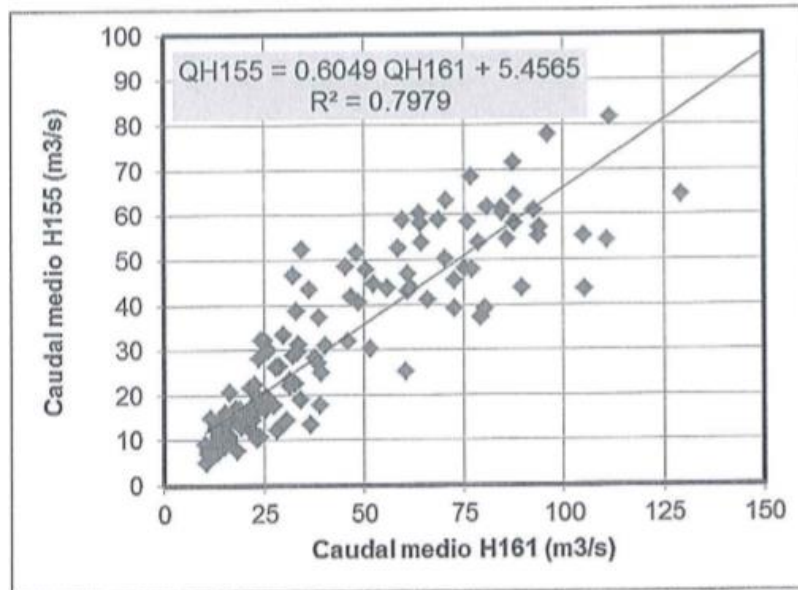
Fuente: (CONELEC, 2013)

Figura 44. Regresión lineal entre caudales medios mensuales estación H155 Pilatón DJ Sacalón vs. Estación H160 Sarapullo AJ Toachi (m3/s)



Fuente: (CONELEC, 2013)

Figura 45. Regresión lineal entre caudales medios mensuales estación H155 Pilatón Dj Sacalón vs. Estación H162 AJ Pilatón (m3/s)



Fuente: (CONELEC, 2013)

Tabla 32. Caudales medios mensuales en la estación H155 Pilatón DJ Sacalzón (m³/s)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1964	40.22	31.45	23.57	43.18	26.49	22.88	16.27	12.45	12.89	18.32	19.51	19.89	23.93
1965	42.34	35.75	47.83	63.04	51.26	25.63	15.67	12.83	16.84	25.43	32.54	24.21	32.78
1966	46.95	57.87	53.27	46.60	48.86	25.95	17.20	13.78	12.61	25.84	14.13	19.01	31.84
1967	52.72	83.90	62.11	26.48	29.64	22.18	13.33	10.25	8.76	10.84	9.67	10.03	28.33
1968	21.72	35.53	38.97	36.24	19.91	15.64	18.04	10.66	12.94	16.59	10.32	8.59	20.43
1969	22.51	39.25	47.78	61.82	42.58	36.25	18.04	10.85	10.42	11.53	17.92	26.75	28.81
1970	43.99	62.58	50.45	55.03	48.05	26.99	14.95	11.06	12.50	13.48	19.96	26.27	32.11
1971	54.32	79.29	82.44	50.35	32.85	28.22	16.67	15.21	15.61	24.19	22.65	20.01	36.82
1972	48.81	58.25	61.64	50.08	42.50	34.23	10.27	14.81	14.90	18.27	21.69	34.46	34.91
1973	31.87	47.38	54.80	68.50	55.51	41.35	26.12	10.76	24.39	22.17	20.91	20.17	36.08
1974	38.71	71.54	58.26	47.82	44.72	28.87	15.28	9.40	14.35	33.35	31.24	48.47	36.83
1975	61.83	81.72	61.08	61.44	42.96	31.98	22.62	14.34	16.40	15.72	17.75	28.17	38.00
1976	50.20	64.18	68.43	77.85	53.90	13.54	14.44	10.79	10.23	9.67	13.85	32.29	34.86
1977	46.61	51.55	58.08	52.54	52.35	29.94	17.02	12.89	12.97	13.29	8.09	14.46	30.82
1978	43.43	37.31	43.76	60.43	60.26	19.51	16.75	10.76	12.79	14.84	9.13	20.67	29.14
1979	26.10	32.33	63.07	43.71	31.07	26.41	11.11	8.91	15.38	16.01	7.59	6.99	24.05
1980	21.66	58.85	40.58	39.09	30.28	19.79	8.72	6.89	5.04	8.40	13.86	15.63	22.40
1981	22.29	53.80	55.34	48.15	23.29	12.89	10.29	7.26	7.23	7.06	12.19	15.81	22.97
1982	41.77	54.42	41.13	47.87	39.24	17.89	10.45	7.70	9.47	28.37	46.78	57.24	33.53
1983	43.51	45.37	58.74	58.18	43.66	25.27	14.48	10.77	12.16	16.89	17.88	227.06	31.17
1984	29.67	55.34	54.29	64.28	37.31	25.05	18.90	11.85	17.76	22.22	18.36	30.87	32.16
1985													
1986													
1987												18.85	18.85
1988	15.61	14.60	15.58	18.16	14.80	14.43	13.96	14.00	12.91	13.37	14.52	15.05	14.75
1989	15.43	16.42	15.63	16.70	15.69	14.83	14.61		14.20	14.27	14.89	14.87	15.23

1990	17.10	17.53	17.65	16.96	15.68			17.49	17.66	23.88	19.70	18.29	18.19
1991	20.43	36.03	32.75	25.29	15.52	14.73	17.96	15.33	14.00	14.02	13.63	16.11	19.65
1992	15.60	16.22	17.58	17.46	16.38	15.11	14.35	14.20	14.42		14.18	14.85	15.49
1993	22.02	96.37	55.28	167.4									85.28
1994						23.98	19.79	15.54	15.91				18.80
1995													
1996												13.43	13.43
1997	34.23	49.93	39.72	41.14	36.22	33.01	18.12	14.84	19.68	25.03	46.28	50.03	34.02
1998	42.29	47.56	51.14	69.21	59.38	30.26	21.12	17.51	15.74	14.71	17.45	14.33	33.39
1999	31.09	68.06	73.02	68.85	56.78	33.62	26.68	18.82	20.00	20.02	18.10	33.05	39.01
2000	44.31	63.07	73.63	85.85	68.31	39.69	18.53	14.97	17.57	19.03	13.97	15.59	39.64
2001	22.10	42.95	74.20	81.15	89.42	18.28	20.80	14.39	11.68	11.68	11.05	33.81	36.53
2002	27.82	25.55	85.72	113.5	38.18	25.07	18.79	15.80	14.67	16.97	19.60	42.05	36.98
2003	48.71	65.64	76.24	63.72	34.51	18.59	17.25	11.92	10.35	17.19	14.66	24.17	33.58
2004	35.85	50.59	35.94	48.24	47.76	30.59	20.40	12.87	19.54	23.49	24.14	30.32	31.64
2005	35.70	86.67	40.17	45.32	28.95	16.65	16.73	14.39	5.44	6.45	8.01	9.39	26.16
2006	19.14	64.79	48.28	56.42	33.59	21.18	13.96	11.94	14.39	12.14	24.30	31.01	29.26
2007	42.66	33.80	43.33	59.81	48.37	32.04	17.27	13.99	12.07	12.54	21.91	20.94	29.89
2008	83.59	80.06	74.85	78.12	51.81	29.67	27.72	20.66	19.62	27.64	32.85	35.02	46.80
Med	36.02	51.63	51.19	55.80	40.21	24.79	17.12	13.38	14.06	17.43	18.82	23.95	30.54
S	14.77	20.79	18.31	27.41	16.34	7.61	4.18	3.47	4.01	6.40	9.13	11.61	11.97
Cv	0.41	0.40	0.36	0.49	0.41	0.31	0.24	0.26	0.29	0.37	0.49	0.48	0.39

*40.22 Valores rellenos con correlación con la estación H156

18.04 Valores rellenos con correlación con la estación H160

18.85 Valores rellenos con correlación con la estación H161

Fuente: (CONELEC, 2013)

El caudal medio para el periodo 1964-2008 es 30.54m³/s, el valor medio de la serie extendida es igual al de la serie original.

4.1.5.4. *Caudales en las captaciones de los ríos Pilatón, Santa Ana y Chitua*

Para la determinación de los caudales medios mensuales en los sitios de aprovechamiento del recurso hídrico para el proyecto hidroeléctrico, no se cuenta con registros hidrológicos directos y continuos en el tiempo, por tanto, se aplicará el método de transportación para la estimación de los caudales disponibles en los ríos Pilatón, Santa Ana y Chitua.

4.1.5.5. *Método de transportación de caudales*

Disponiendo la serie histórica de caudales medios mensuales de una cuenca hidrográfica que mantenga al menos una estación hidrológica, se pueden aplicar coeficientes de transposición de caudales asociados con el área de drenaje, la precipitación, la altura media, etc., de la cuenca hidrográfica, para determinar los caudales en la cuenca de interés.

4.1.5.6. *Transposición de caudales*

Bajo las condiciones de homogeneidad hidrológica en la zona de estudio, es posible aplicar el concepto de proporcionalidad y transposición de los caudales medios anuales y mensuales, en función del área de la cuenca hidrográfica de interés y de la precipitación anual media al interior del área de drenaje, para ello, se aplica la siguiente relación:

$$Q_A / Q_B = (A_A / A_B) \times (P_A / P_B)$$

Q_A – Caudal medio anual cuenca A (m³/s)

Q_B – Caudal medio anual cuenca B (m³/s)

A_A – Área de drenaje cuenca A (km²)

A_B – Área de drenaje cuenca B (km²)

P_A – Precipitación anual media cuenca A (mm)

P_B – Precipitación anual media cuenca B (mm)

Se determina la magnitud del caudal medio en los sitios de captaciones aplicando el factor de proporcionalidad con el área de drenaje, y también el factor por lluvia, considerando como estación base la H155 DJ Sacalón. La precipitación anual media de la cuenca del río Pilatón hasta el sitio de la estación considerando el método de cálculo de las isoyetas es 2062 mm, mientras que la precipitación en la cuenca del río Pilatón es 1925 mm, por tanto, el factor de precipitación es 0.93, la precipitación en la cuenca del río Santa Ana es

2265 mm, entonces el factor es 1.10 y la precipitación en la cuenca del río Chittoa es 2271, el factor también es 1.10.

Tabla 33. Caudales medios naturales en captaciones (m³/s)

Sitio	Área (km ²)	Factor área A _A /A _B	Factor precipitación P _A /P _B	Qmed (m ³ /s)	Qmed (l/s/km ²)
Río Pilatón captación PSA (CSA1)	291.5	0.620	0.93	17.657	60.6
Río Santa Ana captación PSA (CSA2)	114.9	0.244	1.10	8.183	71.2
Río Chittoa captación PSA (CSA3)	54.1	0.115	1.10	3.864	71.5

Fuente: (CONELEC, 2013)

En el siguiente cuadro se incluye los caudales mensuales determinados para el sitio de captación del río Pilatón. Siendo el caudal medio en la estación H155 Pilatón igual a 30.54 m³/s y el caudal medio del río Pilatón igual a 17,66 m³/s, entonces el factor para obtener los caudales mensuales en esta sección es 0.579. De igual manera, el factor para obtener los caudales del río Santa Ana es 0.268 y para el río Chittoa es 0.127.

Los caudales disponibles en los sitios de captación serán iguales a los naturales considerando que las derivaciones son mínimas.

Tabla 34. Caudales medios mensuales en el Río Pilatón captación PSA (CSA1)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1964	23.29	18.22	13.65	25.01	15.34	13.25	9.42	7.21	7.47	10.61	11.30	11.52	13.86
1965	24.52	20.70	27.70	36.51	29.69	14.84	9.07	7.43	9.75	14.72	18.85	14.02	18.98
1966	27.19	33.51	30.85	26.99	28.29	15.03	9.96	7.98	7.30	14.96	8.18	11.01	18.44
1967	30.53	48.59	35.97	15.34	17.16	12.85	7.72	5.93	5.07	6.28	5.60	5.81	16.40
1968	12.58	20.57	22.57	20.99	11.53	9.05	10.45	6.17	7.49	9.61	5.98	4.98	11.83
1969	13.04	22.73	27.67	35.80	24.66	20.99	10.45	6.28	6.03	6.68	10.38	15.49	16.68
1970	25.47	36.24	29.22	31.87	27.83	15.63	8.66	6.40	7.24	7.81	11.56	15.21	18.59
1971	31.46	45.92	47.74	29.16	19.02	16.34	9.66	8.81	9.04	14.01	13.11	11.59	21.32
1972	28.27	33.73	35.70	29.00	24.61	19.82	11.16	8.58	8.63	10.58	12.56	19.95	20.22
1973	18.45	27.44	31.74	39.67	32.14	23.95	15.13	11.44	14.12	12.84	12.11	11.68	20.89
1974	22.42	41.43	33.74	27.69	25.90	16.72	8.85	5.45	8.31	19.31	18.09	28.07	21.33
1975	35.81	47.33	35.37	35.58	24.88	18.52	13.10	8.30	9.50	9.10	10.28	16.31	22.01
1976	20.07	37.17	39.63	45.08	31.21	7.84	7.78	6.25	5.92	5.60	8.02	18.70	20.19
1977	26.99	29.85	33.63	30.43	30.32	17.34	9.86	7.46	7.51	7.70	4.69	8.37	17.85
1978	25.15	21.61	25.34	35.00	34.90	11.30	9.70	6.23	7.41	8.59	5.29	11.97	16.87
1979	15.11	18.66	36.52	25.31	17.99	15.29	6.43	5.16	8.91	9.27	4.40	4.05	13.93
1980	12.54	34.08	23.50	22.64	17.54	11.46	5.05	3.99	2.92	4.86	8.03	9.05	12.97
1981	12.91	31.16	32.05	27.88	13.49	7.46	5.96	4.20	4.19	4.09	7.06	9.16	13.30
1982	24.19	31.52	23.82	27.72	22.72	10.36	6.05	4.46	5.48	16.43	27.09	33.15	19.42
1983	25.20	26.27	34.02	33.69	25.28	14.63	8.39	6.24	7.04	9.78	10.36	15.67	18.05
1984	17.18	32.05	31.44	37.23	21.61	14.51	10.95	6.86	10.29	12.87	10.63	17.88	18.62
1985													
1986													
1987												10.92	10.92
1988	9.04	8.46	9.02	10.52	8.57	8.35	8.09	8.11	7.48	7.74	8.41	8.72	8.54
1989	8.93	9.51	9.05	9.67	9.09	8.59	8.46		8.23	8.26	8.62	8.61	8.82

1990	9.90	10.15	10.22	9.82	9.08			10.13	10.23	13.83	11.41	10.59	10.54
1991	11.83	20.87	18.97	14.64	8.99	8.53	10.40	8.88	8.11	8.12	7.90	9.33	11.38
1992	9.03	9.40	10.18	10.11	9.49	8.75	8.31	8.22	8.35		8.21	8.60	8.97
1993	12.75	55.81	32.01	96.97									49.39
1994						13.89	11.46	9.00	9.21				10.89
1995													
1996												7.77	7.77
1997	19.82	28.91	23.00	23.82	20.98	19.12	10.50	8.59	11.40	14.50	26.80	28.97	19.70
1998	24.49	27.54	29.62	40.08	34.39	17.52	12.23	10.14	9.12	8.52	10.10	8.30	19.34
1999	18.01	39.42	42.29	39.87	32.88	19.47	15.45	10.90	11.58	11.60	10.48	19.14	22.59
2000	25.66	36.52	42.64	49.72	39.56	22.99	10.73	8.67	10.17	11.02	8.09	9.03	22.90
2001	12.80	24.88	42.97	47.00	51.78	10.58	10.71	12.04	8.33	6.76	6.40	19.58	21.15
2002	16.11	14.79	49.64	65.73	22.11	14.52	10.98	9.15	8.50	9.83	11.35	24.35	21.41
2003	28.21	38.02	44.15	36.90	19.98	10.77	9.99	6.90	6.00	9.96	8.49	14.00	19.45
2004	20.76	29.30	20.81	27.94	27.66	17.71	11.82	7.45	11.32	13.60	13.98	17.56	18.33
2005	20.68	50.19	23.26	26.25	16.77	9.64	9.69	8.33	3.15	3.74	4.64	5.44	15.15
2006	11.08	37.52	27.96	32.68	19.45	12.27	8.09	6.91	8.33	7.03	14.07	17.96	16.95
2007	24.70	19.58	25.09	34.64	28.01	18.55	10.00	8.10	6.99	7.26	12.69	12.13	17.31
2008	48.41	46.36	43.35	45.24	30.00	17.18	16.06	11.97	11.37	16.01	19.02	20.28	27.10
Med	20.70	30.46	30.13	32.40	23.33	14.38	9.95	7.77	8.11	9.95	10.67	13.93	17.7
S	8.76	12.11	10.54	16.25	9.58	4.53	2.48	2.06	2.37	3.73	5.26	6.89	6.93
Cv	0.42	0.40	0.35	0.50	0.41	0.31	0.25	0.27	0.29	0.37	0.49	0.49	0.39

Fuente: (CONELEC, 2013)

Tabla 35. Caudales característicos en valores medios mensuales de las captaciones del Aprovechamiento PSA (m³/s)

Probabilidad de excedencia (%)	Caudales mensuales Río Pilatón captación PSA (CSA1) (m ³ /s)	Caudales mensuales Río Santa Ana PSA (CSA2) (m ³ /s)	Caudales mensuales Río Chittoa PSA (CSA3) (m ³ /s)	CDG adimensional Qi/Qmed
10	34.636	16.051	7.579	1.962
20	27.827	12.896	6.089	1.576
30	22.416	10.388	4.905	1.270
40	17.164	7.954	3.756	0.972
50	12.846	5.953	2.811	0.728
60	10.607	4.916	2.321	0.601
70	9.213	4.270	2.016	0.522
80	8.351	3.870	1.828	0.473
90	7.029	3.258	1.538	0.398
Qmed	17.657	8.183	3.864	1.000

Fuente: (CONELEC, 2013)

4.1.5.7. Caudales aprovechables en los sitios de captación

Los caudales aprovechables para el proyecto hidroeléctrico PILATON SANTA-ANA se determinan con base a los caudales disponibles, el caudal ecológico y el caudal de diseño de las obras de captación.

