

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**Diseño hidráulico de las obras de alivio para la presa Huangacocha
en el distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión,
departamento La Libertad**

Línea de investigación: Ingeniería Civil

Sub Línea de investigación: Hidráulica

Autores:

Martinez Llempen, Marco Antonio

Veliz Rodriguez, Bily Jesus

Jurado evaluador:

Presidente: Cabanillas Quiroz, Guillermo Juan

Secretario: Vertiz Malabrigo, Manuel Alberto

Vocal: Galicia Guarniz, William Conrad

Asesor:

García Rivera, Juan Pablo

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3498-7934>

TRUJILLO – PERÚ
2023

Fecha de sustentación: 2023/12/19

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**Diseño hidráulico de las obras de alivio para la presa Huangacocha
en el distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión,
departamento La Libertad**

Línea de investigación: Ingeniería Civil

Sub Línea de investigación: Hidráulica

Autores:

Martinez Llempen, Marco Antonio

Veliz Rodriguez, Bily Jesus

Jurado evaluador:

Presidente: Cabanillas Quiroz, Guillermo Juan

Secretario: Vertiz Malabrigo, Manuel Alberto

Vocal: Galicia Guarniz, William Conrad

Asesor:

García Rivera, Juan Pablo

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3498-7934>

TRUJILLO – PERÚ
2023

Fecha de sustentación: 2023/12/19

Diseño hidráulico de las obras de alivio para la presa Huangacocha en el distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, departamento La Libertad

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PREMIADAS

1	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	4%
3	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
5	ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet	2%



Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 2%

Excluir bibliografía

Activo

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Juan Pablo García Rivera, docente del Programa de Estudio de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada "Diseño hidráulico de las obras de alivio para la presa Huangacocha en el distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, departamento La Libertad.", de los autores Marco Antonio Martínez Liempén y Bily Jesús Velíz Rodríguez, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 14%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 13 de diciembre del 2023.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis "Diseño hidráulico de las obras de alivio para la presa Huangacocha en el distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, departamento La Libertad", y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Trujillo, 13 de diciembre del 2023



Martínez Liempén, Marco Antonio
DNI: 73352294



Velíz Rodríguez, Bily Jesús
DNI: 70311413



García Rivera, Juan Pablo
DNI: 18216844
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3493-7934>

DEDICATORIA

A mi familia que han sabido formarme con buenos hábitos y valores, por darme la fortaleza de seguir adelante.

Especialmente a mis abuelos, por ser mi mayor motivación para nunca rendirme.

Bach. Martinez Llempen, Marco Antonio

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación primordialmente a nuestro creador DIOS, quien nos permite estar bien de salud y haberme guiado por un buen camino, a mi familia por ser el soporte de mi vida quienes son mis elementos estructurales que no permiten derrumbarme a pesar de los problemas. A mis compañeros que con cada experiencia vivida aprendemos a diferenciar entre lo bueno y lo malo.

Bach. Veliz Rodriguez, Bily Jesus

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios quien me ha dado la fortaleza de seguir adelante.

A mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios y a todas las personas que de una y otra forma me han apoyado para la realización de este trabajo.

Bach. Martinez Llampen, Marco Antonio

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS y a mi familia que me apoyaron a pesar de las adversidades y supieron sacarme adelante con valores.

A mis docentes que con su paciencia y comprensión respondían ante cualquier duda de cada uno de sus alumnos.

Finalmente, quiero agradecer a mis buenos amigos que estuvieron en las buenas y en las malas en mis 5 años de carrera universitaria.

Bach. Veliz Rodriguez, Bily Jesus

RESUMEN

La presente tesis se desarrolló en la laguna Huangacocha, tiene como objetivo realizar el diseño hidráulico de las obras de alivio para la presa Huangacocha ubicado en el distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, departamento La Libertad. Posteriormente se realizó el levantamiento topográfico del área de influencia del proyecto con dron.

Del estudio hidrológico realizamos la delimitación de la cuenca de la laguna Huangacocha con la aplicación de software GIS y el software Hec- Hms, obteniendo como resultados los siguientes parámetros: Área 11.36 km², Perímetro 18.69 km, Índice de compacidad (K) 1.55, Longitud máx. recorrido (Lc) 8.5 km, Factor de forma 0.157, Pendiente de la cuenca (S): 8.74%, Pendiente de la red hídrica: 1.01%, Tiempo de concentración 2.256 hrs, Coeficiente orográfico (Co): 1.51, Altura media: 4137.29 m, Densidad de drenaje (D): 1.51 km.

Para el modelamiento hidrológico se obtuvo resultados para los periodos de retorno de (500,1000,10000) años con el programa Hec-Hms.

Se diseñó el vertedero tipo creager, el estanque amortiguador, la transición, la rápida y por último el estanque amortiguador de la rápida.

El modelo hidráulico generado en el software Hec-Ras ratifica el correcto funcionamiento del aliviadero diseñado (Tirantes y Velocidades).

Se recomienda Implementar dispositivos para controlar la elevación del agua, como compuertas o válvulas de regulación, para garantizar una gestión precisa del flujo.

Palabras clave: Presa, vertedero, obras de alivio, modelamiento hidráulico, estanque amortiguador.

ABSTRACT

The present thesis was developed in the Huangacocha lagoon, its objective is to carry out the hydraulic design of the relief works for the Huangacocha dam located in the district of Huamachuco, Sánchez Carrión province, La Libertad department. Subsequently, a topographic survey of the area of influence of the project was carried out with a drone.

From the hydrological study we carried out the delimitation of the Huangacocha lagoon basin with the application of GIS software and the Hec-Hms software, obtaining the following parameters as results: Area 11.36 km², Perimeter 18.69 km, Compactness index (K) 1.55, Length max. distance (Lc) 8.5 km, Form factor 0.157, Basin slope (S): 8.74%, Water network slope: 1.01%, Time of concentration 2.256 hrs, Orographic coefficient (Co): 1.51, Average height: 4137.29 m, Drainage density (D): 1.51 km.

For hydrological modeling, results were obtained for return periods of (500,1000,10000) years with the Hec-Hms program.

The creager weir, the buffer pond, the transition, the rapid and finally the rapid buffer pond were designed.

The hydraulic model generated in the Hec-Ras software confirms the correct functioning of the designed spillway (Ties and Speeds).

It is recommended to implement devices to control water elevation, such as gates or regulation valves, to ensure precise flow management.

Keywords: Dam, weir, relief works, hydraulic modeling, buffer pond.

PRESENTACION

Señores miembros del jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el reglamento de Grados y títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el reglamento interno de la Escuela profesional de Ing. Civil, ponemos a vuestra disposición el presente trabajo de suficiencia profesional titulado: DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS OBRAS DE ALIVIO PARA LA PRESA HUANGACocha EN EL DISTRITO DE HUAMACHUCO, PROVINCIA SÁNCHEZ CARRIÓN, DEPARTAMENTO LA LIBERTAD.

Para obtener el título profesional de ingeniero civil, así como algunas experiencias para el desarrollo de la ingeniería.

Consideramos señores miembros del jurado que con vuestras sugerencias y recomendaciones este trabajo pueda mejorarse y contribuir a la difusión de la investigación de nuestra Universidad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	9
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema	11
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivos generales	11
2.2. Objetivos específicos	11
3. JUSTIFICACIÓN	12
II. MARCO DE REFERENCIA	13
1. ANTECEDENTES	13
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. Estudio de hidráulica	14
2.2. Obras hidráulicas	17
2.3. Diseño hidráulico de Aliviadero	27
2.3.1. Carga hidráulica sobre el vertedero	27
2.3.2. Perfil del vertedero	28
2.3.3. Longitud de la poza disipadora	28
2.3.4. Espesor de poza disipadora	30
2.4. Software	31
2.4.1. Levantamiento topográfico	31
2.4.2. Modelamiento hidrológico	31
2.4.3. Modelamiento hidráulico	32
3. MARCO CONCEPTUAL	33
4. SISTEMA DE HIPÓTESIS	34
III. METODOLOGÍA EMPLEADA	35
1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	35
2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO	35
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	35
4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE DATOS	35
5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	36
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	37
1. DIGITAL ELEVATION MODEL (DEM)	37
2. HIDROLOGÍA	38

2.1. Delimitación de la cuenca.....	38
2.2. Determinación de P _{máx.} anuales	40
2.3. Análisis de frecuencias	41
2.4. Prueba de ajuste de bondad.....	44
2.5. Periodo de retorno (T)	44
2.6. Tiempo de concentración (T _c)	45
2.7. Curvas IDF	46
2.8. Distribución de la precipitación para distintos periodos de retorno.....	47
3. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO.....	51
3.1. Determinación del caudal de diseño	51
4. HIDRÁULICA.....	54
4.1. Diseño hidráulico del vertedero	54
4.2. Diseño de transición	59
4.3. Diseño de la rápida.....	60
5. MODELAMIENTO HIDRÁULICO	62
6. DOCIMASIA DE HIPÓTESIS	64
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXOS.....	69

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: UBICACIÓN DE LA LAGUNA HUANGACOCHA.....	10
FIGURA N° 2: POZA DISIPADORA Y BARRAJE DETERIORADOS.....	10
FIGURA N° 3: SALIDA DE LA POZA DISIPADORA EN MAL ESTADO	11
FIGURA N° 4: DIFERENTES TIPOS DE FLUJOS EN CANALES ABIERTOS	155
FIGURA N° 5: TIPOS DE FLUJOS EN CANALES ABIERTOS.....	166
FIGURA N° 6: COMPONENTES DE UN ALIVIADERO	211
FIGURA N° 7: ALIVIADEROS PRINCIPAL Y AUXILIAR DE LA PRESA STEWART MOUNTAIN, USA	222
FIGURA N° 8: ALIVIADEROS PRINCIPALES Y DE EMERGENCIA DE LA PRESA TIMAH TASOH, MALASIA.....	222
FIGURA N° 9: ALIVIADERO DE CAÍDA LIBRE.....	233
FIGURA N° 10: ALIVIADERO LATERAL DE LA PRESA PAONIA, USA	233
FIGURA N° 11: ALIVIADERO TIPO LABERINTO DE LA PRESA UTE, USA	244
FIGURA N° 12: VERTEDERO DE CONDUCCIÓN CERRADA, PRESA MONTICELLO, USA.....	25
FIGURA N° 13: ALIVIADERO DENTADO DE LA PRESA TERRATEIG	26
FIGURA N° 14: ALIVIADERO TIPO CREAGER	277
FIGURA N° 15: ELEMENTOS DEL PERFIL DE LA CRESTA DEL BARRAJE	28
FIGURA N° 16: DISIPADOR DE ENERGÍA TIPO TANQUE AMORTIGUADOR.....	29
FIGURA N° 17: DEM DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	37
FIGURA N° 18: DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DE LA LAGUNA HUANGACOCHA .	298
FIGURA N° 19: MODELO HIDROLÓGICO DE LA LAGUNA HUANGACOCHA.....	299
FIGURA N° 20: VERIFICACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EN EL SOFTWARE HIDROESTA – AJUSTE CON PARÁMETROS ORDINARIOS.....	43
FIGURA N° 21: VERIFICACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EN EL SOFTWARE HIDROESTA – AJUSTE CON PARÁMETROS ORDINARIOS.....	43
FIGURA N° 22: PRUEBA DE KOLMOGOROV – SMIRNOV.	44
FIGURA N° 23: SELECCIÓN DE PERIODO DE RETORNO.....	45
FIGURA N° 24: RESULTADOS HEC-HMS T=500	51
FIGURA N° 25: RESULTADOS HEC-HMS T=1000	52
FIGURA N° 26: RESULTADOS HEC-HMS T=10000	53
FIGURA N° 27: DIMENSIONAMIENTO DE ESTANQUE AMORTIGUADOR	57
FIGURA N° 28: RESULTADO DE TIRANTES DEL MODELO HIDRÁULICO DEL ALIVIADERO.....	62

FIGURA N° 29: RESULTADO DE VELOCIDADES DEL MODELO HIDRÁULICO DEL ALIVIADERO.	63
FIGURA N° 30: BARRAJE Y POZA DISIPADORA EN MAL ESTADO	69
FIGURA N° 31: SALIDA DE LA POZA DISIPADORA DETERIORADA	69
FIGURA N° 32: PRESA HUANGACOCHA	70
FIGURA N° 33: MURO DE CONTENCIÓN DEL ALIVIADERO EN MAL ESTADO	70

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA DE LA LAGUNA HUANGACOCHA	38
TABLA N° 2: DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS	310
TABLA N° 3: DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES PLUVIOMÉTRICAS (GUMBEL).	41
FIGURA N°1: UBICACIÓN DE LA LAGUNA HUANGACOCHA	10
FIGURA N°2: POZA DISIPADORA Y BARRAJE DETERIORADOS	11
FIGURA N°3: SALIDA DE LA POZA DISIPADORA EN MAL ESTADO	11
FIGURA N°4: DIFERENTES TIPOS DE FLUJOS EN CANALES ABIERTOS	16
FIGURA N°5: TIPOS DE FLUJOS EN CANALES ABIERTOS	17
FIGURA N°6: COMPONENTES DE UN ALIVIADERO	22
FIGURA N° 7: ALIVIADEROS PRINCIPAL Y AUXILIAR DE LA PRESA STEWART MOUNTAIN, USA	23
FIGURA N° 8: ALIVIADEROS PRINCIPALES Y DE EMERGENCIA DE LA PRESA TIMAH TASOH, MALASIA	23
FIGURA N° 9: ALIVIADERO DE CAÍDA LIBRE	24
FIGURA N° 10: ALIVIADERO LATERAL DE LA PRESA PAONIA, USA	24
FIGURA N° 11: ALIVIADERO TIPO LABERINTO DE LA PRESA UTE, USA	25
FIGURA N° 12: VERTEDERO DE CONDUCCIÓN CERRADA, PRESA MONTICELLO, USA	26
FIGURA N° 13: ALIVIADERO DENTADO DE LA PRESA TERRATEIG	27
FIGURA N°14: ALIVIADERO TIPO CREAGER	28
FIGURA N° 15: ELEMENTOS DEL PERFIL DE LA CRESTA DEL BARRAJE	29
FIGURA N° 16: DISIPADOR DE ENERGÍA TIPO TANQUE AMORTIGUADOR	30
TABLA N° 5: TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN.	44
FIGURA N°1: UBICACIÓN DE LA LAGUNA HUANGACOCHA	11
FIGURA N°2: POZA DISIPADORA Y BARRAJE DETERIORADOS	11
FIGURA N°3: SALIDA DE LA POZA DISIPADORA EN MAL ESTADO	11
FIGURA N°4: DIFERENTES TIPOS DE FLUJOS EN CANALES ABIERTOS	16

FIGURA N°5: TIPOS DE FLUJOS EN CANALES ABIERTOS.....	17
FIGURA N°6: COMPONENTES DE UN ALIVIADERO	22
FIGURA N° 7: ALIVIADEROS PRINCIPAL Y AUXILIAR DE LA PRESA STEWART MOUNTAIN, USA	23
FIGURA N° 8: ALIVIADEROS PRINCIPALES Y DE EMERGENCIA DE LA PRESA TIMAH TASOH, MALASIA.....	23
FIGURA N° 9: ALIVIADERO DE CAÍDA LIBRE.....	24
FIGURA N° 10: ALIVIADERO LATERAL DE LA PRESA PAONIA, USA	24
FIGURA N° 11: ALIVIADERO TIPO LABERINTO DE LA PRESA UTE, USA	25
FIGURA N° 12: VERTEDERO DE CONDUCCIÓN CERRADA, PRESA MONTICELLO, USA.....	26
FIGURA N° 13: ALIVIADERO DENTADO DE LA PRESA TERRATEIG	27
FIGURA N°14: ALIVIADERO TIPO CREAGER.....	28
FIGURA N° 15: ELEMENTOS DEL PERFIL DE LA CRESTA DEL BARRAJE	29
FIGURA N° 16: DISIPADOR DE ENERGÍA TIPO TANQUE AMORTIGUADOR.....	30
TABLA N° 10: CÁLCULO DEL PERFIL DEL CIMACIO EN LA ENTRADA.....	53
TABLA N° 11: DOCIMASIA DE HIPÓTESIS - VARIABLE DEPENDIENTE.....	66
TABLA N° 12: DOCIMASIA DE HIPÓTESIS – VARIABLE INDEPENDIENTE.....	66

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1: CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA DE LA LAGUNA HUANGACOCHA	38
GRÁFICO N° 2: PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES DE LA ESTACIÓN HUANGACOCHA	40
GRÁFICO N° 3: CURVAS IDF.....	46
GRÁFICO N° 4: COEFICIENTES DE DESCARGA PARA LAS CRESTAS DE CIMACIO EN PARED VERTICAL.....	50
GRÁFICO N° 5: SECCIÓN DE CRESTA DE CIMACIO FORMADA POR CURVAS COMPUESTAS.....	52
GRÁFICO N° 6: PERFIL DEL CIMACIO.....	53
GRÁFICO N° 7: PERFIL DE LA RÁPIDA.....	56

INTRODUCCIÓN

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

Las obras de alivio son estructuras hidráulicas que permiten evacuar los excedentes de un embalse, están comprendidas por aliviaderos. El aliviadero es una estructura de control de descarga de flujo, el cual se encargará de administrar los niveles de embalse y los correspondientes a los ríos.

En obras hidráulicas, el aliviadero más común utilizado en nuestro entorno es el aliviadero de descarga libre, por su adaptabilidad a diferentes ubicaciones.