El caudal de diseño, es el caudal de derivación para el proyecto considerado la disponibilidad.

4.1.5.8. Caudal ecológico

El caudal ecológico se define como aquel que mantiene el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial en condiciones naturales, a partir del cual, se asegura el buen estado de un curso de agua, la preservación del hábitat natural (flora y fauna) y de las funciones ambientales, tales como purificación de aguas, amortiguación de crecidas, recreación, pesca, energía, etc.

Para la determinación de los caudales ecológicos, a manera de referencia, se aplica el método de Tennant, ampliamente usado en la ingeniería nacional, es decir, que el caudal ecológico será al menos al 10% del caudal anual (CONELEC, 2013) .

Debido a la limitada información biológica y sus interacciones con el medio, en el área de estudio, se considera como caudal ecológico un 10% del caudal medio anual, adecuado para el nivel del estudio (CONELEC, 2013).

4.1.5.9. Caudales aprovechables para el proyecto

Los caudales aprovechables en los sitios de captación de los ríos Pilatón, Santa Ana y Chitoo, serán la diferencia entre los naturales, los usos y los ecológicos. Los caudales aprovechables se detallan en el siguiente cuadro.

Tabla 36. Caudales aprovechables en las captaciones (m³/s)

Sitio	Área (km ²)	Cota (msnm)	Q med (m ³ /s)	Q disp40% (m ³ /s)	Q Otros usos (m ³ /s)	Q eco (m ³ /s)	Q aprov40% (m ³ /s)
Río Pilatón captación PSA (CSA1)	291.6	1400	17.657	17.164	0.240	1.766	15.158
Río Santa Ana captación PSA (CSA2)	114.9	1400	8.183	7.954	0.000	0.818	7.136
Río Chitoo captación PSA (CSA3)	54.1	1400	3.864	3.76	0.000	0.386	3.370

Fuente: (CONELEC, 2013)

Por lo tanto, el caudal total de diseño será de **25,664 m³/s**.

A nivel mensual los caudales aprovechables en las captaciones se incluyen en el siguiente cuadro.

Tabla 37. Caudales aprovechables mensuales en las captaciones (m³/s)

Captación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Qmed Río Pilatón(CSA1)	20.86	29.90	29.64	32.31	23.29	14.36	9.91	7.75	8.14	10.09	10.90	13.87
Qmed Río Santa Ana (CSA2)	9.67	13.86	13.74	14.97	10.79	6.65	4.59	3.59	3.77	4.68	5.05	6.43
Qmed Río Chitoa (CSA3)	4.57	6.54	6.49	7.07	5.10	3.14	2.17	1.70	1.78	2.21	2.39	3.04
Qaprov40% Río Pilatón Río Pilatón(CSA1)	23.03	32.95	32.33	36.33	25.68	15.48	10.52	8.26	8.73	11.03	12.24	15.58
Qaprov40% Río Santa Ana (CSA2)	10.67	15.27	14.98	16.84	11.90	7.17	4.88	3.83	4.04	5.11	5.67	7.22
Qaprov40% Río Chitoa (CSA3)	5.04	7.21	7.07	7.95	5.62	3.39	2.30	1.81	1.91	2.41	2.68	3.41
Qaprov40% Total	38.74	55.43	54.38	61.12	43.2	26.04	17.7	13.9	14.68	18.55	20.59	26.21

Fuente: (CONELEC, 2013)

4.1.5.10. Caudales máximos

En virtud de la existencia de registros de caudales máximos instantáneos, la determinación de los caudales máximos de crecida asociados a un periodo de retorno se realiza mediante el análisis estadístico probabilístico.

En base a información de caudales máximos instantáneos de la estación H156 Pilatón AJ Toachi y del análisis estadístico-probabilístico de la serie de caudales extremos conformada, se han determinado los caudales máximos. Se ha considerado la estación H156 en el análisis debido a que esta serie cuenta con un periodo más extenso de datos.

La serie de caudales máximos anuales, se presenta en el siguiente cuadro.

Tabla 38. Serie de caudales máximos instantáneos en la estación H156 Pilatón AJ Toachi (m³/s)

Año	Q _{máx} (m ³ /s)
1964	116.232
1965	197.627
1966	221.183

1967	210.576
1968	
1969	186.086
1970	249.333
1971	154.098
1972	
1973	280.693
1974	266.011
1975	254.783
1976	243.725
1977	245.295
1978	217.594
1979	232.069
1980	234.103
1981	174.075
1996	-
1997	122.525
1998	-
2000	-
2001	260.38
2002	262.999
2003	260.38
2004	393.081
2005	301.223
2006	167.481
2007	211.063
2008	426.776
2009	308.356
2010	370.417
med	243.26
S	73.63
Cs	0.67

Fuente: (CONELEC, 2013)

Los caudales máximos con periodo de retorno se obtuvieron para los sitios de interés CSA1, CSA2 y CSA3, aplicando una distribución de probabilidades Log-Normal.

Se escogió la distribución de probabilidades considerando el hecho que el valor del coeficiente de asimetría (Cs), para valores de Cs entre 0 y 0,5 se ajusta a una distribución normal; para valores de Cs entre 0,5 y 1 se ajusta a una distribución log normal; y para valores de Cs próximos a 1,139.

A una distribución de probabilidades tipo Gumbel. Para otros valores de Cs, se puede aplicar una distribución Pearson, de acuerdo a las recomendaciones establecidas para el análisis de frecuencias incluidas en (Monsalve, 1995).

El análisis de frecuencias hidrológicas para la determinación de la magnitud de eventos, se realiza observando el mejor ajuste de una distribución de probabilidades, en este caso la distribución Log-Normal. De acuerdo con Chow (1951), la técnica puede ser reducida a la forma:

$$X_T = X_{med} + S K_T$$

Ecuación 10

X_T – magnitud que tiene un periodo de retorno T

X_{med} – valor medio

S – Desviación estándar

K_T – Factor de frecuencia, propios de cada distribución de probabilidad.

Según lo establecido en la Hidrología de Viessman, se conoce que el periodo de retorno máximo a considerar en una serie es el doble del tiempo de registro de datos, para obtener un ajuste confiable. Además que, para obtener parámetros estadísticos confiables como el sesgo, se requiere de series de más de 50 elementos. En consecuencia, se determina que los valores para periodos de retorno superiores a 100 años, en el caso analizando, tendrán un mayor grado de incertidumbre en su valor estimado.

En primera instancia se han obtenido los valores de caudales máximos asociados a varios periodos de retorno para la estación H156. En base a estos datos y aplicando coeficientes de transposición de caudales máximos en base al área de drenaje se determinan los caudales de

crecida para los sitios de captación del proyecto hidroeléctrico Pilatón Santa Ana. El factor de transposición para los caudales máximos de la captación del río Pilatón es 0.561, para el río Santa Ana es 0.221 y para el río Chitoa es 0.104.

En el siguiente cuadro se resumen los valores de los caudales máximos determinados en los sitios de interés CSA1, CSA2 y CSA3.

Tabla 39. Caudales máximos determinados

Período de retorno (años)	QMáxTR H156 (m ³ /s)	QMáxTR Río Pilatón	QMáxTR Río Santa Ana CSA2 (m ³ /s)	QMáxTR Río Chitoa CSA 3 (m ³ /s)
5	301.64	169.08	66.63	31.37
10	345.50	193.66	76.32	35.93
20	386.48	216.63	85.37	40.19
25	399.31	223.82	88.21	41.52
50	438.45	245.76	96.85	45.59
100	476.92	267.32	105.35	49.60
200	515.08	288.71	113.78	53.56
500	565.43	316.94	124.90	58.80

Fuente: (CONELEC, 2013)

El caudal específico máximo para un periodo de retorno de 100 años es de 0.92 m³/s/km².

El estudio del proyecto hidroeléctrico del río Sarapullo de Genlitoral realizado por el INAMHI (2007), reporta un caudal específico máximo para un retorno de 100 años, aplicando el método del hidrograma sintético del SCS, igual al valor de 0.91 m³/s/km².

4.1.5.11. Transporte de sedimentos

El grado de deterioro de una cuenca hidrográfica se asocia a la actividad antrópica, esta circunstancia sumada al impacto de la lluvia, vientos y otras generan el fenómeno de la erosión.

La pérdida de suelo o erosión laminar no es el factor preponderante como fuentes de sedimentos que transportan los ríos Pilatón, Santa Ana y Chitoa. El material del fondo es grueso, es decir no es resultado de la erosión laminar a lo largo de la cuenca.

El movimiento de las partículas que arrastra el río obedece a características propias del flujo, de la geometría del cauce y de las partículas o materiales que conforman el fondo. El inicio o umbral del movimiento de las partículas se relaciona con el esfuerzo de corte actual en el fondo, el esfuerzo crítico de corte, la velocidad media en la sección transversal y la velocidad en el fondo.

El volumen total de sedimentos transportados puede dividirse, de acuerdo al mecanismo de transporte en: carga de fondo (material sólido arrastrado junto al fondo del cauce) y carga de suspensión (volumen de material transportado por el flujo alejado del fondo).

Se busca calcular la cantidad total del material que puede ser transportado.

Hay tres parámetros importantes que afectan la carga de fondo, según Lane y Barland:

- a) El tamaño del material de fondo a la velocidad de caída de las partículas.
- b) La pendiente longitudinal del curso o la velocidad promedio del flujo.
- c) La naturaleza del cauce: profundidad, tamaño, forma y rugosidad.

Para determinar la carga de fondo se debe considerar la variabilidad de las condiciones de flujo a lo largo del tiempo. Una gran cantidad de sedimentos se transporta en las crecidas cuando sube el caudal del río.

Los valores mensuales y anuales de carga de sólidos en suspensión determinados en cada estación se presentan a continuación en el siguiente cuadro.

Tabla 40. Carga de sólidos en suspensión en estaciones (ton)

Código	Estación	Área (km²)	Carga media mensual (ton/mes)	Carga media anual (ton/año)	Carga anual por área (ton/año/km²)
H155	Pilatón DJ Sacalón	470	21280	259336	552
H188	Pilatón DJ Chitua	508	20295	238504	469
H156	Pilatón AJ Toachi	520	23068	281621	542

Fuente: (CONELEC, 2013)

La carga de sólidos en suspensión en la estación H188 Pilatón DJ Chitua, resulta menor debido a los menores caudales registrados en esta estación, en todo caso los valores mantienen coherencia.

Para la determinación de la carga de transporte de sólidos en suspensión en las captaciones de los ríos Pilatón, Santa Ana y Chitoa, se consideró la carga de la estación H155 Pilatón DJ Sacalzón, por ser el valor mayor. El siguiente cuadro incluye los valores de transporte en suspensión estimados para los sitios de captación.

Tabla 41. Carga de sólidos en suspensión en captaciones (ton)

Sitio	Área (km²)	Carga media anual (ton/año)
Río Pilatón captación PSA (CSA1)	291.5	160908
Río Santa Ana captación PSA (CSA2)	114.9	53888
Río Chitoa captación PSA (CSA3)	54.1	29322

Fuente: (CONELEC, 2013)

El transporte de fondo de acuerdo con el criterio de Maddock, se toma como un porcentaje del transporte en suspensión.

Tabla 42. Criterios para la estimación del transporte de sólidos de fondo

Concentración del sedimento en suspensión (partes por millón)	Material del lecho del río	Textura de los elementos en suspensión	Descarga del arrastre de fondo expresada como % de la descarga de los sedimentos en suspensión
Menor a 1000	Arena	Similar al lecho del río	25 – 150
Menor a 1000	Grava, rocas, arcilla dura	Bajo contenido de arena	5 – 12
1000 - 7500	Arena	Similar al lecho del río	10 – 35
1000 – 7500	Grava, rocas, arcilla dura	25 % de arena o menos	5 – 12
Mayor 7500	Arena	Similar al lecho del río	5 – 15
Mayor 7500	Grava, rocas, arcilla dura	25% de arena o menos	2 – 8

Fuente: (CONELEC, 2013)

Las concentraciones de sólidos en suspensión, generalmente son menores a 1000 ppm y se observa arena en el cauce. En función de estas consideraciones, se toma un porcentaje del 50% con aporte sólido de fondo.

Por tanto, las cargas de sedimentos para las captaciones del proyecto hidroeléctrico Pilatón Santa Ana son las presentadas en el siguiente cuadro.

Tabla 43. Total de sólidos transportados hasta las captaciones (ton/año)

Sitio	Área	Cota	Qsup	Qfondo	Qtotal
	(Km ²)	(msnm)	(ton/año)	(ton/año)	(ton/año)
Río Pilatón captación (CSA1)	291.5	1400	160908	80454	241362
Río Santa Ana captación PSA (CSA2)	114.9	1400	53888	26944.05	80832
Río Chitóa captación PSA (CSA3)	54.1	1400	29322	14661.1	43983

Fuente: (CONELEC, 2013)

El proyecto hidroeléctrico Pilatón Santa Ana contempla la captación de las aguas de las siguientes fuentes ríos Pilatón, Santa Ana y Chitóa, aproximadamente en la cota 1400 msnm.

Los ríos Pilatón, Santa Ana y Chitóa son parte del sistema hidrográfico del río Esmeraldas y corresponde a la subcuenca del río Blanco, las cuencas hidrográficas de interés para el proyecto hidroeléctrico se caracterizan por sus fuertes pendientes, presentan una cobertura vegetal poco intervenida, en la cuenca del río Pilatón se observa una mayor intervención.

El área de aporte de las fuentes hídricas son río Pilatón A= 291.5 Km², río Santa Ana A = 114.9 Km², río Chitóa A = 291.5 Km².

Los suelos de la zona son principalmente franco limosos que corresponden al grupo hidrológico B, en cuanto a las precipitaciones se consideraron varias estaciones pluviométricas de la zona, se determinó la variación altitudinal. En la parte alta se registran precipitaciones anuales de 1500 mm mientras que en la zona baja se observan registros del orden de 2500 mm.

La precipitación anual media de la zona se encuentra en el orden de 200 mm. La distribución anual de las precipitaciones se observa un comportamiento unimodal, con un pico máximo en el mes de abril. El periodo de menor precipitación ocurre entre los meses de junio y septiembre.

Tabla 44. Precipitación anual media en las cuencas de las captaciones (mm)

Sitio/Cuenca	Lámina de Precipitación (mm/año)
Río Pilatón captación PSA (CSA1)	1925
Río Santa Ana captación PSA (CSA2)	2264
Río Chittoa captación PSA (CSA3)	2271

Fuente: (CONELEC, 2013)

Las precipitaciones en la zona se incrementan con la disminución de la altitud y hacia el occidente, las precipitaciones anuales de la zona reflejan una tendencia a la disminución en el tiempo.

Los registros de los caudales medios mensuales de la estación H155 Pilatón DJ Sacalón del periodo 1974 – 1984, determinan un caudal medio de 30.538 m³/s, que corresponde a un caudal específico igual a 65 l/s/km². Datos que sirvieron de base para determinar los caudales en las captaciones.

El caudal específico máximo para un periodo de retorno de 100 años es de 0.92 m³/s/km².

La carga total de solidos aportantes desde las cuencas hasta los sitios de captación se incluyen en el siguiente cuadro.

Tabla 45. Total de solidos aportantes desde las cuencas

Sitio	Área (Km²)	Qmed (m³/s)
Río Pilatón captación PSA (CSA1)	291.5	17.657
Río Santa Ana captación PSA (CSA2)	114.9	8.183
Río Chittoa captación PSA (CSA3)	54.1	3.864

Fuente: (CONELEC, 2013)

Desde el punto de vista hidrológico y de las cuencas hidrográficas y de los ríos analizados y de la estación H155 se consideran homogéneas y similares.

Los caudales con probabilidad de excedencia asociada para los sitios de captación son:

Tabla 46. Caudales con probabilidad de excedencia asociada

Probabilidad de excedencia (%)	Caudales Río Pilatón captación PSA (CSA1) (m ³ /s)	Caudales Río Santa Ana captación PSA (CSA2) (m ³ /s)	Caudales Río Chitóa captación PSA (CSA3) (m ³ /s)
10	34.636	16.051	7.579
20	27.827	12.896	6.089
30	22.416	10.388	4.905
40	17.164	7.954	3.756
50	12.846	5.953	2.811
60	10.607	4.916	2.321
70	9.213	4.270	2.016
80	8.351	3.870	1.828
90	7.029	3.258	1.538
Qmed	17.657	8.183	3.864

Fuente: (CONELEC, 2013)

- Podemos observar la regulación natural de los caudales en épocas de menor precipitación, aunque también se establece una gran variabilidad en el recurso hídrico disponible, que se asocia a las condiciones de drenaje propias de las cuencas. Los caudales disponibles se asocian en gran parte a la ocurrencia de lluvias, por los altos coeficientes de escorrentía.
- Los caudales ecológicos se estimaron considerando el 10% del caudal medio anual, también conocido como el método de Tennant, se consideró este criterio tomando en consideración lo establecido en el libro VI Anexo 1B del TULAS, referente a proyectos hidroeléctricos.
- En la cuenca del río Pilatón se han registrado usos de agua por un total de 240 l/s, en las cuencas de los ríos Santa Ana y Chitóa no se registran autorizaciones de uso del recurso hídrico.