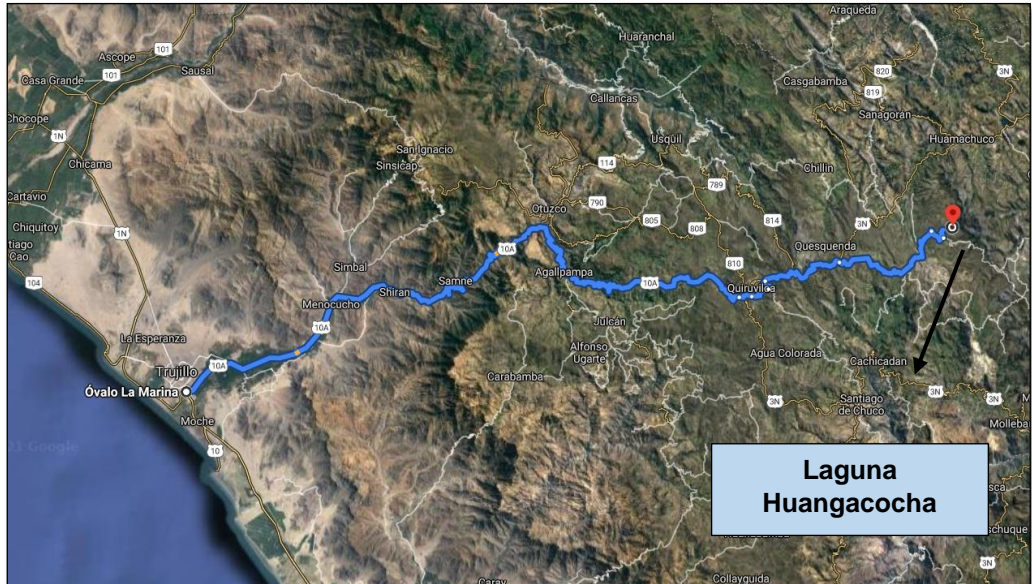
En la localidad de Florida en el Distrito de Huamachuco se encuentra ubicada la laguna Huangacocha. Actualmente en esta laguna existe la presa Huangacocha, la cual tiene forma de arco gravedad con una altura de 10 m. y una longitud de 49.50 m. Esta presa permite el almacenamiento de agua de la Laguna Huangacocha, teniendo una antigüedad de 60 años, además abastece de agua a los agricultores mediante una válvula de salida.

La presa Huangacocha cuenta con un aliviadero de demasías que presenta un gran deterioro en el barraje, muros de contención, en el piso de la poza disipadora, transición de salida y el canal de descarga, dando lugar a un mal funcionamiento de la estructura, limitando sus funciones principales como la de evacuar el agua excedente del almacenamiento. Un mal diseño del aliviadero produciría el desborde del agua por encima de la cresta de la presa y el posible colapso de esta estructura. Es por ello que se necesita realizar un nuevo diseño de las obras de alivio.

La presente investigación tiene como finalidad realizar el diseño de obras de alivio para la presa Huangacocha, las cuales comprende: barraje, poza disipadora, rápida y un canal de descarga, para ello se tendrá en cuenta el volumen de embalse de la presa, el registro hidrológico de la laguna Huangacocha. A este diseño se le realizará el modelamiento hidráulico mediante el software Hec-Ras para comprobar que las dimensiones de las estructuras diseñadas cumplan con el buen

funcionamiento de la presa, además de ello se analizará el comportamiento hidráulico de dichas estructuras.

Figura N°1: Ubicación de la laguna Huangacocho



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°2: Poza disipadora y barraje deteriorados



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°3: Salida de la poza disipadora en mal estado



Fuente: Elaboración Propia

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles serán las dimensiones de las obras de alivio para la presa Huangacocha en el distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, departamento La Libertad?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Realizar el diseño hidráulico de las obras de alivio para la presa Huangacocha en el distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, departamento la libertad.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar el modelo digital de elevación (DEM), para obtener un modelo en 3d del terreno.
- Analizar el registro de caudales la laguna Huangacocha para obtener el caudal de diseño.
- Realizar el diseño hidráulico de las obras de alivio para determinar sus dimensiones.
- Realizar el modelo hidráulico de las obras de alivio.

3. JUSTIFICACIÓN

3.1. Académica

El presente estudio se justifica académicamente porque permite aplicar los conocimientos estudiados en la rama de hidráulica en el diseño hidráulico de las obras de alivio para la presa Huangacocha.

3.2. Técnica

Está orientado técnicamente a realizar el diseño hidráulico de las obras de alivio para la presa Huangacocha mediante cálculos y modelos numéricos.

3.3. Social

Socialmente orientada como un estudio base para ser tomado como referencia para las autoridades del distrito de Huamachuco acerca del diseño hidráulico de las obras de alivio para la presa Huangacocha.

I. MARCO DE REFERENCIA

1. ANTECEDENTES

1.1. A nivel nacional

TÍTULO: “Investigación de la disipación de energía del segundo aliviadero de excedencia-presa Sabana Yegua”

AUTOR: Br. Roger Raúl Rafael Paredes Salazar

UNIVERSIDAD: Universidad de Piura

AÑO: 2015

Esta investigación tiene como objetivos principales de realizar investigaciones adicionales de disipación de energía en el vertedero de servicio de la presa Sabana Yegua, así mismo, encontrar la solución al problema inicial de disipación de energía en la poza disipadora, con el fin de obtener una mejor, adecuada y correcta disipación. Dicha investigación se realizó teniendo en cuenta dos etapas; la primera, que consiste en la disipación de energía sin tener en cuenta los niveles de restitución del cauce; y la segunda, la correcta y adecuada disipación de energía teniendo en cuenta los niveles de restitución del cauce y el desarrollo normal de un resalto Hidráulico.

TÍTULO: Diseño hidráulico de estructuras de disipación de energía del canal sur, distrito de Jangas, provincia Huaraz, región Ancash”

AUTOR: Br. Tovar Barrera, Ángela Cecilia

UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de Ingeniería

AÑO: 2014

El estudio comprende solo el diseño hidráulico de la componente aliviadero de demasías con poza disipadora, que permita solucionar el problema que puede originar que los caudales máximos extraordinarios puedan sobrepasar la corona de la presa, pudiendo ocasionar en el presente vaso por tratarse de presa de tierra, la falla de la estructura principal originando un riesgo de colapso. Además, se deberá tener cuidado que la descarga del vertedor no socave el talón de aguas abajo del aliviadero, para esto se diseñará una poza disipadora de energía. Los beneficios del estudio es proporcionar seguridad a la presa de los escurrimientos extraordinarios que llegan al embalse. A su vez, brinda

los conocimientos técnicos para la elaboración del diseño hidráulico del aliviadero de demasías con poza disipadora.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estudio de Hidráulica

2.1.1. Tipos de Flujos en canales

2.1.1.1. Criterio tiempo

- Flujo Permanente

Si la profundidad de flujo, el área mojada, la velocidad y el caudal no cambian o pueden suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración. En la mayor parte de los problemas de flujo permanente, el caudal es constante. (Chow, 1994)

- Flujo No Permanente

Si la profundidad del flujo, el área mojada, la velocidad, y el caudal cambian con el tiempo. (Chow, 1994)

2.1.1.2. Criterio comportamiento en el espacio

- Flujo Uniforme

Se dice que el flujo en canales abiertos es uniforme si la profundidad del flujo, el área mojada, la velocidad y caudal no varían en cada sección del canal. (Chow, 1994)

- Flujo Variado

Si la profundidad de flujo, el área mojada, la velocidad y el caudal en cada sección del canal. (Chow, 1994)

Este flujo se divide a su vez en:

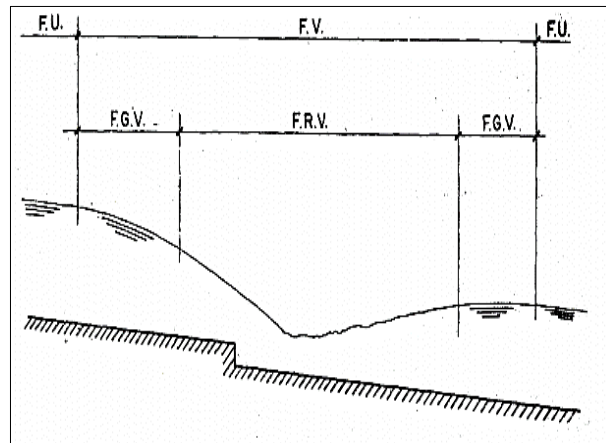
Flujo Rápidamente Variado

El flujo es rápidamente variado si la profundidad del agua, el área mojada, la velocidad y el caudal cambian de manera abrupta en distancias comparativamente cortas. (Chow, 1994)

Flujo Gradualmente Variado

El flujo es gradualmente variado si la profundidad del agua, el área mojada, la velocidad y el caudal no cambian de manera abrupta en distancias comparativamente cortas. (Chow, 1994)

Figura N°4: Diferentes tipos de flujos en canales abiertos



Fuente: Hidráulica de canales abiertos, Ven te Chow (1994)

2.1.1.3. Criterio de Viscosidad

- Flujo Laminar

Si las fuerzas viscosas predominan sobre las de inercia, se dice que el flujo es laminar, en este caso las partículas del líquido avanzan en trayectorias más o menos paralelas sin mezclarse o entrelazarse entre sí, esto ocurre a velocidades bajas o para líquidos muy viscosos. (MAZA ALVAREZ, 1998)

- Flujo Turbulento

Si las fuerzas inerciales predominan sobre las fuerzas viscosas. Se caracteriza porque las trayectorias de las partículas fluidas se mezclan entre sí. (MAZA ALVAREZ, 1998)

2.1.1.4. Criterio de N° Froude (Fr)

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

$$D(\text{Profundidad hidráulica}) = \frac{\text{Área mojada}}{\text{ancho superficial}}$$

- Flujo Subcrítico

El valor de $Fr < 1$.