4.2. Prediseño del vertedero tipo Creager

Para el pre dimensionamiento del perfil Creager se utilizó la metodología recomendada por el BUREAU OF RECLAMATION en el cual procedemos a determinar la altura del azud para

después determinar los valores de los coeficientes necesarios para la determinación de las coordenadas del perfil.

En esta metodología hacemos uso de la ecuación:

$$\frac{Y}{H_0} = -K\left(\frac{x}{H_0}\right)^n$$

Ecuación 11

Para determinar el valor de H_0 (calado crítico de máxima crecida) del diseño determinamos el coeficiente de descarga del vertedero siguiendo la metodología recomendada por Gehy.

Según Gehy se puede determinar el coeficiente de descarga mediante la relación P/H_0 , donde P es la altura del paramento mientras que H_0 es la carga de diseño del vertedero. (García Vélez, 2000) estas relaciones son:

Cuando $0 \leq \frac{P}{H_0} < 0.5$

$$C_o = -2.025 \left[\frac{P}{H_0}\right]^2 + 2.8 \left[\frac{P}{H_0}\right] + 1.704$$

Cuando $0.6 \leq \frac{P}{H_0} < 2.5$

$$C_o = -0.034 \left[\frac{P}{H_0}\right]^2 + 0.145 \left[\frac{P}{H_0}\right] + 2.031$$

Cuando $\frac{P}{H_0} > 2.5$

$$C_o = -2.18$$

Una vez determinado el coeficiente de descarga del perfil Creager se puede utilizar la ecuación de descarga en vertederos para así determinar de manera teórica el valor de H_0 esta ecuación es:

$$Q = C_o * L * H^{3/2}$$

Ecuación 12

Tabla 47. TEORIA DE GEHY PARA EL COEFICIENTE c

P/H_o asumido	c	H_o	P/H_o
0.50	2.10	2.96	1.18
1.01	2.14	2.92	1.20
1.10	2.15	2.91	1.20
1.15	2.15	2.91	1.20
1.19	2.16	2.91	1.20
1.20	2.16	2.91	1.20
1.30	2.16	2.90	1.21
1.40	2.17	2.90	1.21
1.50	2.17	2.89	1.21
1.60	2.18	2.89	1.21
1.80	2.18	2.89	1.21
2.0	2.19	2.88	1.21

Fuente: Elaboración propia

Mediante un proceso iterativo se determina los valores de c y H_o lo que nos permite comprobar cuál será la máxima descarga del vertedero mediante la fórmula general de vertederos de pared delgada.

$$Q=CM*b *L * H^{3/2}$$

Ecuación 13.

Donde:

C: es un coeficiente de corrección

M: es un coeficiente según la forma del vertedero

B: es el ancho del vertedero

H: es la carga

Una vez determinado el valor del parámetro P (carga en máxima crecida) H_o se determinara la carga cinética en máxima crecida h_o.

$$h_o = \frac{Q_{max}}{2gL(P+h_o)^2}$$

Ecuación 14

Donde:

g: gravedad.

L: longitud del vertedero.

P: altura del paramento.

h_o: carga cinética.

Realizando los cálculos obtenemos que h_o = 0.43306

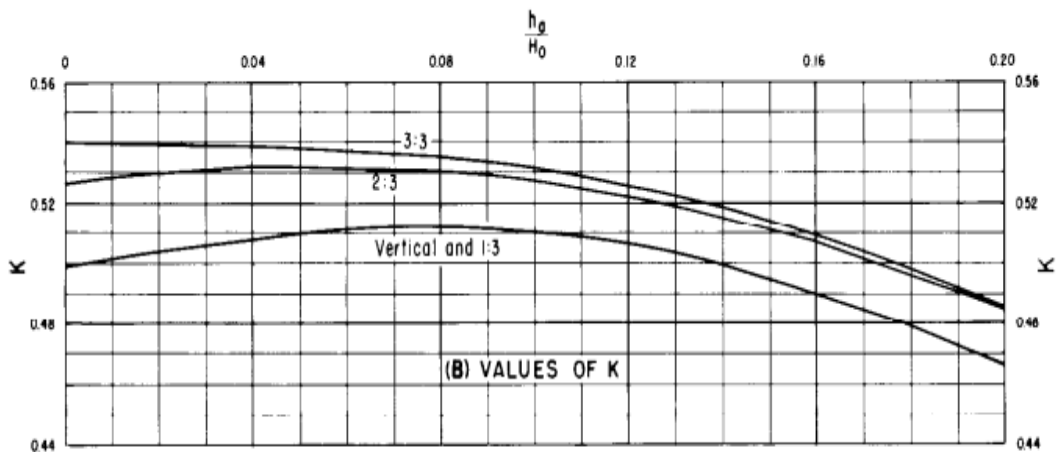
$$\frac{h_o}{H_o} = \frac{0.43306}{2.92} = 0.148$$

Ecuación 15

Una vez obtenido el valor de h_o podemos obtener los valores de K y n utilizando las tablas del libro DISEÑO DE PRESAS PEQUEÑAS BUREAU OF RECLAMATION.

Figura 46. Grafico ábaco para la obtención de k

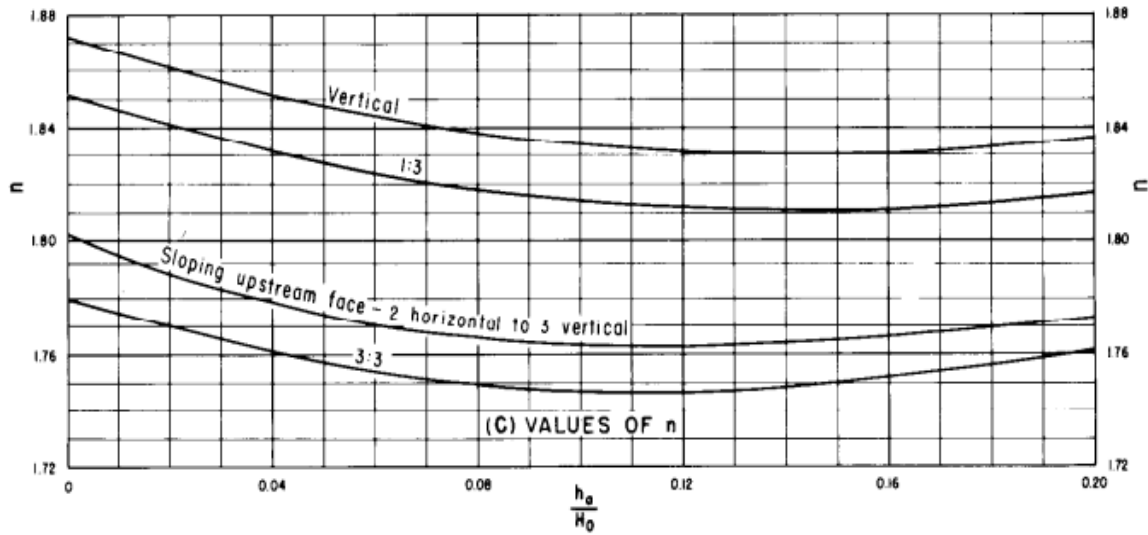
(A) ELEMENTS OF NAPPE-SHAPED CREST PROFILES



K = 0.49

Fuente: (Udall & Dominy, 1972)

Figura 47. Grafico ábaco para la obtención de n



$$n=1.83$$

Fuente: (Udall & Dominy, 1972)

Una vez obtenidos los valores de K y n ingresamos en la ecuación.

$$\frac{y}{H_o} = -K \left(\frac{x}{H_o} \right)^n$$

Ecuación 16

Tabla 48. Resultados de la ecuación 16

L	25
H_o	2.91
V	3.08
h_o	0.43406
h_o/H_o	0.148

Fuente: Elaboración propia

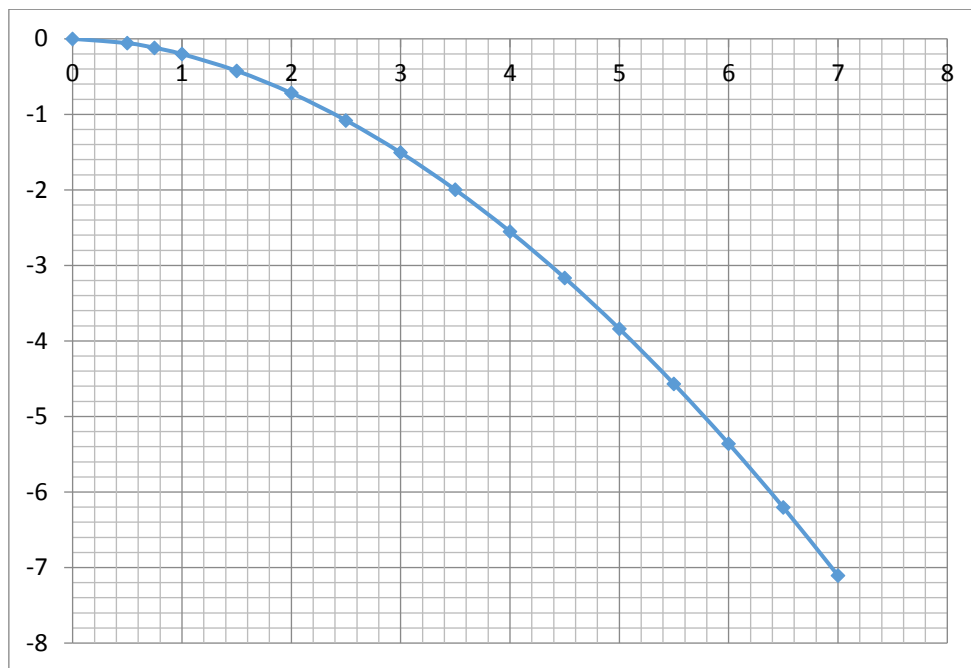
Tabla 49. Coordenadas finales perfil tipo Creager

X	Y
0	0
0,5	-0,06
0,75	-0,12

1	-0,20
1,5	-0,42
2	-0,72
2,5	-1,08
3	-1,51
3,5	-2,00
4	-2,55
4,5	-3,17
5	-3,84
5,5	-4,57
6	-5,36
6,5	-6,20
7	-7,10

Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Perfil del vertedero tipo Creager de Pilatón – Santa Ana



Fuente: Elaboración propia

4.3. Prediseño del vertedero tipo tecla de piano.

Para el pre dimensionamiento del vertedero Tipo Tecla De Piano procedemos a la determinación de la ecuación de descarga del vertedero Tipo Tecla de Piano que trabaja como un vertedero de pared delgada para determinar la longitud efectiva del vertedero.

$$Q = C_D \sqrt{(2g) h^{3/2} L_e$$

Ecuación 17

Donde:

Q: Caudal (m³/s).

C_D: Coeficiente de descarga para valores entre 0,55 y 0,65.

g: Aceleración de la gravedad (m/s²).

h: Carga hidráulica sobre la cresta (m).

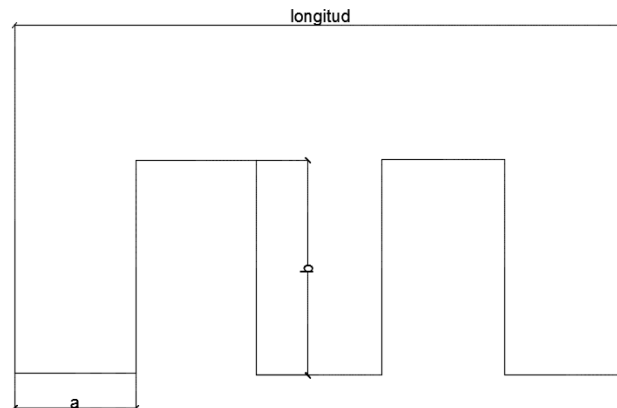
L_e: longitud efectiva del vertedero (m).

Para la determinación de la longitud efectiva (L_e) del Vertedero Tipo Tecla de Piano se realizó un análisis teniendo en cuenta las principales variables que son el ancho y la profundidad de cada unidad.

$$L_e = a(n) + b(n-1)$$

Ecuación 18

Figura 49.



Fuente: Elaboración Propia.

Mediante la recomendación de Sotelo del libro de Hidráulica General volumen 1 determinamos el coeficiente de descarga para propósitos de diseño que es 2.

Mediante procesos iterativos se determina el número de unidades además del calado crítico en el evento de máxima crecida.

Mediante la fórmula de vertederos de pared delgada ponemos una h aproximada para un Prediseño.

$$Q = C_D \sqrt{2g} h^{3/2} L_e$$

Ecuación 19

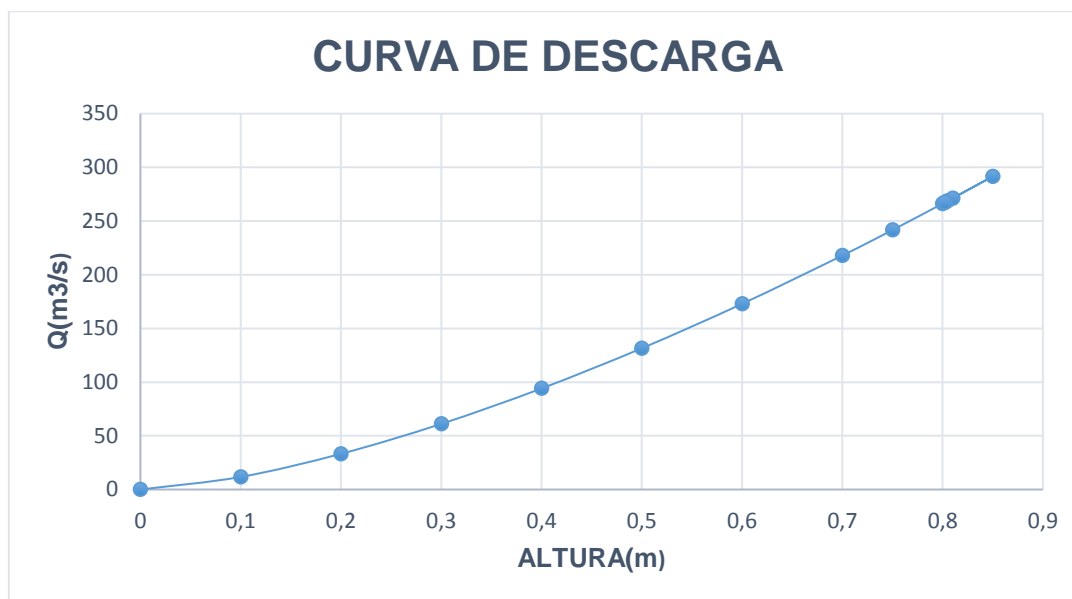
Realizando el reemplazo de datos conocidos podemos obtener una h aproximada para el distinto número de unidades

Tabla 50. Tabla de predimensionamiento del vertedero tipo tecla de piano.

Q	267,32	m³/s	h(m)	n teclas	Q(m³/s)
a	3,6	m	0	7	0,00
b	4,00	m	0,1	7	11,77
Cd	2	adim	0,2	7	33,28
gravedad	9,81	m/s ²	0,3	7	61,14
			0,4	7	94,13
			0,5	7	131,55
			0,6	7	172,92
			0,7	7	217,91
			0,75	7	241,67
			0,8	7	266,33
			0,805	7	268,73
			0,81	7	271,24
			0,85	7	291,58
			0,802	7	267,23
			0,8022	7	267,35

Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Curva de descarga para el pre dimensionamiento del vertedero Tipo Tecla De Piano



Fuente: Elaboración propia

4.4. Comparación técnica y de costos.

4.4.1. Comparación técnica

Para la comparación técnica se tomó los parámetros más importantes de cada vertedero que influyen en el diseño y construcción de los mismos.

Tabla 51. Datos comparativos vertedero tipo tecla de piano vs perfil Creager

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VERTEDERO TIPO TECLA DE PIANO	PERFIL CREAGER
ANCHO DEL RÍO	m	25	25
CAUDAL DE MÁXIMA CRECIDA (CENTENARIO)	m³/s	267,32	267,32
CALADO	m	1,5	2,9
LONGITUD EFECTIVA (Le)	m	61,20	25
COEFICIENTES DE DESCARGA (Co)	adim	2	2,16
AFORO MAXIMO DE DISEÑO	m³/s	374,48	338,54

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52. Tabla comparativa entre el vertedero tipo tecla de piano y perfil Creager (Calado)

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VERTEDERO TIPO TECLA DE PIANO	PERFIL CREAGER
CALADO	m	1,5	2,9

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la comparación técnica del calado entre el vertedero tipo tecla de piano y el vertedero con perfil Creager se observa que el vertedero tipo tecla de piano es 51,72 % menor que el vertedero con perfil Creager, lo que permite concluir que:

- Los niveles máximos y mínimos de operación en el vertedero tipo tecla de piano serán menores, por lo tanto, los muros de ala o muros de encauzamiento serán de menor altura, teniendo en cuenta la altura de seguridad en el caso de una creciente extrema.
- La energía a disiparse en el cuenco dissipador aguas abajo del vertedero tipo tecla de piano es menor que la del vertedero con perfil tipo Creager, por consiguiente, las obras de disipación de energía serán de menor volumen o tamaño, dando como resultado un menor costo de inversión del proyecto.
- Los riesgos asociados al calado de máxima crecida son menores en el vertedero tipo tecla de piano debido a su forma en zigzag, ya que ésta disipa la energía del río cuando el agua ingresa y sale por sus unidades o teclas disminuyendo el riesgo de desborde del vertedero.