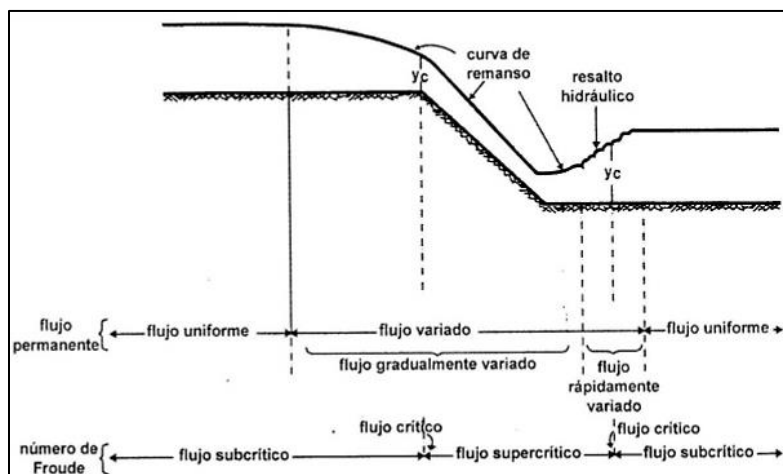
- Flujo Crítico

El valor de $Fr = 1$.

- Flujo Supercrítico

El valor de $Fr > 1$.

Figura N°5: Tipos de flujos en canales abiertos



Fuente: Hidráulica de canales, Villón, (2007)

2.1.1.5. Criterio movimiento en el espacio

- Flujo Unidimensional

Si las características del flujo (velocidad, presión o tirante, etc) varían como en función de una sola coordenada en espacio. (MAZA ALVAREZ, 1998)

- Flujo Bidimensional

Cuando las características del flujo dependen de dos coordenadas espaciales. (MAZA ALVAREZ, 1998)

- Flujo Tridimensional

Cuando las características del flujo dependen de tres coordenadas espaciales. (MAZA ALVAREZ, 1998)

2.2. Obras Hidráulicas

2.2.1. Presas

1.2.1.1. Clasificación de las presas

A.- De acuerdo a su uso

Presas de embalse. Se construyen para almacenar agua en periodos de abundancia y utilizarla cuando el suministro sea deficiente. Estos periodos pueden ser estacionales, anuales o hiperanuales. (Bureau of Reclamation, 2001)

Presas de derivación. Se construyen normalmente para crear una altura de carga que permita llevar el agua a través de acequias, canales o cualquier otro sistema, hasta el lugar de su utilización. (Bureau of Reclamation, 2001)

Presas de retención. Se construyen para regular las crecidas y disminuir el efecto de las avenidas. También se construyen presas de retención con el fin de retener sedimentos o acarreos. (Bureau of Reclamation, 2001)

B.- De acuerdo a sus características hidráulicas

Presas vertedero. Se denominan presas vertedero las que pueden verter por la coronación. Deben de construirse con materiales que el agua no erosione

cuando vierte. El hormigón es el material más común utilizado en este tipo de presas.(Bureau of Reclamation, 2001)

Presas no vertedero. Son aquellas que han sido proyectadas para que no viertan por su coronación. Este tipo de presa permite el empleo en su construcción de tierra y escollera.(Bureau of Reclamation, 2001)

C.- Según los materiales

Presas de Tierra. Son el tipo más común debido básicamente a que en su construcción se utilizan los materiales en estado natural con un proceso mínimo. Además, los requisitos de cimentación para este tipo de presas son menos rigurosos que en otros. (Bureau of Reclamation, 2001)

Presas de escollera. Las presas de escollera se construyen con rocas de todos los tamaños que aseguran la estabilidad y una pantalla impecable para darle estanqueidad. Las presas de escollera, igual que las de tierra, puede ser dañadas completamente, debido al desbordamiento por coronación.(Bureau of Reclamation, 2001)

Presas de Gravedad de Hormigón. Las presas de gravedad de hormigón son la mejor solución en puntos en lo que exista una cimentación en roca suficientemente buena. Las presas de gravedad pueden ser de planta, recta o curva. (Bureau of Reclamation, 2001)

Presas Arco de Hormigón. Esta presa es la indicada en lugares en los que la relación del ancho entre estribos respecto a la altura, no sea grande y

donde los estribos sean de roca capaz de resistir el empuje de los arcos.(Bureau of Reclamation, 2001)

1.2.2. Aliviaderos

1.2.2.1. Componentes de un aliviadero

A. Canal de aproximación

También conocido como canal de acceso o canal de aproche, es aquel cuya función dentro del aliviadero, es captar el agua del embalse y conducirla hacia la estructura de control o sección vertedora. Esta última, por razones que se argumentan más adelante en el presente libro, es el componente más importante del aliviadero, por la función que desempeña. De ahí que es necesario garantizar su adecuado funcionamiento hidráulico. Por ello, el canal de aproximación debe lograr, esencialmente, una distribución uniforme del flujo al llegar a la sección de control. (GÓMEZ & BREÑA, 2005)

B.- Sección de control

Su nombre viene dado porque en esta parte del aliviadero es que se regula o gobierna la descarga (Q) del mismo cuando está sometido a una determinada carga hidráulica (He), dicho en otras palabras: es la sección que determina la capacidad de descarga del aliviadero. (GÓMEZ & BREÑA, 2005)

C.- Transición

Es una estructura que se ubica entre la sección de control y la rápida o conducto de descarga, con el objetivo de cambiar la forma o las dimensiones de la sección transversal, o ambas, sobre todo cuando

existe una diferencia notable entre los anchos del aliviadero en la sección de control y en la rápida. (GÓMEZ & BREÑA, 2005)

D.- Rápida o conducto de descarga

Por lo general, los aliviaderos a cielo abierto tienen su sección de control ubicada en cotas elevadas cercanas al nivel de aguas normales en el embalse; y posteriormente la descarga final se produce en cotas relativamente bajas, cercanas al cauce original del río. De ahí que entre ambas secciones se presenta una significativa diferencia de nivel. Ello obliga a que la pendiente longitudinal de la rápida sea generalmente fuerte, imponiendo un régimen de circulación 12 supercrítico, al cual están asociadas altas velocidades y tirantes de circulación bajos, los cuales son los causantes de los anchos de sección transversal menores para la rápida, en relación con la sección de control. (GÓMEZ & BREÑA, 2005)

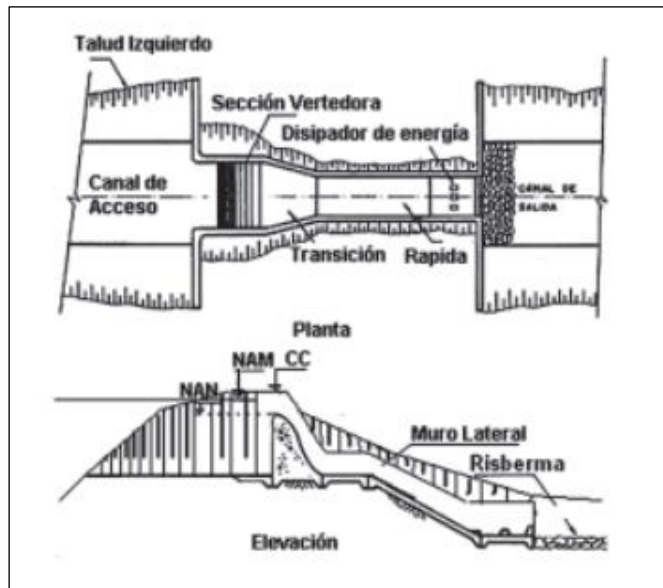
E.- Estructura terminal o disipadora de energía

Es la encargada de disipar la alta energía cinética que alcanza el agua al final de la rápida, debido a su pendiente, con ello se evita la erosión del terreno natural y la consecuente destrucción de la propia obra u otra cercana a la descarga del aliviadero. (GÓMEZ & BREÑA, 2005)

F.- Canal de salida

Es el encargado de conducir el agua hasta el cauce del río. (GÓMEZ & BREÑA, 2005)

Figura N°6: Componentes de un aliviadero



Fuente: (GÓMEZ & BREÑA, 2005)

1.2.2.2. Clasificación de los Aliviaderos

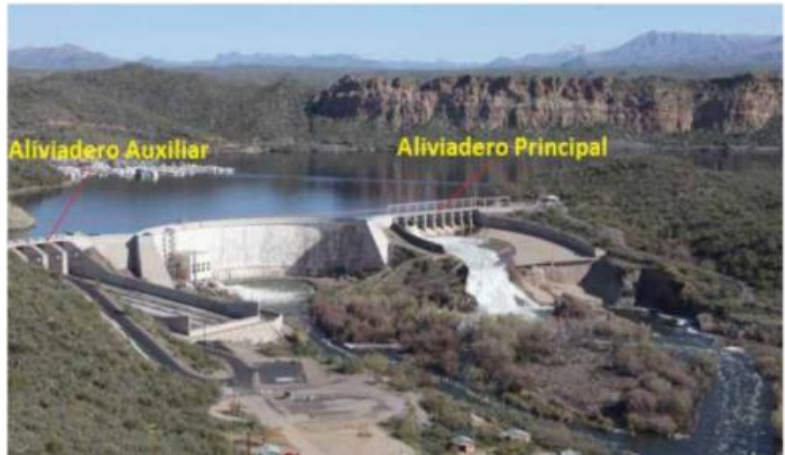
A.- Según su frecuencia de uso

Aliviadero de servicio: Un aliviadero de servicio ofrece la liberación ya sea continua o regulada de un depósito sin ocasionar daños importantes a la presa, incluyendo la descarga máxima de diseño. Estos aliviaderos de servicio normalmente son estructuras robustas principalmente de concreto armado y que pueden resistir al efecto de la erosión. (Bureau of Reclamation, 2001)

Aliviadero auxiliar: El aliviadero auxiliar es usado con poca frecuencia e incluso puede ser usado como aliviadero secundario que permite aumentar la descarga del aliviadero de servicio. Durante su operación, podría ocasionar un daño estructural y/o erosión en el aliviadero por las descargas incluyendo la descarga máxima de diseño. Normalmente los aliviaderos auxiliares son menos

robustos de concreto armado y al igual que el aliviadero de servicio soporta el efecto de la erosión. (GÓMEZ & BREÑA, 2005)

Figura N° 7: Aliviaderos principal y auxiliar de la presa Stewart Mountain, USA



Fuente: Phoenix.org (2017)

Aliviadero de emergencia: Un aliviadero de emergencia tiene como función principal la de brindar protección adicional contra el colapso de una presa y está diseñado para que se usen en situaciones inusuales o muy extremas, como por ejemplo en la situación de un mal funcionamiento del aliviadero de servicio o trabajos de salida en inundaciones grandes. (GÓMEZ & BREÑA, 2005)

Figura N° 8: Aliviaderos principales y de emergencia de la presa Timah Tasoh, Malasia



Fuente: Nurhuda (2017)

B.- Según su estructura de control o cresta

Aliviaderos de caída libre: Los aliviaderos de caída libre son estructuras hidráulicas donde el flujo es vertido libremente desde la cresta. Este aliviadero para presas de contrafuertes, de arco de pequeño espesor o en aquellas con el paramento de aguas abajo casi vertical. El agua puede descargar libremente, como en el caso de vertedero en pared delgada.

Figura N° 9: Aliviadero de caída libre



Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017)

Aliviaderos de canal lateral: En ellos el labio del aliviadero está situado aproximadamente en posición paralela o casi paralela al eje de la parte superior del canal de desagüe. (Bureau of Reclamation, 2001)

Figura N° 10: Aliviadero lateral de la presa Paonia, USA



Fuente: USBR (2017)

Aliviadero en laberinto: La función del aliviadero de laberinto es facilitar una longitud adicional a la cresta para el ancho total del aliviadero, bajo esta condición será menos la cabeza del aliviadero para una descarga dada. Esta longitud es dada por una serie de paredes trapezoidales o triangulares que son delgadas y en voladizo y están dentro del ancho total del aliviadero. Este tipo de aliviaderos son oportunos para presas donde se requiera un aliviadero principal o secundario. (Bureau of Reclamation, 2001)

Figura N° 11: Aliviadero tipo laberinto de la presa Ute, USA



Fuente: AMARILLO (2017)

Aliviaderos en conducción cerrada o túnel: El aliviadero en conducción cerrada o túnel tiene como función transportar la descarga mediante canales de desagüe cerrados ya sea por debajo de la presa o alrededor de ella, dicho canal cerrado puede optar por una forma inclinada o vertical con respecto al eje del aliviadero. Es recomendable este aliviadero en presas donde están situados en lugares cerrados o en situaciones donde el canal abierto está expuesto

a desprendimiento de rocas y puede obstruir el funcionamiento de este, además se debe de tener en cuenta una adecuada aireación para evitar efectos no deseados en el funcionamiento del aliviadero.(Bureau of Reclamation, 2001)

Figura N° 12: Vertedero de conducción cerrada, presa Monticello, USA.



Fuente: NEWS D. (2017)

Aliviaderos dentados: Se le denomina aliviaderos dentados porque cuentan con unos deflectores que se ubican a lo largo de la rampa en bajada de estos aliviaderos, estos sistemas obstaculizan parcialmente el flujo de tal manera que se disipa energía mientras el agua pasa, ocasionando así velocidades relativamente bajas que, bajo esa condición, ingresan al canal aguas abajo logrando así un amortiguamiento de la energía cinética. El funcionamiento de este aliviadero no es afectado aguas abajo. (Bureau of Reclamation, 2001)

Figura N° 13: Aliviadero dentado de la presa Terrateig



Fuente: Blog presas, 2012

Aliviaderos de perfil de cimacio: El aliviadero de perfil cimacio es una estructura de control que tiene forma de perfil, la curva superior que compone este aliviadero se adapta normalmente a la parte inferior del flujo que se forma del aliviadero de cresta afilada. Una de las características de este aliviadero es que el flujo sobre la cresta se incorpora al perfil evitando así la presencia del aire sobre la lámina. El flujo se desliza sin presenciar interferencias sobre el perfil alcanzando así una eficiencia en su descarga máxima.

La curva superior del aliviadero se caracteriza debido a que es tangente a lo largo de una pendiente, y en la parte inferior se puede optar por una curva inversa de tal manera el flujo se transforma en el canal de descarga del aliviadero o en algunos casos salto de esquí. (GÓMEZ & BREÑA, 2005)

Figura N°14: Aliviadero tipo Creager



Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017)

2.3. Diseño Hidráulico de Aliviadero

2.3.1. Carga hidráulica sobre el vertedero

Para el diseño de esta estructura se ha utilizado el caudal asociado a una avenida con un periodo de retorno de 10,000 años, calculado la carga sobre el vertedero con la ecuación de vertederos:

$$Q = CLH^{3/2}$$

Donde:

Q : Caudal de descarga. (m³/s)

C : Coeficiente de descarga. (m^{1/2}/s)

L : Longitud del aliviadero. (m)

H : Carga sobre el vertedero. (m)

2.3.2. Perfil del vertedero

El vertedero es un cimacio tipo Creager y obedece al siguiente calculo:

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

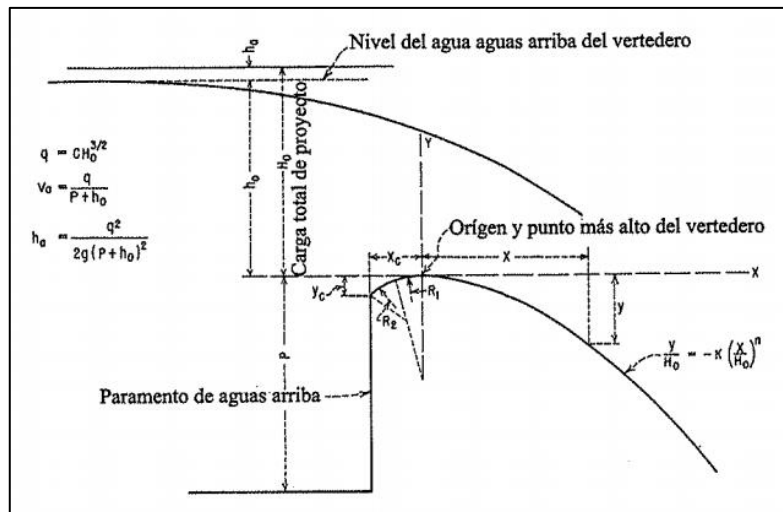
Donde:

X,Y: Coordenadas del perfil de la cresta del barraje con origen en el punto más alto de la cresta.

H₀: Carga total de agua sobre la cresta del barraje incluye la carga de velocidad. (m)

K,n: Parámetros que dependen de la inclinación de la superficie aguas arriba del barraje, cimacio o azud.

Figura N° 15: Elementos del perfil de la cresta del barraje



Fuente: Diseño de pequeñas presas (traducido), USBR (2005)

2.3.3. Longitud de la poza disipadora

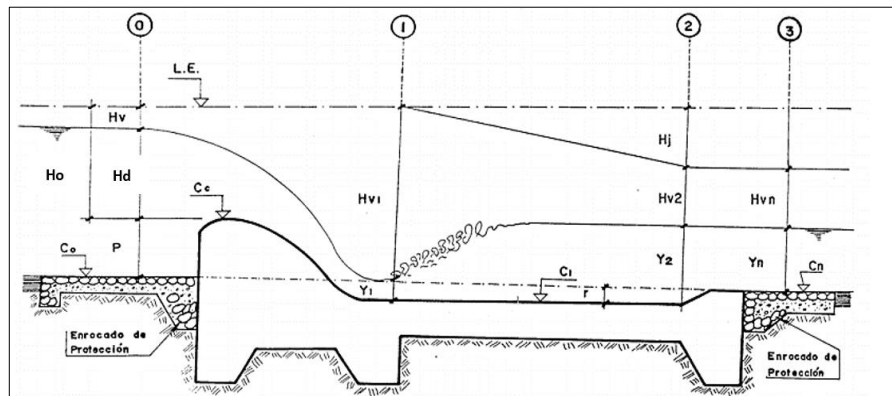
$$E_0 = E_1 + hf_{0-1} \text{ (Ecuación de Bernoulli entre 0 y 1)}$$

Donde:

$$E_0 = C_0 + P + h_d + h_v$$

$$E_1 = C_1 + y_1 + v_1^2 / 2g$$

Figura N° 16: Disipador de energía tipo tanque amortiguador



Fuente: Krochin (1982)

$$C_o + P + H_d + H_v = C_1 + y_1 + v_1^2/2g + h_{f0-1}$$

Donde:

C_o : cota del terreno.

C₁ : cota del colchón disipador.