Tabla 53. Tabla comparativa entre el vertedero tipo tecla de piano y perfil Creager (Longitud efectiva)

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VERTEDERO TIPO TECLA DE PIANO	PERFIL CREAGER
LONGITUD EFECTIVA (Le)	m	61,20	25

Fuente: Elaboración propia

La longitud efectiva del perfil Creager es un 37,76 % menor que la longitud efectiva del vertedero tecla de piano, por lo que se concluye que:

- El vertedero tipo tecla de piano puede ser implantado en secciones de río que tengan un ancho mínimo y por su forma en zigzag y geometría la longitud efectiva va a ser mayor que la del vertedero con perfil Creager, aumentando la capacidad de descarga.

- Mientras que con el vertedero con perfil Creager la longitud efectiva será menor debido a que tendrá la forma de una línea continua horizontal que no aumentará la capacidad de descarga del vertedero.
- En el vertedero tipo tecla de piano la relación de la longitud efectiva y la altura del vertedero son inversamente proporcionales, debido a que a menor longitud efectiva mayor altura de las unidades y viceversa.
- Con una mayor longitud efectiva del vertedero tecla de piano, se puede evacuar con mayor facilidad los elementos flotantes del cuerpo de agua, reduciendo el impacto morfológico del río aguas abajo.

Tabla 54. Tabla comparativa entre el vertedero tipo tecla de piano y perfil Creager (Coeficientes de descarga)

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VERTEDERO TIPO TECLA DE PIANO	PERFIL CREAGER
COEFICIENTES DE DESCARGA (Co)	Adim.	2	2,16

Fuente: Elaboración propia

En el vertedero tipo tecla de piano se determinó que el coeficiente de descarga será igual a dos para propósitos de diseño, debido a la similitud del funcionamiento de este vertedero con el vertedero de pared delgada; mientras que el coeficiente de descarga del vertedero Creager se determinó mediante el planteamiento de Gehy, método recomendado por bibliografía especializada en el diseño de obras hidráulicas.

Para la determinación del coeficiente de diseño del vertedero de perfil Creager se utilizó ábacos del libro Bureau Of Reclamation (USBR) para hallar el valor de 2,16.

Tabla 55. Tabla comparativa entre el vertedero tipo tecla de piano y perfil Creager (Aforo máximo de diseño)

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VERTEDERO TIPO TECLA DE PIANO	PERFIL CREAGER
AFORO MAXIMO DE DISEÑO	m ³ /s	374,48	338,54

Fuente: Elaboración propia

- El aforo máximo de diseño del vertedero tipo tecla de piano, con dimensiones finales para la construcción, es un 10 % mayor que el perfil Creager con sus dimensiones finales para su construcción
- Mientras que con el vertedero tipo tecla de piano se puede descargar un 40% más que el caudal de máxima crecida, condición inicial de diseño, con el perfil Creager se puede descargar un 27% más que el caudal inicial de diseño.

4.4.2. Comparación de costos

Para la comparación de costos se tomó en cuenta los rubros y cantidades que más inciden en cada uno de los vertederos, cuyos volúmenes de obra fueron calculados en base a los planos del capítulo V, sub capítulo 3.

Los valores de los rubros manejados son los del medio ecuatoriano actual; los mismos que en el análisis de precios unitarios incluyen rendimiento, mano de obra y equipo a usarse.

Tabla 56. Valores de los rubros manejados

DESCRIPCIÓN DE RUBROS PRINCIPALES	UNIDAD	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO		PRECIO TOTAL	
		TECLA DE PIANO	PERFIL CREAGER	TECLA DE PIANO	PERFIL CREAGER	TECLA DE PIANO	PERFIL CREAGER
REPLANTEO Y NIVELACIÓN DE VERTEDERO	m ²	990,00	2.190,00	1,88	1,88	1.861,20	4.117,20
DESBROCE Y LIMPIEZA	m ²	990,00	2.190,00	1,70	1,70	1.683,00	3.723,00
EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR	m ³	2.970,00	6.570,00	2,33	2,33	6.920,10	15.308,10
EXCAVACIÓN EN ROCA	m ³	1.980,00	4.380,00	61,76	61,76	122.284,80	270.508,80
EXCAVACIÓN A MÁQUINA EN FANGO	m ³	1.980,00	4.380,00	13,44	13,44	26.611,20	58.867,20
MEJORAMIENTO DE SUELOS	m ³	3.960,00	8.760,00	14,13	14,13	55.954,80	123.778,80
RELLENO COMPACTADO GRAVA (EQUIPO PESADO)	m ³	950,00	6.570,00	11,44	11,44	10.868,00	75.160,80
REPLANTILLO HORMIGÓN SIMPLE F´C=210 KG/CM2	m ³	297,00	657,00	196,14	196,14	58.253,58	128.863,98
HORMIGÓN SIMPLE F´C=350KG/CM2	m ³	1.165,00	1.844,00	231,24	231,24	269.394,60	426.406,56
HORMIGÓN CICLÓPEO 40% PIEDRA F´C=210 KG/CM2	m ³	0,00	1.230,00	0,00	111,31	0,00	136.911,30
ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2 (SUMINISTRO, CORTE Y COLOCADO)	Kg	238.000,00	168.000,00	2,24	2,24	533.120,00	376.320,00
JUNTAS IMPERMEABLES DE PVC 18 CM	m	60,00	110,00	18,85	18,85	1.131,00	2.073,50
ENCOFRADO/DESENCOFRADO METÁLICO RECTO	m ²	567,00	325,00	31,58	37,83	17.905,86	12.294,75
ENCOFRADO/DESENCOFRADO METÁLICO CURVO	m ²	0,00	400,00	0,00	37,83	0,00	15.132,00
ACARREO MECÁNICO HASTA 1Km (carga, transporte, volteo)	m ³ / Km	6.930,00	15.330,00	1,94	1,94	13.444,20	29.740,20
SOBREACARREO (transporte/medios mecánicos)(se pagará en m3/Km)	m ³ / Km	69.300,00	153.300,00	0,34	0,34	23.562,00	52.122,00
TOTAL SIN IVA						1.142.994,34	1.731.328,19
IVA (%)						12,00	12,00
TOTAL CON IVA						1.280.153,66	1.939.087,57

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la comparación de costos, se puede concluir que el vertedero tipo tecla de piano representa un 66% del costo del vertedero con perfil Creager; los rubros usados para los dos presupuestos son los mismos, a excepción de dos de ellos, los cuales solo se calcularon para el vertedero con perfil Creager. El costo del vertedero con perfil Creager es más elevado, debido al área, volumen y dimensiones del mismo, ya que estas propiedades son mayores que en el vertedero tipo tecla de piano.

5. DISEÑO DEFINITIVO DEL VERTEDERO TIPO TECLA DE PIANO

5.1. Criterios de diseño.

De acuerdo a lo establecido por el Bureau of Reclamation (USBR) y a proyectos de ingeniería antes realizados se recomienda los siguientes criterios.

- El caudal que se tome en cuenta será el que corresponda a una crecida entre 50 y 100 años, para condiciones de operación extrema.
- Calcular el caudal de captación de acuerdo a la topografía de la zona.
- Para reducir el ingreso de sólidos de fondo, se puede incluir un canal de limpieza o desripador.
- Para la operación de captación del caudal de diseño se deberá tener en cuenta que se podrá efectuar en época de estiaje y durante el periodo de crecientes centenarias o extremas.
- El diseño de la estructura vertedora en el cauce del río, deberá permitir el paso de la creciente máxima de diseño, mediante la acción combinada entre los muros de encauzamiento y el cuenco disipador aguas abajo se deberá contemplar una protección como un colchón de agua con un enrocado o una losa de hormigón.
- El curso del río se recomienda que sea un tramo recto o curvo.
- Topografía del terreno (pendiente del cauce, ancho del valle).
- Caudal a derivarse, caudal del río, ángulo de desvío.
- Régimen del río, niveles de aguas mínimas y máximas ordinarias, nivel de aguas máximas extraordinarias (periodo de retorno).
- Acarreo de materiales (tamaño de materiales acarreados, frecuencia de acarreo, materiales de fondo, materiales de suspensión).
- Capacidad portante de los suelos, geología del lugar del emplazamiento del vertedero.
- Disponibilidad presupuestal debido a la importancia de la obra.

5.2. Diseño Hidráulico.

El diseño hidráulico del vertedero Tipo Tecla De Piano, de acuerdo a las condiciones planteadas inicialmente, consiste en determinar la altura, las dimensiones del vertedero y el número de unidades del mismo para poder evacuar el caudal de máxima crecida con un tiempo de retorno de 100 años.

5.2.1. Cálculo hidráulico de las dimensiones del vertedero

Para el dimensionamiento del vertedero Tipo Tecla de Piano se usó la ecuación del vertedero de pared delgada que tiene el mismo funcionamiento hidráulico.

$$Q = C_D \sqrt{(2g)} h^{3/2}$$

Ecuación 20

Donde:

Q: Caudal.

C_D : Coeficiente de descarga.

g: gravedad.

h: altura del vertedero.

L_e : longitud efectiva

Mediante operaciones iterativas se obtuvo las dimensiones óptimas del Vertedero Tipo Tecla de Piano usando los datos conocidos como el caudal de máxima crecida con un tiempo de retorno de 100 años, la gravedad y el coeficiente de descarga que según Sotelo en su libro de Hidráulica General vol. 1 el valor es de (2).

Para la longitud efectiva (L_e) se dedujo mediante la geometría del vertedero y las condiciones que el lugar ofrece.

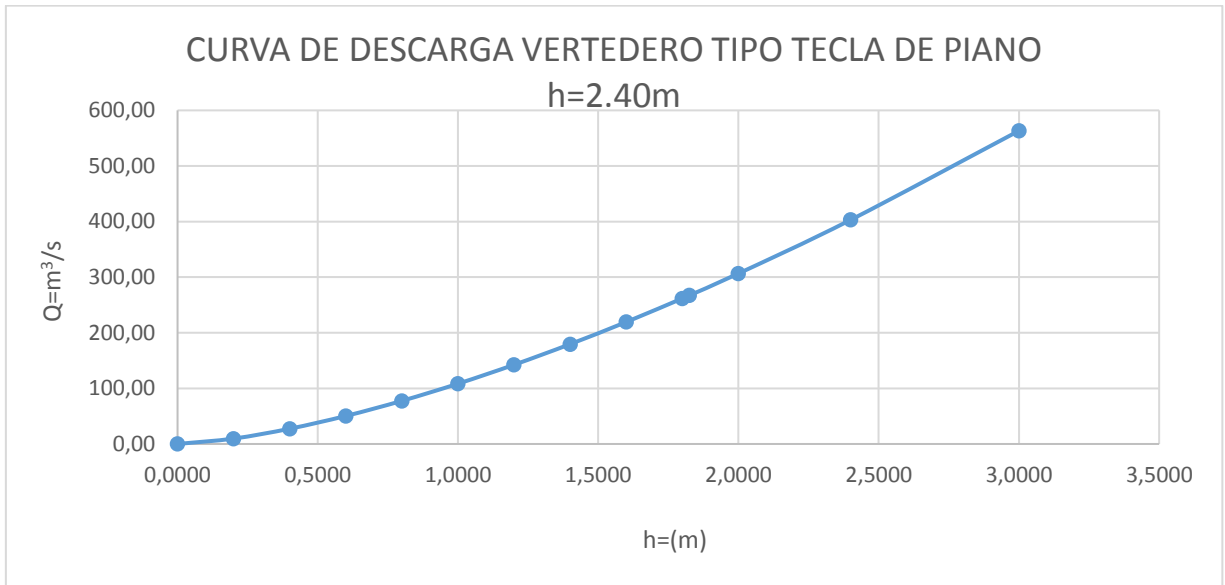
Tabla 57. Tabla de dimensionamiento del vertedero tipo tecla de piano

Q max crecida	267,32	m ³ /s	h(m)	n teclas	Q(m ³ /s)
a	3,2	m	0,0000	6	0,00
b	7,00	m	0,2000	6	9,70
Cd	2	adim	0,4000	6	27,42
gravedad	9,81	m/s	0,6000	6	50,38
			0,8000	6	77,56
			1,0000	6	108,40
			1,2000	6	142,50
			1,4000	6	179,56
			1,6000	6	219,39
			1,8000	6	261,78
			1,8253	6	267,32
			2,0000	6	306,60
			2,4000	6	403,04
			3,0000	6	563,26

Fuente: Elaboración propia

Por seguridad del funcionamiento hidráulico se decidió realizar el cálculo del caudal con una altura de 2,40 m dando como resultado que satisface para el caudal de máxima crecida centenaria.

Figura 51. Curva de descarga del vertedero tipo tecla de piano h=2,40 m



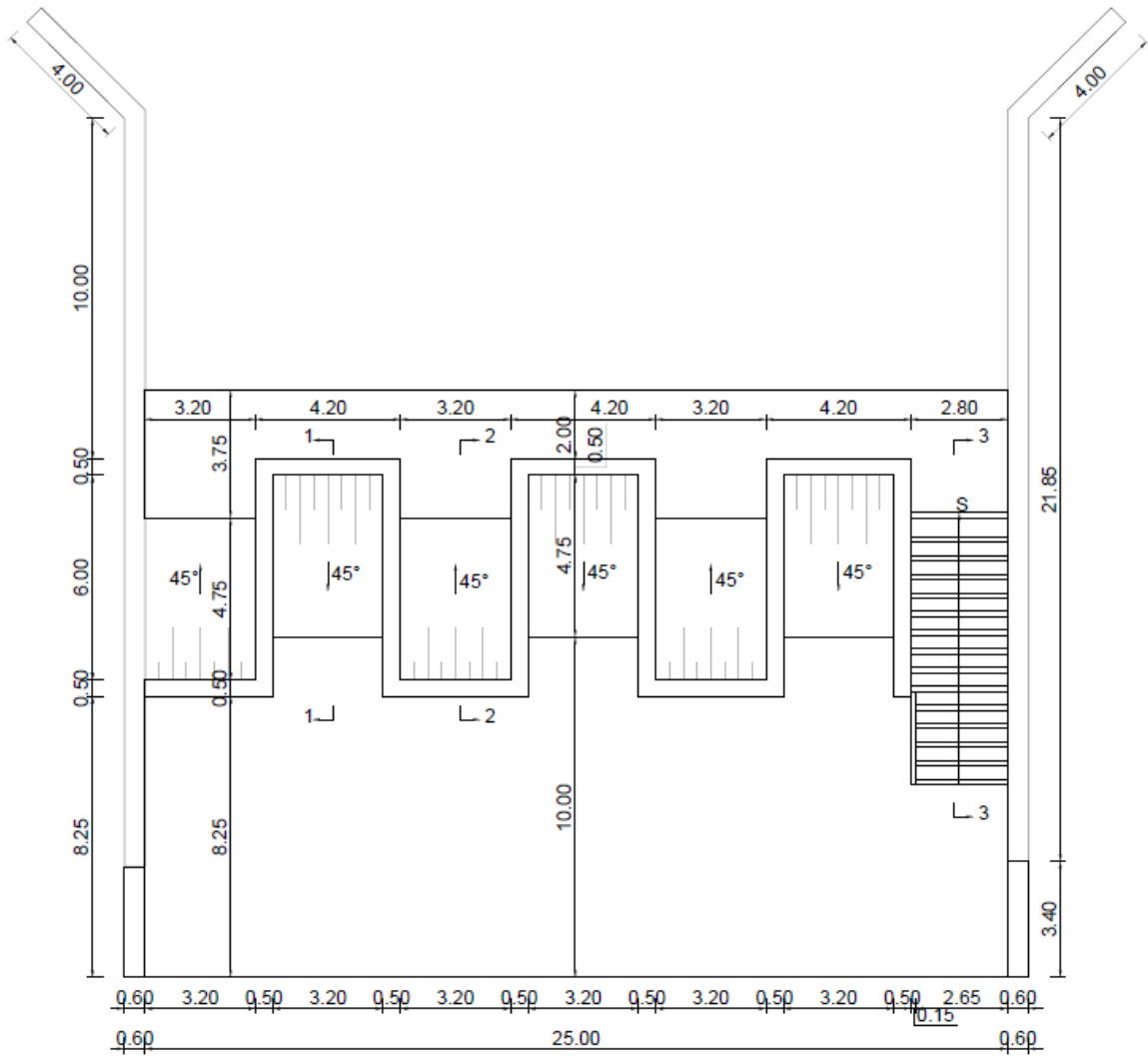
Fuente: Elaboración propia

Tabla 58. Características generales del vertedero tipo tecla de piano

Descripción	Valor	Unidad
Caudal de máxima crecida Tr 100 años.	267.32	m³/s
Ancho del río.	25	m
Altura del vertedero.	7.00	m
Ancho de la unidad.	3.20	m
Profundidad de la unidad.	7,00	m
Longitud efectiva del vertedero	61,20	m
Ancho de paredes.	0,50	m
Calado del río.	1,85	m
Escalera de peces (ancho)	2,80	m