P : altura del barraje. (m)

H_d : carga de agua sobre la cresta del barraje. (m)

H_v: Carga de velocidad. (m)

Y₁ : tirante del río al pie del talud. (m)

H_{f0-1} : pérdida por fricción entre 0 y 1. (m)

V₁ : velocidad al pie del talud. (m/s)

Cálculo del tirante conjugado

$$y_2 = -\frac{y_1}{2} + \sqrt{\frac{y_1^2}{4} + \frac{2v_1^2 y_1}{g}}$$

Cálculo del tirante normal

$$r = y_2 - y_n$$

Donde:

y_n: tirante normal. (m)

r: profundidad de la poza disipadora. (m)

Para que forme el resalto:

$$y_n + r > y_2$$

$$r = C_0 - C_1 \text{ (entre 0.5 y 1.0 m)}$$

Donde:

r: Profundidad del colchón disipador. (m)

Longitud de la poza disipadora

$$L = 4y_2 \text{ (U.S. Bureau of Reclamation)}$$

$$L = 5(y_2 - y_1) \text{ (Baklemnetev - Martzke)}$$

$$\text{(Safranez)} \quad L = 6 \cdot y_1 \cdot \frac{v_1}{\sqrt{g \cdot y_1}}$$

$$L = (5 \text{ a } 6) \times (y_2 - y_1) \text{ (Schoklitsch)}$$

2.3.4. Espesor de la poza disipadora

$$e = 0.60 \cdot q^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{H_0 + P}{g} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

e : Espesor de poza disipadora. (m)

q: Caudal unitario. (m²/s)

H₀: Carga total de agua sobre la cresta del barraje incluye la carga de velocidad. (m)

P: Altura del barraje. (m)

2.4. Software

2.4.1. Levantamiento topográfico

2.4.1.3. Aplicación del AutoCAD Civil 3D

“Este software se utiliza para descargar, crear, analizar y ajustar los datos de levantamiento”. (AUTODESK, 2016)

Permite:

- Las funciones de topografía de AutoCAD Civil 3D se pueden utilizar para descargar, crear, analizar y ajustar datos de levantamiento. (AUTODESK, 2016)
- Las herramientas de análisis, como los mínimos cuadrados, permiten realizar ajustes en las redes de topografía y en poligonales individuales. (AUTODESK. 2016)

2.4.2. Modelamiento hidrológico

2.4.2.3. Aplicación del ArcGis 10.5

Permite:

- ArcGis es una herramienta que permite realizar un análisis del terreno. En el campo de la hidrología, Arcgis posee herramientas de Hidrología se utilizan para modelar el flujo de agua a través de una superficie. (ESRI. 2016)

2.4.2.4. Aplicación del Hidroesta 2

Permite:

- El cálculo de los parámetros estadísticos, para datos agrupados y no agrupados. (VILLÓN, 2017)
- El cálculo de caudales máximos, con métodos empíricos (racional y Mac Math) y estadísticos (Gumbel y Nash). (VILLÓN, 2017)
- Evaluar si una serie de datos se ajustan a una serie de distribuciones: normal, log-normal de 2 y 3 parámetros, gamma de 2 y 3 parámetros, log-

Pearson tipo III, Gumbel y log-Gumbel, tanto con momentos ordinarios, como con momentos lineales. (VILLÓN, 2017).

2.4.3. Modelamiento hidráulico

2.4.3.3. Aplicación de Hec-ras 5.0.7.

Permite:

- Modelización de flujo en régimen permanente.
- Modelización de flujo en régimen no permanente.
- Modelización del transporte de sedimentos.
- Análisis de calidad de aguas.

2.4.3.4. Aplicación de Iber 2.5.1

“Iber es un modelo numérico bidimensional de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial”. (FLUMEN, 2010)

Permite:

- Simulación del flujo en lámina libre en cauces naturales.
- Evaluación de zonas inundables. Cálculo de las zonas de flujo preferente.
- Cálculo hidráulico de encauzamientos.
- Cálculo hidráulico de redes de canales en lámina libre.
- Cálculo de corrientes de marea en estuarios.
- Estabilidad de los sedimentos del lecho.

3. MARCO CONCEPTUAL

Aliviadero .- Estructura mediante la cual se puede dar salida desde el embalse, cuando arriban a este, volúmenes de agua superiores a los que se desea retener.(GÓMEZ & BREÑA, 2005)

Cauce: Continente de las aguas durante sus máximas crecientes, constituye un bien de dominio público hidráulico. (Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2014)

Fenómeno El Niño: Es un fenómeno climático cíclico que provoca estragos a nivel mundial, siendo las más afectadas América del Sur y las zonas entre Indonesia y Australia, provocando con ello el calentamiento de las aguas sud americanas. (MINAGRI,2014)

Caudal de diseño: Es el caudal que se elige, de acuerdo a distintas estimaciones, para así dimensionar distintas obras hidráulicas. (GUEVARA, 2016).

Período de Retorno: Se denomina a el período promedio, en donde el valor del caudal pico de una avenida determinada es asemejado o sobrepasado una vez cada "T" años. (GUEVARA, 2016)

Modelo Digital de Elevación: Es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Instituto. (Geográfico Nacional (IGN),2015)

Presa.- Se construye con el objetivo de interrumpir el flujo de agua que normalmente tiene lugar en una corriente de agua (río o arroyo), para embalsarla durante el período húmedo (lluvioso), con uno o varios propósitos.(GÓMEZ & BREÑA, 2005)

Rápida. - Es aquel elemento del aliviadero encargado de salvar la diferencia de nivel entre la sección vertedora y el cauce del río o canal de salida. Su pendiente generalmente es fuerte, asegurando un régimen de circulación supercrítico

Tirante de agua. - Es la profundidad máxima del agua en el canal. (Villón, 2007)

4. SISTEMA DE HIPÓTESIS

4.1. Hipótesis

Implícita por qué se entiende que el diseño en un tipo de proyecto de esta naturaleza el diseño cumplirá con las normas técnicas necesarias.

4.2. Variables

4.2.1. Variable Independiente

Caudal de diseño.

4.2.2. Variable Dependiente:

Dimensiones de las estructuras de alivio.

4.2.3. Operacionalización de variables

Variable	Tipo	Dimensión	Indicadores	Unidad de Medida	Instrumento de Medición
Caudal de diseño	Independiente	Estudio Hidrológico	Caudal Máximo	m ³ /s	Fórmula Empírica
Dimensiones de las estructuras de alivio	Dependiente		Ancho, largo y altura	m	Software Excel

5. METODOLOGIA EMPLEADA

1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

1.1. Nivel de investigación

Es Descriptivo porque a través de esto se logrará obtener una estructura hidráulica (aliviadero) que funcione de manera correcta los cual será verificada a través del modelo numérico bidimensional en Hec-Ras.

2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

2.1. Población

Laguna Huangacocha

2.2. Muestra

Tramo Presa Huangacocha

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En campo; porque se hará la recolección de datos directamente de la presa Huangacocha, en el distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, departamento La Libertad para luego analizar y diseñar las dimensiones de la estructura de obras hidráulica, obteniendo un resultado positivo en el modelamiento con el software Hec-Ras.

4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE DATOS

- La observación será la técnica para la recolección de datos de toda la información necesaria para su elaboración adecuada mediante visitas de estudio a la zona del proyecto.
- Análisis de información será la técnica a utilizar para analizar todas las fuentes bibliográficas para la metodología de diseño.
- Realizar el levantamiento topográfico de la Laguna (batimetría) y alrededor de la misma (planimetría), con equipo de GPS diferencial, estación total, y DRON (Vehículo Aéreo No Tripulado).
- Obtener el registro hidrológico de la laguna Huangacocha, de SENAMHI y/o ANA.
- AutoCAD 2022: Se utiliza para visualización de los planos topográficos, perfil Longitudinal y secciones transversales la Laguna Huangacocha.

- AutoCAD Civil 3D 2013: Se emplea para orientar el plano topográfico de la zona de estudio y a su vez verificar si se encuentran correctamente georreferenciados.

5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

- Se procederá a realizar el Levantamiento Topográfico del área de influencia del proyecto con estación total.
- Analizar el registro hidrológico de la laguna Huangacocha, mediante hojas de cálculo (Excel)
- Elaboración de los cálculos respectivos con los datos obtenidos en campo para obtener los resultados del diseño.