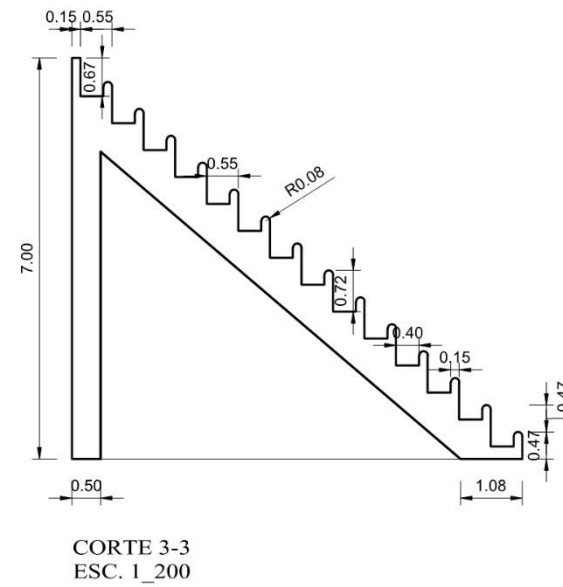
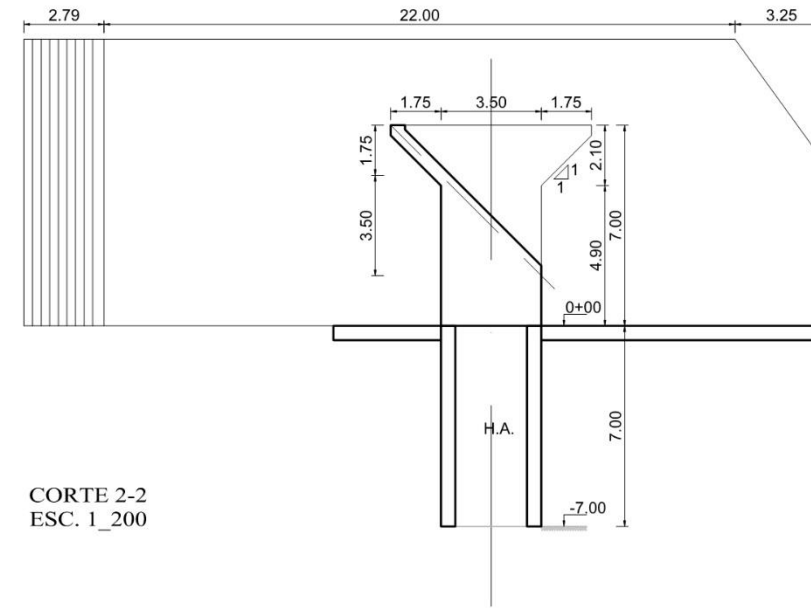
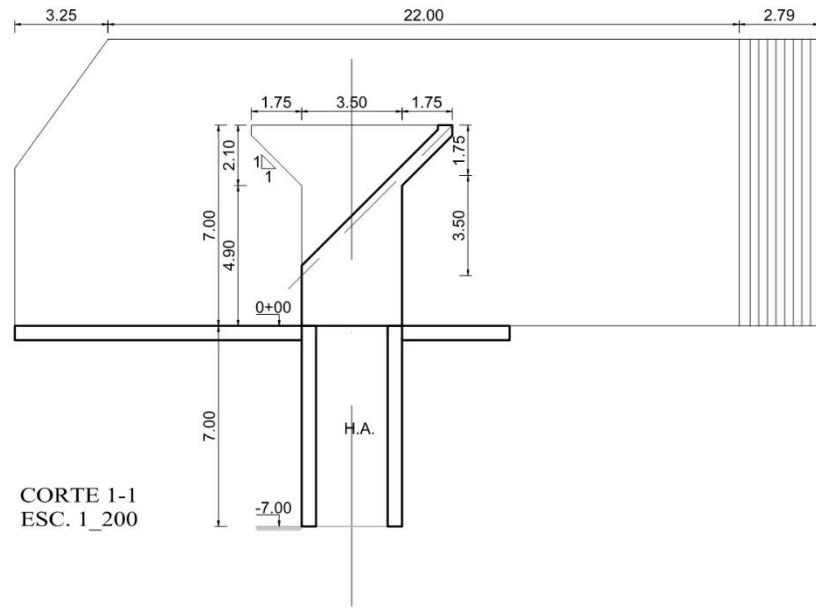
Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Dimensiones vertedero tipo tecla de piano



Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Cortes del vertedero tipo Tecla de Piano.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERIA-ESCUELA CIVIL
PLAN DE DISERTACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA: DISEÑO DEL VERTEDERO TIPO TECLA DE PIANO PARA LA CAPTACIÓN DEL
PROYECTO HIDROELECTRICO PILATON-SANTA ANA, PROVINCIA DE PICHINCHA
CONTIENE:
CORTES

DIRECTOR DE TESIS:
ING. CARLOS LUIS NAVAS
NOMBRE:
MARCELO RENE BARROS BARBOSA

NOTAS TECNICAS:

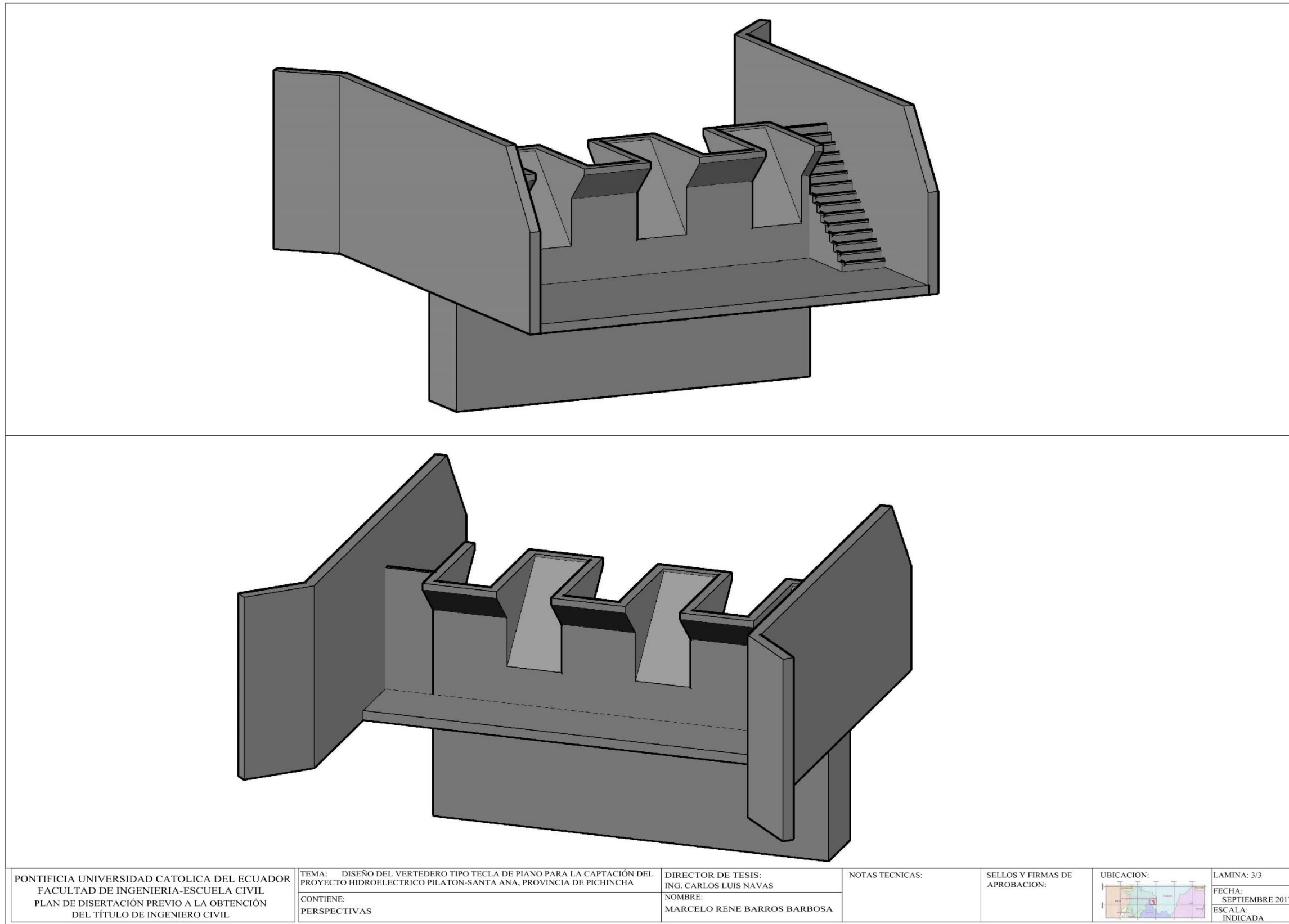
SELLOS Y FIRMAS DE
APROBACION:

UBICACION:



LAMINA: 2/3
FECHA:
SEPTIEMBRE 2017
ESCALA:
INDICADA

Figura 55. Perspectivas en 3D del vertedero tipo Tecla de Piano.



5.4. Especificaciones técnicas.

5.4.1. Replanteo, limpieza y desbroce.

Generalidades

Alcance de los trabajos. Este tema cubre todo lo relacionado con el replanteo de las obras, limpieza y desbroce de los lugares de los trabajos y disposición final de todos los materiales que se produzcan en la limpieza y desbroce e incluyen las siguientes áreas:

- a) Sitio de toma del río Pilatón-Santa Ana.
- b) Otros, como indique la fiscalización.

Replanteo. El contratista deberá realizar la señalización de los ejes y niveles de las obras en cada uno de los sitios de trabajo, mediante la colocación de mojones y/o estacas, tomando como referencia de los hitos de señalamiento colocados por la ARCONEL.

Limpieza. Consiste en la remoción y desalojo de todos los árboles, arbustos, matorrales, pastizales, en general todo tipo de vegetación, piedras sueltas, construcciones que se encuentren en el área de trabajos y escombros hasta el nivel del suelo.

Desbroce. Consiste en el desprendimiento, la remoción y desalojo de los troncos de árboles, incluido raíces y cualquier otro tipo de vegetación existente en los sitios de las obras.

Hitos de referencia. Son los hitos de señalamiento colocados por la ARCONEL y que la fiscalización hará la entrega oficialmente al contratista, en base de los cuales se realizará el replanteo de las obras a ejecutarse.

Antes de la iniciación de los trabajos el Contratista verificará la localización de estos hitos y comprobará los niveles y será de su responsabilidad el cuidado, conservación o reposición si fueren dañados.

5.4.2. Excavación a cielo abierto.

Alcance de los trabajos. Este rubro cubre todos los trabajos de remoción de capa vegetal, roturación del suelo, carga, transporte, descarga, colocación en los sitios donde vayan a ser utilizados o en los sitios de disposición final en las zonas de depósitos de materiales en las áreas que constan en los planos o lo disponga la Fiscalización. Las áreas de excavación a cielo abierto incluyen, pero no están limitadas a:

5.4.3. Obras de captación del río Pilatón.

Actividades comunes. El Contratista realizará todas las operaciones y actividades necesarias para completa el trabajo requerido hasta los niveles, alineaciones gradientes y dimensiones indicadas en los planos, en las especificaciones técnicas o como lo indique la Fiscalización.

Durante la ejecución de los trabajos puede presentarse la necesidad de variar las cotas, alineaciones, gradientes y dimensiones constantes en los planos como también modificar los niveles de cimentación, si los materiales encontrados en las cotas indicadas, no satisfacen a los requerimientos técnicos.

La Fiscalización tiene autoridad para determinar la conveniencia de los materiales encontrados para fundaciones u otros fines y ordenar los cambios necesarios.

Remoción de la capa vegetal. En las áreas de excavaciones a cielo abierto se removerá primeramente la capa vegetal, canto rodado suelto u otros materiales que no convengan para los trabajos, a criterio de la Fiscalización. Este desmonte podrá ser efectuado simultáneamente con el desbroce.

Materiales y equipos. El Contratista podrá utilizar los materiales y equipos que considere conveniente para la realización de este rubro, pero deberá comunicar previamente a la Fiscalización y obtener las aprobaciones respectivas. El Contratista es responsable del almacenamiento, control y registro del material explosivo, mecha, fulminantes y detonadores que vaya a utilizar.

Disposición de material excavado. Todo el material que no sea utilizable o que la Fiscalización determine como inadecuado, será depositado en las áreas designadas en los planos como escombreras o en los sitios que el Contratista considere más conveniente pero con la aprobación de la Fiscalización y para ello el Contratista deberá entregar para aprobación de la Fiscalización un plan para disposición de todo el material de excavación,

antes de la iniciación de los trabajos. El Contratista podrá utilizar el material adecuado que salga de la excavación, hasta donde le sea posible, para construcciones temporales siempre y cuando sea aprobado por la Fiscalización.

- **Excavación sin clasificar.** Se considera a los materiales que se encuentran durante el trabajo, en cualquier tipo de terreno y en cualquier condición de trabajo, es decir, inclusive excavaciones en fango, suelo, marginal y roca.
- **Excavación en roca.** Comprende la excavación en masa de roca, depósitos estratificados y la de todos aquellos materiales que presenten características de roca maciza, cementados tan sólidamente, que requieran métodos de voladura utilizando explosivos o cualquier otro método, aprobado por la Fiscalización.
- **Excavación para plataformas.** Consiste en la excavación de laderas para obtener una superficie horizontal amplia, compuesta por el área de la parte cortada y el relleno de la ladera junto al tramo de corte. La inclinación y acabado del talud será tal que asegure su estabilidad y no haya desprendimiento de rocas sueltas. Las pendientes de los taludes serán aprobados por la Fiscalización.

Excavación en zanjas con profundidad de hasta 3,00 m. Se excavará de acuerdo con las dimensiones establecidas en los planos o lo indique la Fiscalización. Si la zanja se halla en terreno rocoso, se excavará hasta 0,15 m por debajo de la rasante fijada y este volumen será relleno con material compactado, aprobado por la Fiscalización, al igual que todos los huecos producidos por la remoción de rocas. Si el fondo de una zanja fuere removido, aflojado más allá del nivel fijado de la rasante y no se tratare de excavación en roca, el suelo removido o aflojado, será reemplazado con material granular, aprobado por la Fiscalización, a costo del contratista. Si el suelo del fondo de la zanja fuere inadecuado para el objeto de la zanja, este material será reemplazo con material granular en las dimensiones y materiales que sean aprobados por la Fiscalización.

Excavaciones en zanjas con profundidades mayores a 3,00 m. Estas excavaciones se realizarán tomando las precauciones para evitar daños al personal o deslizamientos de las paredes mediante la colocación de entibados apropiados para el efecto.

Excavación para estructuras. La superficie excavada para fundaciones deberá ser firme y estable en los niveles y dimensiones previstos, si la excavación excede a estos niveles y dimensiones, la sobre excavación no será pagada y el Contratista deberá rellenar, a su costo, con hormigón de la misma calidad de aquel que vaya a utilizarse en la fundación o con material selecto y compactado, aprobados por la Fiscalización. Si el material de la

superficie de fundación fuera de mala calidad, deberá ser sustituido por otro material y compactado mediante capas de 0,15 m de espesor con una compactación del 95%. Los costos están contemplados en el precio unitario propuesto.

Relleno de zanjas. El relleno se iniciará colocando suelo fino hasta una altura de 0,30 m por encima del conducto o tubería que contenga la zanja, mediante capas compactadas de 0,10 m de espesor, con pisones de mano y sin causar daño a las tuberías; en caso de producir daño, la reparación correrá por cuenta del contratista. Desde el nivel indicado anteriormente se completará el relleno hasta la altura final con material aprobado por la Fiscalización, en capas horizontales de no más de 0,20 m de espesor compactadas manualmente o por medios mecánicos operados manualmente (rodillos, pisones neumáticos), manteniendo los límites de humedad adecuados. No se permitirá que un relleno parcial se mantenga por mucho tiempo sin completarse ni que queden vacíos en su interior. Cuando estas zanjas tengan entibados, éstos se irán retirando a medida que avanza el relleno. Concluido el relleno, se limpiará todo el material sobrante de los alrededores y restaurar la superficie hasta obtener condiciones iguales a las que había antes de la excavación.

Cuidará de los daños que pudieran producir las lluvias, mediante el empleo de drenajes adecuados.

Relleno para plataformas. En las áreas donde se conformen las plataformas se retirará la capa vegetal y el suelo inapropiado hasta la profundidad que determine la Fiscalización. Cuando la pendiente del terreno sea mayor a 20% se cortará la ladera en escalones de ancho suficiente para que pueda operar el equipo de compactación y se iniciará en la intersección del terreno original con los planos de los escalones. El suelo no deberá tener más de 25% de rocas de diámetro mayor de 0,15 m y se colocará en capas no mayores a 0,30 m de espesor antes de compactarse. La compactación deberá ser tal que alcance el 95% de densidad seca según el ensayo Proctor Standard ASTM D 698 T Método C y para material granular con el ensayo Proctor Standard Modificado. Si se permitiera la utilización de rocas de diámetros mayores a 0,15 m, serán distribuidos en capas de espesor suficiente para contener estas rocas, pero no más de 0,60 m de espesor, medidos antes de compactarse y cubiertos los intersticios con suelo sin roca para obtener una masa compacta y densa.

Rellenos tras muros. El relleno en las áreas adyacentes a las estructuras se realizará hasta obtener una densidad equivalente o mejor a la del suelo circundante usando medios

de compactación manuales o mecánicas operados manualmente. No se permitirá la acción de rodillos vibradores dentro de los 2,00 m adyacentes a las estructuras; en todo caso la Fiscalización podrá aprobar el uso de equipo o maquinaria de compactación. La compactación junto a estructuras de hormigón no deberá comenzar antes de 14 días de colocado el hormigón. Las características del material de relleno serán las indicadas a continuación: deberá ser suelo granular, material rocoso o combinaciones de ambos; libre de material orgánico y escombros; tendrá una granulometría tal que todas las partículas pasen por el tamiz de 100 mm, con abertura cuadrada y no más de 20% pasará el tamiz No. 200 (0,075 mm), de acuerdo al ensayo AASHO-T.11. La parte del material que pase el tamiz No. 40 (0,425 mm) deberá tener un índice de plasticidad no mayor a 9 y límite líquido hasta 35% siempre que el valor del CBR sea mayor al 20%, tal como se determina en el ensayo AASHO-T- 91. El material mayor al especificado deberá ser retirado antes de que se incorpore al material en la obra. La densidad de la capa compactada deberá ser el 95% de la densidad máxima, según AASHO-T- 180, método D. La capa superficial no deberá contener rocas o piedras que pasen por el tamiz de 7,5 cm de abertura.

Enrocado de protección de azudes. En el área adyacente al azud, aguas abajo, se construirá una capa de piedras con diámetros no mayores a 0,50 m, colocadas ordenadamente de tal manera que no se produzcan desplazamiento y sirvan para disipar la energía cinética del agua al salir de la pendiente del azud. Se deberá evitar que el nivel superior de las piedras supere el nivel del diente del azud a la salida del agua. Las características de dureza de las piedras serán las mismas de las indicadas en el numeral anterior.

Sobreacarreo. El transporte de material de excavación se pagará en m³/km, multiplicando el volumen del material en sitio, sin esponjamiento, por la distancia de sobre acarreo, entendiéndose como tal, la distancia entre centro de gravedad del sitio del material de donde va a ser transportado, hasta el centro de gravedad del sitio donde va ser depositado o colocado, menos la distancia de acarreo libre de quinientos metros. El sitio de depósito deberá ser aprobado por la Fiscalización.

Disposición del material de excavación. Será realizada en forma tal que no se produzcan derrumbes en el futuro, no comprometa la seguridad de las obras permanentes en la fase de operación de la central ni ponga en peligro las operaciones de construcción.

Excavaciones a cielo abierto. Previamente se realizará el retiro de la capa vegetal, luego con el empleo de maquinaria adecuada y propia para excavaciones continuará la labor,

tomando cuidado de causar daños a las áreas circundantes, a estructuras o rellenos y terraplenes que estén dentro del área de los trabajos.

Excavaciones en roca. Se utilizarán explosivos o métodos que autorice la Fiscalización si no fuera posible el uso de métodos de voladuras. Deberá evitarse la sobre excavación y preservar la roca situada tras de los límites de excavación. El Contratista deberá entregar por escrito, una información detallada de la metodología y procedimientos del trabajo, para aprobación previa y dicha aprobación no libera al Contratista de la responsabilidad de daños que pudieran causar las voladuras a personas o bienes materiales. Deberá mantener un registro de la cantidad de explosivos, mecha, fulminantes que utilice, e informar mensualmente a la Fiscalización, las cantidades gastadas y los saldos en bodegas. Se sujetará a las disposiciones legales y militares que rigen sobre la materia.

Generalidades. El pago por excavación a cielo abierto se hará sobre la base del precio unitario por metro cúbico de la Tabla de Cantidades y Precios y estarán incluido los costos de mano de obra, equipos, herramientas, materiales, rellenos, obras provisionales, drenaje temporal, transporte, trabajos de acabado de superficies de las zonas de disposición final y todo los gastos que tenga que realizar el Contratista para realizar el rubro de acuerdo con estas especificaciones y a satisfacción de la Fiscalización. Los rubros de pago serán los siguientes:

5.4.4. Hormigón

Alcance de los trabajos. En esta sección se describen las características, requisitos y procesos que habrá de observarse en el aprovisionamiento de todos los materiales y equipo, así como en los encofrados, transporte, preparación, vaciado, acabados, curado y mantenimiento del hormigón en todos los trabajos a ejecutarse con hormigón.

Composición y calidad. El hormigón estará compuesto básicamente de cemento portland, agua y agregados fino y grueso, con la eventual dosificación de puzolanas o aditivos. Las mezclas así conseguidas satisfarán la calidad de hormigón requerida para cada estructura.

Cemento

Generalidades. El cemento será suministrado a granel por el Contratista, excepto aquel cemento necesario para inyecciones, acabados o reparación de fallas, que serán suministrados en sacos.

Cemento. El cemento a utilizarse será portland tipo I, cuyas características cumplirán los requerimientos de la especificación ASTM C 150 o norma equivalente.

Transporte. El transporte del cemento será realizado por el Contratista. El equipo aprobado de transporte garantizará la protección total del material contra la humedad o contaminación, durante las operaciones de carga, transporte y descarga.

Cuando el transporte se realice en sacos, éstos deberán permanecer completamente cerrados y sanos durante toda esta faena. Todo saco que sea descargado roto, abierto, deteriorado o con muestras de humedad será rechazado, a expensas del Contratista.

5.4.5. Muestras y ensayos

1. Muestras para ensayos. Muestras representativas del cemento serán tomadas por la Fiscalización, según las recomendaciones de las normas C183 ó C311 de la ASTM.

Las muestras serán tomadas en el puerto cuando se trate de cemento importado, en los sitios de almacenamiento en caso de cementos nacionales, y en los lugares de almacenamiento en el sitio del Proyecto.

2. **Ensayos.** Los ensayos serán aquellos especificados en las normas C-150 de la ASTM, para cemento. En base a resultados estadísticos que se obtengan y a los certificados de control de calidad del cemento presentado por el fabricante o por el Contratista, la Fiscalización podrá definir:

- Los ensayos a efectuarse con mayor prioridad.
- La frecuencia de ejecución de ciertos ensayos tales como: calor de hidratación, expansión en autoclave, determinación de álcalis, etc.
- La modificación de la frecuencia de toma de muestras individuales o compuestas.

5.4.6. Agregados

Generalidades. Los agregados cumplirán con los requisitos de la especificación ASTM C33. El agregado fino puede consistir de arena natural, o una combinación de arena natural y arena manufacturada, en cuyo caso el contenido de arena natural no será menor al 30% del total del agregado fino. El agregado grueso consistirá de grava natural, grava triturada, cantos rodados triturados o de una combinación de ellos.

El material deberá ser obtenido por el Contratista de las fuentes de abastecimiento por él seleccionadas y aprobadas por la Fiscalización.

Ensayos. Los ensayos cuyos resultados deben someterse para la aprobación de la Fiscalización, incluyen: gravedad específica, absorción, abrasión, estabilidad física y química, análisis petrográfico, reacción alcalina, impurezas orgánicas, contenido de humedad, módulo de finura y aquellos otros ensayos necesarios, descritos en la especificación ASTM C 33.

Calidad. Los agregados deberán tener sus partículas de roca resistente, densa, durables, limpias, libres de elementos indeseables, tales como arcillas, limos o materia orgánica.

Impurezas no deseables. Los siguientes son los porcentajes máximos (en peso de la muestra) permisibles de sustancias no deseables:

a) Agregado fino % del peso

Material que pasa el tamiz No. 200 3,0

Arcillas y partículas desmenuzables 0,5

Hulla o lignito 0,25

Otras sustancias dañinas 2,0

Total máximo permisible 4,0

La especificación ASTM Método C 87 permitirá valorar el efecto de un alto porcentaje de sustancias no deseables. Se rechazará un agregado fino si su resistencia relativa a los 7 días es menor que el 95% de aquella obtenida con un material estándar.

b) Agregado grueso % del peso

Material que pasa el tamiz No. 200 0,5

Arcilla 0,25

Hulla o lignito 0,25

Partículas blandas y livianas 2,0

Otras 1,0

Total máximo permisible 3,0

El agregado grueso será rechazado si además de lo indicado no cumple con las siguientes especificaciones:

- a) Ensayo en la máquina de los Angeles: especificación ASTM C 131, para máximo tamaño de agregado de 1½ pulgada. Si la pérdida, usando la graduación A, excede al 10% al peso, a 100 revoluciones, o 40% al peso a 500 revoluciones.
- b) Ensayo en la máquina de los Angeles: especificación ASTM C 535 para máximo tamaño de agregado de 3". Si la pérdida, usando graduación 1, excede el 35% al peso a 1.000 revoluciones.
- c) Ensayo de resistencia al sulfato de sodio: especificación ASTM C 88. Si la pérdida después de 5 ciclos es mayor que el 10% al peso.
- d) Peso específico: especificación ASTM C 128. Si el peso específico (en estado saturado superficie seca), es menor que 2,60 g/cm³.

5.4.7. Granulometría

- a) Agregado fino. Su curva granulométrica estará dentro de los límites establecidos por la especificación ASTM C 33. El módulo de finura no será menor que 2,4 ni mayor que 3,1, y deberá ser mantenido estable con variaciones máximas de +0,2; caso contrario, será rechazado. El Contratista podrá disponer de dos o más tipos de arena, según se indica a continuación, en stocks separados, para utilizarlas luego en combinaciones que satisfagan estas especificaciones.

Tabla 59. Graduación de tamices

Tamiz #	Graduación 1	Graduación 2	Graduación 3
4	90-100	90-100	90-100
8	60-97	75-100	85-100
16	30-70	55-100	75-100
30	15-34	35-59	60-79
50	5-20	8-30	12-40
100	0-10	0-10	0-10

Fuente: (Empresa Eléctrica Quito S. A.,)

El Contratista podrá combinar estos grupos para obtener la granulometría deseada.

- b) Agregado grueso. Su producción y almacenamiento se efectuará dentro de cuatro grupos granulométricos separados, designados de acuerdo con el tamaño nominal máximo del agregado, y según los siguientes requisitos.

Tabla 60. Porcentaje de retención en tamices

Tamiz	% en peso que pasa el tamiz
1'' (25 mm)	100
3/4'' (19 mm)	90-100
3/8'' (9,5 mm)	20-45
No. 4	0-5

Fuente: (Empresa Eléctrica Quito S. A.,)

La granulometría total la definirá la Fiscalización para cada caso, según los correspondientes diseños de hormigón, pudiendo posteriormente modificar la granulometría si fuere necesario, sin cargo alguno para la Fiscalización.

5.4.8. Aditivos

Generalidades. La utilización de cualquier aditivo deberá ser aprobada por la

Fiscalización. El Contratista presentará para ello, en los 60 días subsiguientes a la firma del Contrato, todos los datos técnicos actualizados del producto propuesto, así como los respectivos certificados del fabricante.

Ningún aditivo se utilizará sin previo ensayo con los materiales que van a utilizarse en la obra. Por esta razón, el Contratista someterá un aditivo a su aprobación, por lo menos con 60 días de anticipación a su uso propuesto.

Acelerantes. Se usarán de acuerdo a la especificación ASTM C 494, añadiéndose a la mezcla en solución, con una parte del agua de la mezcla. No se utilizará acelerantes en base a cloruro de calcio en hormigones en los cuales vayan embebidas tuberías o elementos de acero galvanizado. El uso de aditivo no releva al Contratista de las responsabilidades de curado y protección del hormigón.

5.4.9. Dosificación

Generalidades. La dosificación del hormigón será aprobada por la Fiscalización. El Contratista asume toda la responsabilidad sobre su correcta ejecución. La dosificación podrá ser cambiada cuando fuere conveniente, para mantener la calidad del hormigón requerido en las distintas estructuras o para afrontar las diferentes condiciones que se encuentren durante la construcción, sin recargo ni responsabilidad para la ARCONEL.

Proceso de mezclado. Los ingredientes del hormigón deberán ser mezclados íntegramente en la mezcladora de tipo móvil o estacionario, aprobada por la Fiscalización.

La planta mezcladora deberá asegurar una uniforme distribución de todos los componentes del hormigón al final del período de mezclado.

Para el control de la eficiencia de mezclado, especial atención se pondrá a los ensayos de control de uniformidad del hormigón fresco, según ASTM C 94.

Transporte. Las mezclas preparadas deberán mantener su calidad y uniformidad durante el transporte, evitando la segregación o pérdida de ingredientes.

No se utilizará, por tanto, equipos no agitadores, ni tampoco sistemas de bandas transportadoras largas o canalones abiertos inclinados, que transporten al hormigón en flujo continuo al aire libre, a menos que así lo apruebe la Fiscalización.

Las canaletas para el vaciado del hormigón serán cónicas y no se dejará caer verticalmente al hormigón de alturas mayores de 1,5 m, excepto cuando se utilice un equipo que evite la segregación y sea expresamente autorizado por la Fiscalización.

La utilización de bombas y de cualquier método de manipuleo y colocación del hormigón, será aprobada previa la presentación del programa de trabajo y operación.

Cuando se creyere conveniente, el Contratista y la Fiscalización podrán regirse por las especificaciones ACI 614-59.

El Contratista facilitará la identificación visual, con etiquetas o marcas de color, de los tipos de hormigones que llegan para ser vaciados y mantendrá contacto telefónico o por radio entre el sitio de la obra y las plantas de dosificación y mezclado.

5.4.10. Encofrados

Generalidades. Los encofrados deberán tener suficiente rigidez para mantener su posición y resistir las presiones del vaciado y vibrado del hormigón, y serán lo suficientemente apretados para evitar la pérdida de mortero. Las superficies de contacto con el hormigón, deberán encontrarse limpias, libres de toda sustancia indeseable. Las superficies que luego serán expuestas estarán exentas de bordes agudos y de defectos e imperfecciones.

Los ángulos interiores de superficies y paramentos, no requieren de bordes achaflanados, a menos que se indique en los planos.

Los diseños y construcción de encofrados serán hechos por el Contratista y sometidos a la aprobación de la Fiscalización, junto con todos los detalles de montaje, sujeción, operación

y desmontaje. Las cargas asumidas en el diseño deberán garantizar su comportamiento durante todas las operaciones de hormigonado. Todo encofrado con fallas o alabeado será rechazado y reemplazado, a expensas del Contratista.

Material y acabados. Como material para encofrados se podrá utilizar: madera contrachapada de espesor mínimo 20 mm, media duela machihembrada y cepillada y lámina o plancha metálica con sistemas de sujeción, que luego proporcionen superficies lisas, sin deterioración química y/o decoloración.

De modo general, de acuerdo con las clases de acabado, los tipos de encofrados se ajustarán a los siguientes requerimientos:

- a) Puede utilizarse cualquier tipo de encofrado, sea de madera o metálico.
- b) Con madera de duela machihembrada o con láminas de madera contrachapadas, de buena calidad. En los túneles y pozos del sistema de conducción, que son de hormigón, se utilizará plancha de acero o lámina metálica soportada por marcos metálicos.
- c) No se permite los encofrados metálicos. Serán preparados en madera contrachapada o media duela machihembrada de las mejores calidades.
- d) No se permite el empleo de encofrados metálicos. Serán de madera de buena calidad, libres de fallas o imperfecciones. El uso de otros materiales que produzcan resultados similares, deberá ser aprobado por la Fiscalización.

Sujeción de los encofrados. Los elementos metálicos de sujeción de los encofrados permanecerán embebidos en el hormigón. Excepto en las superficies con acabado, deberán estar a no menos de 2 veces su diámetro, o a 5 cm de la superficie del hormigón.

Mantenimiento y limpieza de los encofrados. Antes de proceder al vaciado del hormigón, las superficies del encofrado deberán estar limpias y libres de incrustaciones de mortero o sustancias extrañas, tales como aserrín, óxidos, ácidos, etc. Seguidamente serán recubiertas con una capa fina de vaselina pura, parafina o algún tipo de aceite comercial que evite la producción de manchas o reacciones adversas del cemento y que, además, faciliten la posterior remoción de los encofrados.

Remoción de encofrados. A fin de facilitar el curado especificado y reparar de inmediato las imperfecciones de las superficies verticales e inclinadas o las superficies alabeadas de transición, deberán ser retirados, tan pronto como sea posible. La remoción de encofrados (deslizantes o no) de los túneles y pozos deberá hacerse cuando la resistencia del

hormigón sea tal que se evite la formación de fisuras, grietas, desconchamientos o ruptura de aristas. Toda imperfección será inmediatamente corregida.

Como regla general, los encofrados podrán ser retirados después de transcurrido, por lo menos, el siguiente tiempo, luego de la colocación del hormigón.

Vigas y losa 10 días

Columnas y paredes 4 días

Muros y elementos verticales 2 días

Túneles 1 día

5.4.11. Tratamiento previo a la colocación (vaciado) del hormigón

Generalidades. Para la colocación de un hormigón, el Contratista solicitará la autorización de la Fiscalización por lo menos con 24 horas de anticipación.

No se permitirá hormigonar, ni que el hormigón complete su fraguado sobre superficies inundadas.

Superficies de fundición. Antes de colorar el hormigón sobre una superficie, ésta deberá estar exenta de rocas o material suelto o meteorizado, agua estancada, lodos, aceite, o residuos indeseables y si es base de fundación, deberá estar cubierta de una capa de re plantillo de hormigón de por lo menos 5 cm de espesor. Previamente la superficie se humedecerá a fin de evitar la absorción del agua de la mezcla del hormigón.