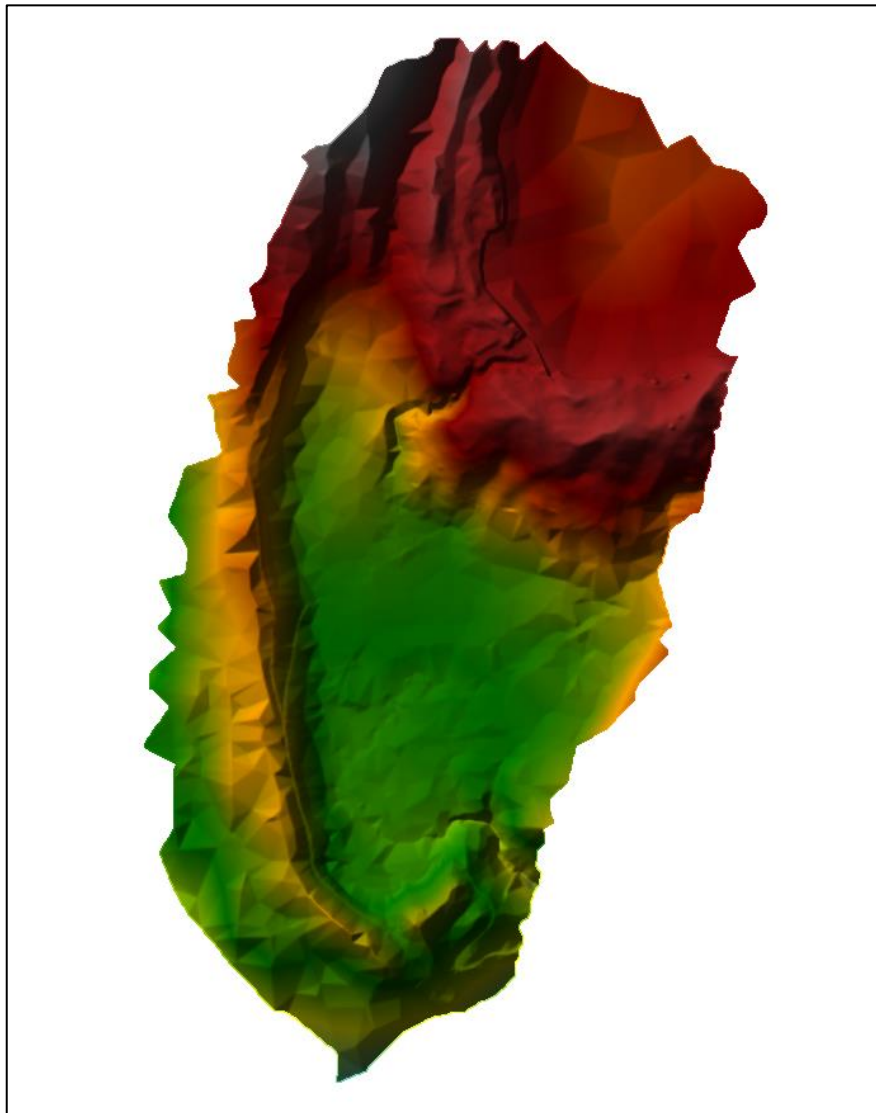
6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

1. DIGITAL ELEVATION MODEL (DEM)

La topografía se obtuvo mediante el vuelo de un dron sobre el área del proyecto, haciendo uso de la tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging).

“Su funcionamiento es muy simple. Lidar usa un láser para calcular la distancia de un objeto a la superficie terrestre. El láser emite un impulso de luz sobre una superficie y mide el tiempo que tarda en regresar a la fuente. Este proceso se repite millones de veces generando una nube de puntos 3D muy precisa de la zona gracias a los impulsos de luz y la información proporcionada por el GPS”. (Drónica, 2021)

Figura N°17: DEM del área de influencia del proyecto.



Fuente: Propia

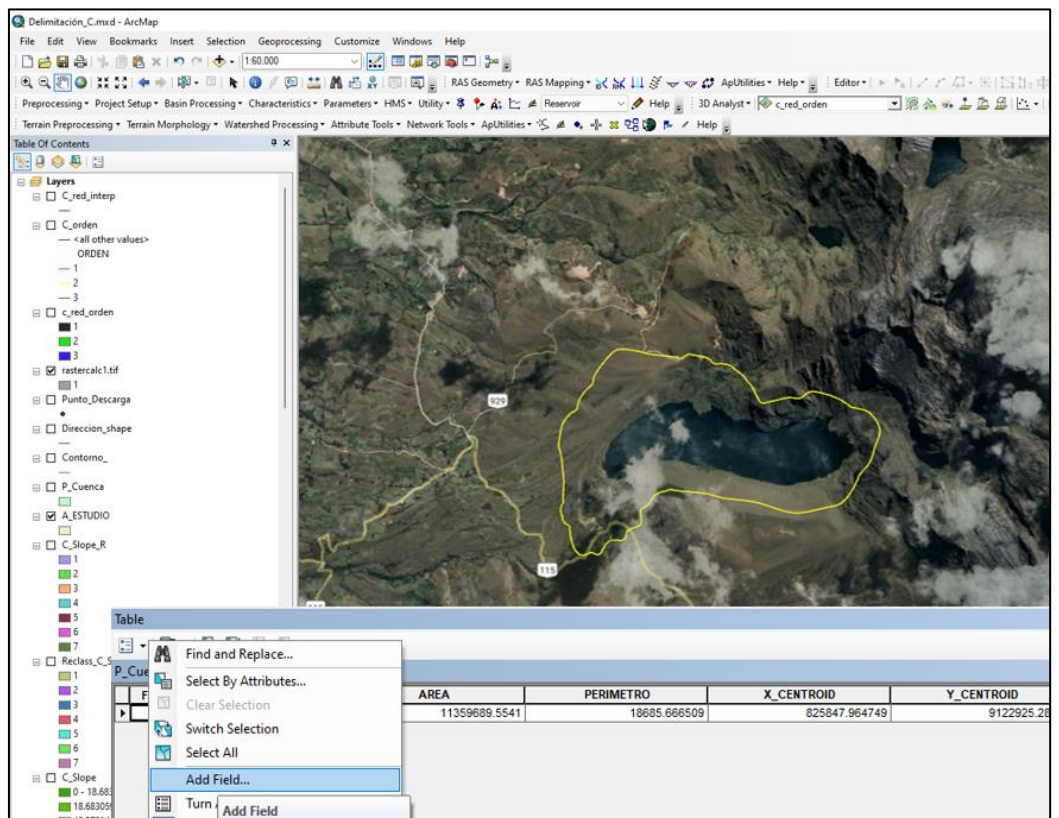
2. HIDROLOGÍA

2.1. Delimitación de la cuenca

Con la aplicación de softwares GIS y del software Hec-Hms se realizó la delimitación de la cuenca de la laguna Huangacocha, obteniendo como resultado los siguientes parámetros:

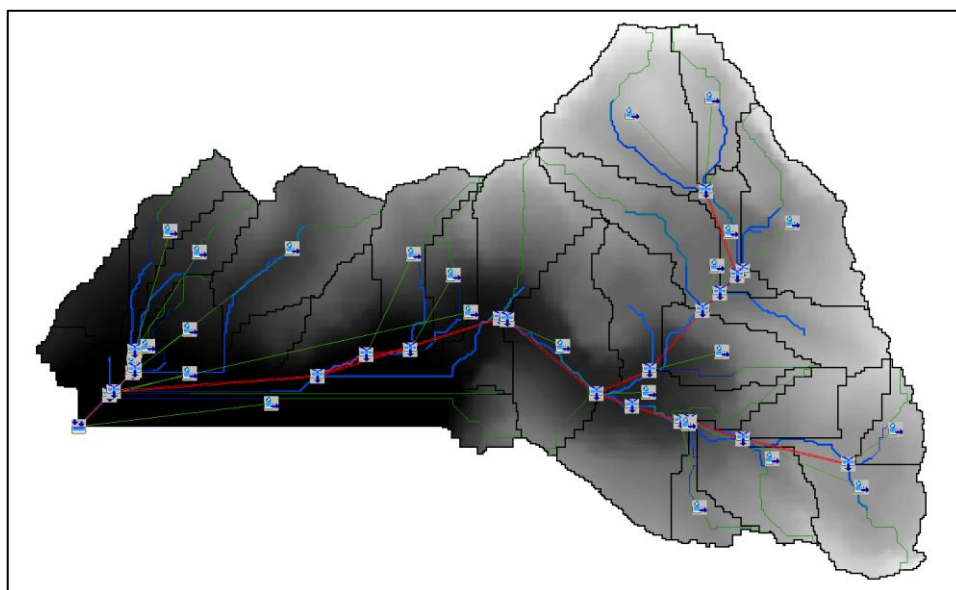
- Área: 11.36 km²
- Perímetro: 18.69 km
- Índice de compacidad (K): 1.55
- Longitud máx. recorrido (Lc): 8.5 km
- Factor de forma: 0.157
- Pendiente de la cuenca (S): 8.74%
- Pendiente de la red hídrica: 1.01%
- Tiempo de concentración: 2.256 hrs
- Coeficiente orográfico (Co): 1.51
- Altura media: 4137.29 m
- Densidad de drenaje (D): 1.51 km

Figura N°18: Delimitación de la cuenca de la laguna Huangacocha.



Fuente: Propia

Figura N°19: Modelo hidrológico de la laguna Huangacochoa.