Superficies de las juntas de construcción. Las superficies de hormigón ya fraguadas y endurecidas, sobre o contra las cuales hay que colocar hormigón fresco, se define como juntas de construcción, deberán estar limpias, rugosas y secas, cuando se cubran o junten con hormigón fresco.

No existirán restos de lechada, material suelto, hormigón defectuoso, recubrimientos, arena, compuestos de curado y otros materiales similares. La limpieza y rugosidad se obtendrá con chorros de arena húmeda a presión (7 kg/cm²), lavado total con surtidores de agua-aire y secado de las superficies de las juntas, previo a la colocación del hormigón fresco. También se podrá utilizar el método del chorro de agua a altas presiones, siempre y cuando se demuestre iguales resultados que el del sopleteo con arena húmeda. En

cualquier caso, el método empleado deberá evitar el desgarre de agregado grueso del hormigón.

Si se emplea el equipo de chorro de agua a alta presión, éste tendrá dispositivos de seguridad y de control de presiones incluyendo switches de cierre a la boquilla, que permita cortar la presión si la boquilla es arrojada. Con cualquier método aprobado, el lavado y secado de la superficie se realizará inmediatamente antes de la colocación del hormigón fresco. El secado de la superficie será completo, por medio de chorros de aire.

Como regla general, las juntas de construcción serán localizadas en aquellos sitios en que los esfuerzos de corte o de tensión sean los mínimos, teniendo en cuenta, además, el efecto visual si son hormigones expuestos.

Superficie de control y juntas de contracción y/o expansión. Antes de la colocación del hormigón en el bloque adyacente, las superficies de las juntas de contracción serán limpiadas de los recubrimientos de compuestos de curado u otros materiales adheridos, mediante los mismos métodos descritos para la preparación de las juntas de construcción. Las juntas de contracción transversal y longitudinal serán curadas por aplicación de algún compuesto de curado a base de parafina y deberán haber fraguado, antes de la colocación del hormigón en el bloque adyacente.

5.4.12. Colocación del hormigón

Programa y planos de colocación de hormigón. El Contratista presentará a la Fiscalización con 60 días de anticipación al inicio de la colocación de hormigones, su plan de colocación del hormigón, que incluya el programa calendario, sitio y volúmenes, el equipo y el método que va a utilizar. Los planos de construcción elaborados por el Contratista serán suministrados a la Fiscalización con 30 días de anticipación a la ejecución de la obra y serán basados en el programa de colocación de hormigones aprobado por la Fiscalización.

Si el Contratista considera que el tiempo anticipado de entrega o recepción de planos es insuficiente, de mutuo acuerdo con la Fiscalización, se fijará un tiempo mayor.

Temperatura del hormigón. Durante su colocación, la temperatura del hormigón no deberá ser mayor de 20°C. Si el vaciado se realiza en épocas muy calurosas, o si el cemento utilizado es de alta generación de calor, el Contratista deberá emplear medios efectivos para mantener la temperatura dentro del límite indicado tales como:

Pre enfriamiento de los agregados, agua de mezcla refrigerada, colocación del hormigón durante la noche, etc.

Testigos de hormigón para ensayos. El Contratista deberá extraer testigos de hormigón de 10 pulgadas (25 cm) de diámetro en las fechas y lugares indicados por la Fiscalización, de modo que no interfieran con las operaciones de construcción.

Inmediatamente luego de terminada la perforación, el Contratista rellenará los huecos con hormigón, de acuerdo con las provisiones para reparación de hormigón.

Toda perforación se realizará con barrenos de diamante y saca muestras de barril suministrados por el Contratista.

El Contratista mantendrá un registro exacto de todas las perforaciones, incluyendo descripciones de las condiciones encontradas, tales como: características del hormigón perforado, localización de grietas, juntas y fracturas en los testigos, pérdidas anormales del agua de perforación, etc.

5.4.13. Construcciones de hormigón

Generalidades. Todas las estructuras deberán construirse de acuerdo a las líneas prescritas de gradientes y dimensiones. Donde no esté indicada la localización de las juntas de construcción, se sujetará a la aprobación de la Fiscalización. El Contratista deberá colocar y asegurar a cada estructura, todo material de construcción, metales u otros accesorios embebidos o no, como se indique en los planos y es responsable de la colocación de hormigón en todas las fases del proceso de montaje (hormigón de primera, segunda y tercera fases). La colocación del hormigón de segunda y tercera fases realizará bajo la supervisión del Contratista del montaje de equipos.

Hormigón ciclópeo. Estará constituido por una mezcla de hormigón de cemento Portland de 210 kg/cm² (21 MPa) en el 60% y con piedra de una dimensión máxima de 0,30 m en el 40%. Las características de la piedra deberán cumplir los siguientes requerimientos:

- Dimensión máxima: 0,30 m
- Densidad mínima: 2,30 gr/cm³
- Desgaste Norma INEN 861: menor a 40 (luego de 500 vueltas de la máquina de Los Angeles)
- Pérdida de peso en ensayo INEN 863: menor a 12% (luego de 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio)

Las superficies de las piedras serán limpias, libres de fracturas y no mostrarán signos de meteorización. La colocación será al momento que vibra la masa de hormigón, tratando de que queden totalmente rodeadas de mezcla. La separación entre dos piedras será de 0,10 m como mínimo.

Hormigón para replantillo. Es el que se coloca sobre la línea "A" de excavación y que vaya a servir de soporte de las fundaciones. El diámetro máximo del agregado grueso será de 1" (25 mm) y resistencia mínima a la compresión de 210 kg/cm² (21 MPa).

5.4.14. Juntas de construcción, de dilatación e impermeables

Generalidades

Alcance de los trabajos. Esta sección cubre lo relacionado con las juntas y el suministro e instalación de sellos y relleno de juntas, en las estructuras de hormigón.

Actividades comunes. El Contratista ejecutará las mencionadas juntas de acuerdo a las indicaciones de los planos y/o a la aprobación de la Fiscalización.

El Contratista presentará con una anticipación no menor de 60 días a la adquisición, muestras de los materiales que utilizará en las juntas, con los respectivos informes que garanticen su comportamiento, de acuerdo a normas internacionalmente reconocidas. No se permitirán rellenos con madera de ningún tipo.

Relleno de juntas de contracción y/o expansión, impermeables. Los materiales deberán cumplir con las especificaciones que se indican a continuación, o con especificaciones equivalentes aprobadas por la Fiscalización.

Tabla 61. Material de relleno (sellado).

Material	Requisito
Mezclas para vaciado en caliente	ASTM D 1190
Mezclas para vaciado en frío	Aprobación de la fiscalización
Emulsión asfáltica (pintura bituminosa)	ASTM D41
Revestimiento para adherencia	Emulsión bituminosa (para trabajos de caminos) u otro similar aprobado. Por ejemplo, revestimiento especial de aceite mineral
Relleno preformado tipo bituminoso para juntas de dilatación	ASTM D 994, ASTM D 1751
Relleno de juntas con planchas prensadas de corcheo granulado	Aprobación de la fiscalización
Pintura de resina de vinyl	Solución clara aprobada por la fiscalización

Fuente: (Empresa Eléctrica Quito S. A.,)

Bandas de impermeabilización. Serán de resina de cloruro extruido plastificado al polivinyl, marca Sika, tipo V-15 y 0-22, o similar.

Procedimientos

Preparación de la junta. Antes de proceder al relleno de la junta ésta deberá estar limpia y exenta de todo residuo, o material extraño al hormigón. El relleno se efectuará lo más pronto posible, después del tiempo de fraguado del hormigón adyacente.

Aplicación de la mezcla, vaciada en caliente. Una vez limpia la junta se aplicará una capa delgada y uniforme de pintura bituminosa por medio de cepillos. El material de mezcla será calentado hasta la temperatura especificada por el fabricante y ésta será mantenida (con termostato) durante las operaciones y vaciado. No se empleará calor directo. Todo material excedente será retirado.

Aplicación de la mezcla, vaciada en frío. El líquido y el polvo se guardarán en sus respectivos recipientes, hasta inmediatamente antes de su uso. El compuesto será mezclado y aplicado según las instrucciones del fabricante.

5.5. Presupuesto.

El presupuesto ha sido realizado en base a los planos del capítulo V, subcapítulo 4; de los cuales se consideró únicamente los rubros principales como son excavaciones, hormigones, acero de refuerzo, etc.

El presupuesto estimado se ha calculado con los precios unitarios actualizados en el mercado ecuatoriano y con volúmenes de obra obtenidos mediante los planos mostrados anteriormente.

Tabla 62. Presupuesto obra civil vertedero tipo tecla de piano

PROYECTO: VERTEDERO TIPO TECLA DE PIANO PARA LA CAPTACIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PILATÓN-SANTA ANA, PROVINCIA DE PICHINCHA.
PROPONENTE : MARCELO BARROS BARBOSA
PROPIETARIO : ARCONEL

DESCRIPCIÓN DE RUBROS PRINCIPALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
		TECLA DE PIANO	TECLA DE PIANO	TECLA DE PIANO
REPLANTEO Y NIVELACION DE VERTEDERO	m ²	990,00	1,88	1.861,20
DESBROCE Y LIMPIEZA	m ²	990,00	1,70	1.683,00
EXCAVACION SIN CLASIFICAR	m ³	2.970,00	2,33	6.920,10
EXCAVACION EN ROCA	m ³	1.980,00	61,76	122.284,80
EXCAVACION A MAQUINA EN FANGO	m ³	1.980,00	13,44	26.611,20
MEJORAMIENTO DE SUELOS	m ³	3.960,00	14,13	55.954,80
RELLENO COMPACTADO GRAVA (EQUIPO PESADO)	m ³	950,00	11,44	10.868,00
REPLANTILLO HORMIGON SIMPLE F´C=210 KG/CM2	m ³	297,00	196,14	58.253,58
HORMIGON SIMPLE F´C=350KG/CM2	m ³	1.165,00	231,24	269.394,60
ACERO REFUERZO FY=4200 KG/CM2 (SUMINISTRO, CORTE Y COLOCADO)	Kg	238.000,00	2,24	533.120,00
JUNTAS IMPERMEABLES DE PVC 18 CM	m	60,00	18,85	1.131,00

ENCOFRADO/DESENCOFRADO METALICO RECTO	m ²	567,00	31,58	17.905,86
ACARREO MECANICO HASTA 1Km (carga,transporte,volteo)	m ³ / Km	6.930,00	1,94	13.444,20
SOBREACARREO (transporte/medios mecanicos)(SE PAGARA EN m3/Km)	m ³ / Km	69.300,00	0,34	23.562,00
TOTAL SIN IVA				1.142.994,34
IVA (%)				12,00
TOTAL CON IVA				1.280.153,66

Fuente: Elaboración propia

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Para realizar el diseño del vertedero tipo tecla de piano para la central hidroeléctrica Pilatón-Santa Ana, una gran herramienta al alcance de todos es el método matemático, ya que para trabajar con el mismo la información requerida es de fácil acceso y los datos necesarios son mínimos; adicionalmente, este método no implica gastos económicos al momento de diseñar y reduce el costo final del proyecto.
- En esta disertación se usó varios parámetros de diseño como son: los principios fundamentales acerca de vertederos, medición de caudales, coeficientes de descarga, formas y dimensiones de los vertederos y una altura aproximada del flujo respecto a la cresta del vertedero; mediante los cuales se obtuvo el Prediseño y diseño definitivo del vertedero según las condiciones del proyecto.
- Uno de los parámetros más importantes que se debe tener en cuenta al momento de realizar el diseño del vertedero tipo tecla de piano para la central hidroeléctrica Pilatón-Santa Ana es la relación cresta-longitud, puesto que este tipo de vertederos amplifica la longitud incrementando el volumen de aforo del vertedero a ser usado.
- El calado depende del ancho de cada ciclo, ya que al incrementar o disminuir las dimensiones de éste, varía notablemente el ingreso del caudal desalojado por el vertedero, por lo que se concluye que la relación entre las formas verticales y horizontales del vertedero es un parámetro clave para el diseño del mismo.
- Al momento de tener una crecida catastrófica del caudal del río Pilatón, el vertedero tipo tecla de piano puede tener un comportamiento no deseado, realizando un cruce de los flujos laterales lo cual disminuye la eficiencia del mismo.
- Para el diseño y construcción del vertedero tipo tecla de piano para la central hidroeléctrica Pilatón-Santa Ana no existe un diseño único en la parte hidráulica, debido a que el diseño escogido estará en función de las restricciones del lugar, monto de la inversión, materiales a utilizarse, lugar de implantación del vertedero, topografía del lugar, geología del lugar, tipo de río y del sistema de disipación de energía aguas abajo del vertedero.
- El vertedero tipo tecla de piano constituye una solución técnica óptima cuando se pretende obtener una mayor capacidad de aforo o de descarga hidráulica de presas nuevas y también de presas ya existentes.
- De acuerdo a las comparaciones entre los vertederos tipo tecla de piano y perfil Creager, se puede concluir que el diseño óptimo a usarse es el vertedero tipo tecla

de piano debido a las diferencias existentes entre los mismos, como son: menor costo, máximo aprovechamiento del lugar de implantación, mayor capacidad de aforo y descarga hidráulica, entre otros.

6.2. Recomendaciones

- Para el diseño del vertedero tipo tecla de piano para la central hidroeléctrica Pilatón-Santa Ana se recomienda mantener un coeficiente de descarga de 2 según Sotelo, ya que según la literatura hidráulica, este coeficiente es el más adecuado para obtener resultados óptimos.
- Se recomienda que al diseñar el vertedero tipo tecla de piano para la central hidroeléctrica Pilatón-Santa Ana, éste sea ubicado en secciones del río uniformes y de alineamiento recto aguas arriba, en una longitud mayor de $20H$.
- Para un futuro diseño o análisis de vertederos tipo tecla de piano, se recomienda emplear un paquete computacional disponible, con el fin de obtener una mayor cantidad de datos que permita comparar los resultados obtenidos con la modelación matemática realizada en este trabajo.
- Se recomienda tener una correcta fabricación del hormigón siguiendo todos los procesos definidos en las especificaciones técnicas, para de esta manera obtener un hormigón que cumpla con la dosificación de diseño.
- Para evitar una erosión excesiva en la cresta del vertedero tipo tecla de piano, los materiales a usarse deben cumplir con estándares de alta calidad y mantener un óptimo proceso constructivo y una adecuada fiscalización.
- Una vez construido el vertedero tipo tecla de piano para la central hidroeléctrica Pilatón-Santa Ana, se recomienda la instalación de piezómetros en la rápida de descarga, con el objetivo de obtener resultados reales que describan el comportamiento del flujo sobre la estructura.

BIBLIOGRAFÍA

- ARQHYS. (diciembre de 2012). *Vertederos hidraulicos*. Obtenido de Arqhys arquitectura: <http://www.arqhys.com/construccion/vertederos-hidraulicos.html>
- Blanc, P., & Lempérière, F. (2001). *Labyrinth spillways have a promising future*. International Journal on Hydropower and Dams.
- Buchanan, P. (2017). *Vic – loombah dam – spillway upgrade utilising a piano key weir in a confined site*. Obtenido de ANCOLD: <https://www.ancold.org.au/?p=2958>
- Castro, A. (2006). *Minicentrales Hidroeléctricas*. Madrid.
- CONELEC. (marzo de 2013). Estudios de inventario de diez proyectos hidroeléctricos de mediana capacidad. *Aprovechamiento hidroeléctrico Pilatón Santa Ana*. Quito, Pichincha, Ecuador: ASTEC.
- Cordero, M. D., & Granell Ninot, C. (2005). *Mejora de la capacidad de desagüe de presas existentes mediante aliviaderos en laberinto*. Obtenido de Comité nacional español de grandes presas: http://www.spancold.es/Ponencias/JEPVIII_021.pdf
- Empresa Eléctrica Quito S. A.,. (s.f.). Licitación N° 02 obras civiles. *Proyecto hidroeléctrico Quijos*. Quito, Ecuador.
- Epicum, S; Laugier, F.; Boillat, J.; Piroton, M.; Reverchon, B.; Schleiss, A. J. (2011). *Labyrith and piano keys weirs - PKW*. New York: CRC Press.
- Falvey, H. (2003). *Hydraulic design of labyrinth weirs*. USA: American Society of Civil Engineers.
- Fernández Díez, P. (2002). *Turbinas hidráulicas*. España: Universidad de Cantabria.
- Flores Ortiz, R. (2013). *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. Tagus.
- GILKES Hydropower systems. (2010). Manual. *An introduction to Gilkes*. Reino Unido.
- Granell Ninot, C., & Toledo Municio, M. A. (23 de noviembre de 2010). Los aliviaderos tipo laberinto. Un nuevo enfoque para su cálculo hidráulico. *II International Congress on Dam Maintenance & Rehabilitation*. Zaragoza, España.
- INEC. (2010). Censo de población y vivienda. Ecuador.

Kochin, S. (1978). *Diseño hidráulico*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Machiels, O., Erpicum, S., Archambeau, P., Dewals, B. J., & Piroton, M. (2015). *Method for the preliminary design of Piano Key Weirs*. Obtenido de [https://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/134341/2/Method%20for%20the%20preliminary%20design%20of%20Piano%20Key%20Weirs%20\(Technical%20note\)%20-%20revised%20version.pdf](https://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/134341/2/Method%20for%20the%20preliminary%20design%20of%20Piano%20Key%20Weirs%20(Technical%20note)%20-%20revised%20version.pdf)

Salas, R. (31 de enero de 2016). *Vertederos de ciamicio*. Obtenido de DocSlide: <http://documents.tips/documents/vertederos-de-cimacio.html>

Sassen, J. (2009). *Plantas Hidráulicas de pequeña escala*. Alemania: Ossberger.

Suárez, M. C. (2015). *Diseño hidráulico de vertederos*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/105255525/DISENO-HIDRAULICO-DE-VERTEDEROS>

Udall, S., & Dominy, F. (1972). *Diseño de presas pequeñas*. Barcelona: Continental S.A.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de precios unitarios del proyecto Vertedero tipo tecla de piano para la central hidroeléctrica Pilatón – Santa Ana.

PROYECTO: VERTEDERO TIPO TECLA DE PIANO PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PILATÓN - SANTA ANA

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA : 1 DE 14

CAPITULO : GENERALES

RUBRO : REPLANTEO Y NIVELACION DE VERTEDERO

UNIDAD : M2

DESCRIPCIÓN :

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR	2,00	0,01	0,02	0,06667	0,00
EQUIPO DE TOPOGRAFIA	1,00	2,00	2,00	0,06667	0,13
SUBTOTAL M					0,13

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
E.O.C1. TOPOGRAFO 2 TITULO EXPER. MAYOR A 5 AÑOS	1,00	3,82	3,82	0,06667	0,25
E.O.D2. CADENERO	2,00	3,45	6,90	0,06667	0,46
E.O.E2. PEÓN	2,00	3,41	6,82	0,06667	0,45
SUBTOTAL N					1,16

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
CLAVOS	KG	0,05	2,20	0,11
ESTACAS	U	0,50	0,10	0,05
TIRA DE EUCALIPTO 2,5X2 CM	M	0,40	0,13	0,05
SUBTOTAL O				0,21

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				0

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	1,50
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25.00%	0,38
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	1,88
VALOR OFERTADO	1,88

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

MARCELO BARROS BARBOSA
FIRMA RESPONSABLE

LUGAR Y FECHA
PICHINCHA, 04/09/2017

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA : 2 DE 14

CAPITULO : GENERALES

RUBRO : DESBROCE Y LIMPIEZA

UNIDAD : M2

DESCRIPCIÓN :

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR	2,00	0,01	0,02	0,2	0,00
SUBTOTAL M					0,00

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
E.O.E2. PEÓN	2,00	3,41	6,82	0,2	1,36
SUBTOTAL N					1,36

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL O				0

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				0

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	1,36
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25.00%	0,34
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	1,70
VALOR OFERTADO	1,70

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

MARCELO BARROS BARBOSA
FIRMA RESPONSABLE

LUGAR Y FECHA
PICHINCHA, 04/09/2017

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA : 3
DE 14

CAPITULO : GENERALES

RUBRO : EXCAVACION SIN CLASIFICAR

UNIDAD
: M3

DESCRIPCION :

EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO	R	COSTO D=C*R
VOLQUETA 8 M3	1,00	26,19	26,19		0,025	0,65
EXCAVADORA SOBRE ORUGAS 250HP	1,00	35,00	35,00		0,025	0,88
SUBTOTAL M						1,53

MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO	R	COSTO D=C*R
E.O.C1. OPERADOR EQUIPO PESADO (GRUPO I)	1,00	3,82	3,82		0,025	0,10
E.O.D2. ENGRASADOR O ABASTECEDOR RESPONSABLE	1,00	3,45	3,45		0,025	0,09
E.O.C1. CHOFER VOLQUETAS	1,00	5,00	5,00		0,025	0,13
SUBTOTAL N						0,32

MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT.	B	COSTO C=A*B
AGUA	M3	0,02		0,66	0,01
SUBTOTAL O					0,01

TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA	B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P					0

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	1,86
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25.00%	0,47
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	2,33
VALOR OFERTADO	2,33

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

MARCELO BARROS BARBOSA
FIRMA RESPONSABLE

LUGAR Y FECHA
PICHINCHA, 04/09/2017

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA : 4
DE 14

CAPITULO : GENERALES

RUBRO : EXCAVACION EN ROCA

UNIDAD :
M3

DESCRIPCION :

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR	3,00	0,01	0,03	0,03333	0,00
MARTILLO NEUMATICO	2,00	25,00	50,00	0,03333	1,67
TRACTOR DE ORUGAS CON RIPPER	1,00	42,53	42,53	0,03333	1,42
COMPRESOR DE AIRE 252 PCM	2,00	6,49	12,98	0,03333	0,43
SUBTOTAL M					3,52

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
E.O.C1. OPERADOR EQUIPO PESADO(GRUPO I)	2,00	3,82	7,64	0,03333	0,25
E.O.C1. OPERADOR EQUIPO PESADO (GRUPO II)	3,00	3,64	10,92	0,03333	0,36
E.O.D2. ENGRASADOR O ABASTECEDOR RESPONSABLE	3,00	3,45	10,35	0,03333	0,34
E.O.B3. INSPECTOR DE OBRA	1,00	3,83	3,83	0,03333	0,13
E.O.E2. PEÓN	3,00	3,41	10,23	0,03333	0,34
SUBTOTAL N					1,42

MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
CORDÓN DETONANTE 5 GR.	500 M	0,30	145,60	43,68	
EXPLOGEL 1 1 PLG X 8 DINAMITAS	KG	0,10	4,00	0,40	
NITRATO DE AMONIO (ANFO)	KG	0,35	1,00	0,35	
DETONADORES	U	0,04	1,00	0,04	
SUBTOTAL O				44,47	

TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P				0	

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	49,41
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25.00%	12,35
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	61,76
VALOR OFERTADO	61,76

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

MARCELO BARROS BARBOSA
FIRMA RESPONSABLE

LUGAR Y FECHA
PICHINCHA, 04/09/2017

PROYECTO: VERTEDERO TIPO TECLA DE PIANO PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PILATÓN - SANTA ANA
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA : 5
 DE 14

CAPITULO : GENERALES

RUBRO : EXCAVACION A MAQUINA EN FANGO
 DESCRIPCIÓN :

UNIDAD :
 M3

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
RETROEXCAVADORA	1,00	25,00	25,00	0,33333	8,33
SUBTOTAL M					8,33

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
E.O.C1 (GRUPO I) OPERADOR RETROEXCAVADORA	1,00	3,82	3,82	0,33333	1,27
E.O.D2. ENGRASADOR O ABASTECEDOR RESPONSABLE	1,00	3,45	3,45	0,33333	1,15
SUBTOTAL N					2,42

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL O				0

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				0

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	10,75
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25.00%	2,69
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	13,44
VALOR OFERTADO	13,44

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

 MARCELO BARROS BARBOSA
 FIRMA RESPONSABLE

LUGAR Y FECHA
 PICHINCHA, 04/09/2017

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA : 6 DE
14

CAPÍTULO : GENERALES
RUBRO : MEJORAMIENTO DE SUELOS
DESCRIPCIÓN :

UNIDAD : M3

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR	3,00	0,01	0,03	0,06667	0,00
RETROEXCAVADORA	1,00	25,00	25,00	0,06667	1,67
MOTONIVELADORA	1,00	25,00	25,00	0,06667	1,67
RODILLO COMPACTADOR 12 TON.	1,00	8,16	8,16	0,06667	0,54
TANQUERO	1,00	14,00	14,00	0,06667	0,93
SUBTOTAL M					4,81

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
E.O.C1. OPERADOR EQUIPO PESADO(GRUPO I)	3,00	3,82	11,46	0,06667	0,76
E.O.D2. ENGRASADOR O ABASTECEDOR RESPONSABLE	3,00	3,45	10,35	0,06667	0,69
E.O.B3. INSPECTOR DE OBRA	1,00	3,83	3,83	0,06667	0,26
E.O.E2. PEÓN	3,00	3,41	10,23	0,06667	0,68
CHOFER TANQUERO	1,00	5,00	5,00	0,06667	0,33
SUBTOTAL N					2,72

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
LASTRE	M3	1,30	2,90	3,77
SUBTOTAL O				3,77

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				0

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	11,30
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25.00%	2,83
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	14,13
VALOR OFERTADO	14,13

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

MARCELO BARROS BARBOSA
FIRMA RESPONSABLE

LUGAR Y FECHA
PICHINCHA, 04/09/2017

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA : 7 DE 14

CAPITULO : GENERALES

RUBRO : RELLENO COMPACTADO GRAVA (EQUIPO PESADO)

UNIDAD : M3

DESCRIPCIÓN :

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR	3,00	0,01	0,03	0,06667	0,00
RETROEXCAVADORA	1,00	25,00	25,00	0,06667	1,67
RODILLO COMPACTADOR 12 TON.	1,00	8,16	8,16	0,06667	0,54
TANQUERO	1,00	14,00	14,00	0,06667	0,93
SUBTOTAL M					3,14

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
CHOFER TANQUERO	1,00	5,00	5,00	0,06667	0,33
E.O.C1. OPERADOR EQUIPO PESADO(GRUPO I)	2,00	3,82	7,64	0,06667	0,51
E.O.D2. ENGRASADOR O ABASTECEDOR RESPONSABLE	2,00	3,45	6,90	0,06667	0,46
E.O.B3. INSPECTOR DE OBRA	1,00	3,83	3,83	0,06667	0,26
E.O.E2. PEÓN	3,00	3,41	10,23	0,06667	0,68
SUBTOTAL N					2,24

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
LASTRE	M3	1,30	2,90	3,77
SUBTOTAL O				3,77

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				0

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	9,15
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25.00%	2,29
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	11,44
VALOR OFERTADO	11,44

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

MARCELO BARROS BARBOSA
FIRMA RESPONSABLE

LUGAR Y FECHA
PICHINCHA, 04/09/2017

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA : 8 DE 14

CAPITULO : GENERALES

RUBRO : REPLANTILLO HORMIGON SIMPLE F'C=210 KG/CM2

UNIDAD : M3

DESCRIPCIÓN :

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR	12,00	0,01	0,12	1	0,12
CONCRETERA	1,00	2,00	2,00	1	2,00
VIBRADOR	1,00	2,00	2,00	1	2,00
SUBTOTAL M					4,12

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
E. O.C1. MAESTRO MAYOR	1,00	3,82	3,82	1	3,82
E. O.D2 ALBAÑIL	4,00	3,45	13,80	1	13,80
E.O.E2. PEÓN	12,00	3,41	40,92	1	40,92
SUBTOTAL N					58,54

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
RIPIO	M3	0,95	13,00	12,35
AGUA	M3	0,22	0,66	0,15
CEMENTO	KG	360,00	0,20	72,00
ARENA	M3	0,65	15,00	9,75
SUBTOTAL O				94,25

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				0

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	156,91
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25.00%	39,23
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	196,14
VALOR OFERTADO	196,14

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN VA.

MARCELO BARROS BARBOSA
FIRMA RESPONSABLE

LUGAR Y FECHA
PICHINCHA, 04/09/2017

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA : 9 DE 14

CAPITULO : GENERALES

RUBRO : HORMIGON SIMPLE F' C=350KG/CM2

UNIDAD : M3

DESCRIPCIÓN :

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR	12,00	0,01	0,12	1	0,12
CONCRETERA 1 SACO	1,00	2,10	2,10	1	2,10
VIBRADOR	1,00	2,00	2,00	1	2,00
SUBTOTAL M					4,22

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
E.O.D2 ALBAÑIL	4,00	3,45	13,80	1	13,80
E.O.E2. PEÓN	12,00	3,41	40,92	1	40,92
E. O.C1. MAESTRO MAYOR	1,00	3,82	3,82	1	3,82
SUBTOTAL N					58,54

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
CEMENTO	KG	500,00	0,20	100,00
ARENA	M3	0,65	15,00	9,75
RIPIO	M3	0,95	13,00	12,35
AGUA	M3	0,19	0,66	0,13
SUBTOTAL O				122,23

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				0

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	184,99
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25.00%	46,25
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	231,24
VALOR OFERTADO	231,24

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

MARCELO BARROS BARBOSA
FIRMA RESPONSABLE

LUGAR Y FECHA
PICHINCHA, 04/09/2017

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA : 10 DE 14

CAPITULO : GENERALES

RUBRO : ACERO REFUERZO FY=4200 KG/CM2 (SUMINISTRO, CORTE Y COLOCADO)

UNIDAD : KG

DESCRIPCIÓN :

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
CIZALLA	4,00	1,00	4,00	0,025	0,10
HERRAMIENTA MENOR	5,00	0,01	0,05	0,025	0,00
SUBTOTAL M					0,10

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
E.O.D2 FIERRERO	2,00	3,45	6,90	0,025	0,17
E.O.E2. PEÓN	5,00	3,41	17,05	0,025	0,43
SUBTOTAL N					0,60

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
ALAMBRE DE AMARRE #18	KG	0,04	2,20	0,09
ACERO DE REFUERZO FC=4200KG/CM2	KG	1,05	0,95	1,00
SUBTOTAL O				1,09

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				0

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	1,79
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25.00%	0,45
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	2,24
VALOR OFERTADO	2,24

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

MARCELO BARROS BARBOSA
FIRMA RESPONSABLE

LUGAR Y FECHA
PICHINCHA, 04/09/2017

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA : 11 DE 14

CAPITULO : GENERALES

RUBRO : JUNTAS IMPERMEABLES DE PVC 18 CM

UNIDAD : M

DESCRIPCIÓN :

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR	2,00	0,01	0,02	0,125	0,00
SUBTOTAL M					0,00

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
E.O.D2 ALBAÑIL	1,00	3,45	3,45	0,125	0,43
E.O.E2. PEÓN	2,00	3,41	6,82	0,125	0,85
SUBTOTAL N					1,28

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
BANDAS DE PVC DE 18MM	M	1,15	12,00	13,80
SUBTOTAL O				13,80

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				0

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	15,08
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25.00%	3,77
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	18,85
VALOR OFERTADO	18,85

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

MARCELO BARROS BARBOSA
FIRMA RESPONSABLE

LUGAR Y FECHA
PICHINCHA, 04/09/2017

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA : 12 DE 14

CAPITULO : GENERALES

RUBRO : ENCOFRADO/DESENCOFRADO METALICO RECTO

UNIDAD : M2

DESCRIPCIÓN :

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
HERRAMIENTA MENOR	4,00	0,01	0,04	0,25	0,01
SUBTOTAL M					0,01

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
E. O.C1. MAESTRO MAYOR	1,00	3,82	3,82	0,25	0,96
E.O.D2 ALBAÑIL	2,00	3,45	6,90	0,25	1,73
E.O.E2. PEÓN	4,00	3,41	13,64	0,25	3,41
SUBTOTAL N					6,10

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
ALAMBRE DE AMARRE #18	KG	0,10	2,20	0,22
ENCOFRADO METALICO	M2	1,00	15,00	15,00
PINGOS	M	2,40	1,50	3,60
CLAVOS	KG	0,10	2,20	0,22
ACEITE QUEMADO	GALON	0,24	0,44	0,11
SUBTOTAL O				19,15

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				0

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	25,26
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25.00%	6,32
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	31,58
VALOR OFERTADO	31,58

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

MARCELO BARROS BARBOSA
FIRMA RESPONSABLE

LUGAR Y FECHA
PICHINCHA, 04/09/2017

PROYECTO: VERTEDERO TIPO TECLA DE PIANO PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PILATÓN - SANTA ANA
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA : 13 DE 14

CAPITULO : GENERALES

UNIDAD : M3 /
KM

RUBRO : ACARREO MECANICO HASTA 1Km (carga, transporte, volteo)

DESCRIPCION :

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
VOLQUETA 8 M3	1,00	17,00	17,00	0,025	0,43
CARGADORA FRONTAL	1,00	25,00	25,00	0,025	0,63
SUBTOTAL M					1,06

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
E.O.C1 (GRUPO I) OPERADOR RETROEXCAVADORA	1,00	3,82	3,82	0,025	0,10
E. O. C1. CHOFER VOLQUETAS	1,00	5,00	5,00	0,025	0,13
E.O.D2. ENGRASADOR O ABASTECEDOR RESPONSABLE	1,00	3,45	3,45	0,025	0,09
E.O.E2. PEÓN	2,00	3,41	6,82	0,025	0,17
SUBTOTAL N					0,49

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL O				0

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				0

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	1,55
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25.00%	0,39
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	1,94
VALOR OFERTADO	1,94

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

 MARCELO BARROS BARBOSA
 FIRMA RESPONSABLE

LUGAR Y FECHA
 PICHINCHA, 04/09/2017

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

HOJA : 14 DE 14

CAPITULO : GENERALES

RUBRO : SOBRECARRERO (transporte/medios mecanicos)(SE PAGARA EN m3/Km)

UNIDAD : M3/KM

DESCRIPCIÓN :

EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
VOLQUETA 8 M3	1,00	17,00	17,00	0,01	0,17
SUBTOTAL M					0,17

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
E. O. C1. CHOFER VOLQUETAS	2,00	5,00	10,00	0,01	0,10
SUBTOTAL N					0,10

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL O				0

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
SUBTOTAL P				0

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	0,27
INDIRECTOS Y UTILIDADES 25.00%	0,07
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	0,34
VALOR OFERTADO	0,34

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

MARCELO BARROS BARBOSA
FIRMA RESPONSABLE

LUGAR Y FECHA
PICHINCHA, 04/09/2017