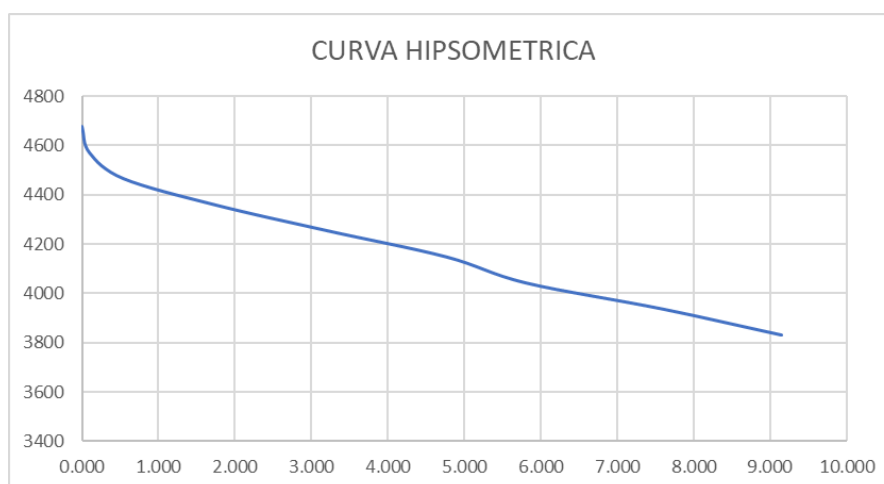
Fuente: Propia

Tabla N°1: Curva hipsométrica de la cuenca de la laguna Huangacochoa.

	intervalo entre curvas		curva promedio	Area parciales (m ²)	A. parciales (Km ²)	AREAS ACUMULAD	AREAS QUE QUEDAN	% DEL TOTAL	% DEL TOTAL QUE
1	3777.000	3883.000	3830	2208400.000	2.208	2.208	9.151	19.441	80.559
2	3884.000	3989.000	3936.5	1565100.000	1.565	3.774	7.586	13.778	66.781
3	3990.000	4095.000	4042.5	1781400.000	1.781	5.555	5.805	15.682	51.099
4	4096.000	4201.000	4148.5	1042700.000	1.043	6.598	4.762	9.179	41.919
5	4202.000	4307.000	4254.5	1552600.000	1.553	8.150	3.209	13.668	28.251
6	4308.000	4413.000	4360.5	1474800.000	1.475	9.625	1.734	12.983	15.268
7	4414.000	4519.000	4466.5	1190700.000	1.191	10.816	0.544	10.482	4.786
8	4520.000	4625.000	4572.5	447000.000	0.447	11.263	0.097	3.935	0.851
9	4626.000	4732.000	4679	96700.000	0.097	11.359	0.000	0.851	0.000
	area total		11.3594						

Fuente: Propia

Gráfico N°1: Curva hipsométrica de la cuenca de la laguna Huangacochoa.



Fuente: Propia

2.2. Determinación de Pmáx. anuales

Se extrajo los datos de precipitación máxima mensuales en 24 horas de la estación Huangacocha en el departamento de La Libertad, provincia de Sánchez Carrión, distrito de Huamachuco proporcionados por el SENAMHI.

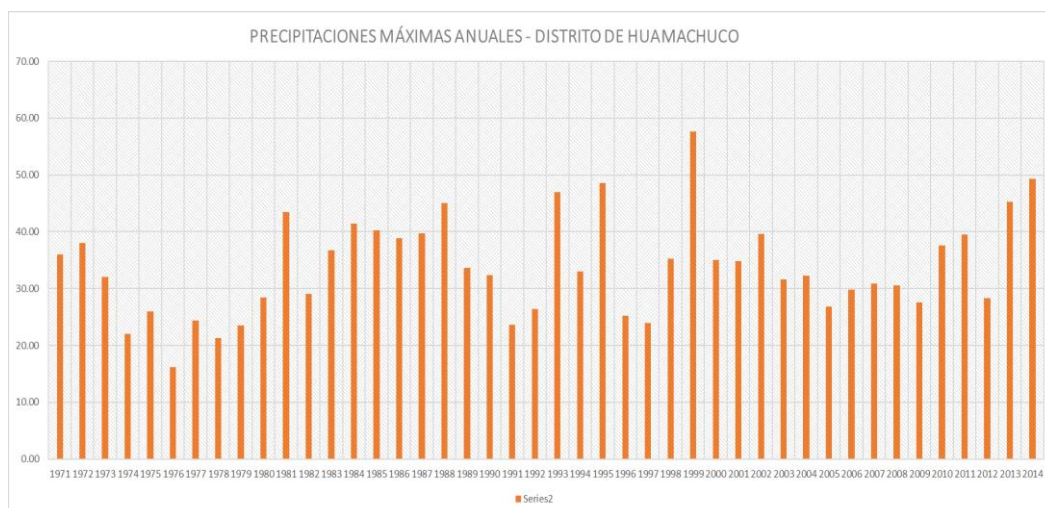
Para realizar el estudio hidrológico de la data obtenida, se extraen los valores máximos de precipitaciones máximas mensuales de cada año para obtener los datos de precipitación máxima anuales en 24 horas.

Tabla N°2: Datos mensuales de precipitación máxima en 24 horas.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1971	20.72	24.60	23.26	21.10	12.72	8.00	36.00	26.00	30.00	36.00	24.00	32.00	36.00
1972	32.00	36.00	35.00	28.00	14.00	22.00	15.00	10.00	22.00	25.00	28.00	38.00	38.00
1973	26.20	30.30	30.40	29.40	27.30	26.00	23.00	10.00	26.00	32.00	24.00	22.00	32.00
1974	22.00	12.00	15.00	10.00	5.00	8.10	8.00	4.00	12.00	11.00	5.00	11.00	22.00
1975	9.00	26.00	11.00	14.00	6.00	5.00	4.00	6.20	8.30	18.18	21.48	4.20	26.00
1976	8.20	16.20	11.30	3.30	2.10	6.10	0.00	0.20	5.20	10.20	4.20	13.10	16.20
1977	14.30	24.40	18.30	18.20	10.30	8.30	0.20	10.20	12.30	16.20	13.50	14.10	24.40
1978	11.20	12.30	18.30	21.30	20.40	2.10	11.30	0.00	18.20	16.40	18.20	16.20	21.30
1979	13.20	14.30	23.50	16.20	10.20	0.00	3.20	8.10	20.40	10.20	23.50	11.20	23.50
1980	10.30	12.30	11.50	9.40	6.10	11.10	0.00	0.00	5.00	25.40	27.40	28.40	28.40
1981	26.40	43.50	36.40	9.40	10.30	6.20	4.10	10.10	3.10	14.20	21.20	12.30	43.50
1982	20.30	29.10	15.10	15.20	7.10	7.00	8.10	0.00	8.10	27.40	25.40	20.40	29.10
1983	26.40	8.40	30.50	36.70	13.30	8.20	0.00	0.00	5.00	20.30	12.30	28.40	36.70
1984	12.20	41.40	25.70	19.50	10.30	10.10	10.20	0.00	8.10	20.30	20.40	15.30	41.40
1985	10.20	8.10	22.20	40.30	20.40	0.00	5.10	0.00	7.00	8.40	12.50	30.40	40.30
1986	30.20	28.50	30.50	20.80	15.00	10.00	5.30	10.00	28.00	15.10	19.40	38.90	38.90
1987	39.70	12.10	36.40	29.50	29.20	14.40	14.40	15.30	16.00	22.40	16.60	18.90	39.70
1988	45.10	33.10	20.10	27.70	9.90	10.60	0.00	7.50	15.30	17.50	22.50	17.50	45.10
1989	16.10	18.20	19.40	33.70	12.40	4.10	0.00	0.00	12.80	16.90	2.10	0.00	33.70
1990	10.90	15.20	32.40	26.40	9.10	10.10	7.30	4.70	13.90	15.90	23.10	15.70	32.40
1991	19.70	20.00	18.50	23.40	0.00	4.20	0.00	0.00	0.00	15.80	23.60	13.40	23.60
1992	26.40	21.70	19.10	11.20	15.80	7.50	0.00	0.00	4.10	12.60	9.50	4.50	26.40
1993	16.30	21.60	18.00	13.10	17.00	0.00	0.00	0.00	10.80	15.00	35.00	47.00	47.00
1994	23.00	29.00	33.00	28.00	18.00	10.00	3.00	1.00	9.00	5.20	9.00	5.60	33.00
1995	3.00	5.00	8.10	25.50	11.40	8.40	6.20	7.10	6.20	8.40	48.60	26.00	48.60
1996	23.40	25.20	23.70	18.00	9.80	15.20	0.00	1.80	3.20	20.40	9.30	11.90	25.20
1997	16.30	14.00	7.10	6.80	16.50	6.20	0.00	4.80	15.30	18.80	23.90	19.10	23.90
1998	22.80	35.30	26.90	25.50	14.30	6.60	0.00	4.70	17.80	31.40	30.80	15.80	35.30
1999	38.30	57.60	30.60	11.90	22.30	14.90	2.60	1.30	22.30	12.40	18.80	20.80	57.60
2000	30.20	35.00	19.80	13.90	12.40	6.60	0.70	4.50	6.50	17.60	16.20	25.40	35.00
2001	28.20	22.70	24.40	14.70	17.10	3.50	16.60	0.00	15.00	15.90	34.80	31.20	34.80
2002	15.90	24.10	28.00	21.30	18.50	5.70	5.10	0.00	27.20	21.40	39.60	23.50	39.60
2003	16.80	17.80	20.00	20.80	11.10	5.40	9.10	2.00	29.10	15.40	29.40	31.60	31.60
2004	24.20	16.30	12.80	32.30	10.00	3.70	16.80	5.30	19.60	25.10	15.10	27.70	32.30
2005	18.70	26.50	26.80	10.50	6.90	5.20	0.01	7.50	11.60	26.50	9.50	18.20	26.80
2006	20.00	24.80	25.80	16.90	26.60	14.90	12.90	8.10	5.60	24.90	29.80	24.10	29.80
2007	20.30	15.00	27.00	25.30	14.40	1.40	11.70	4.40	13.90	30.90	15.80	27.60	30.90
2008	21.20	24.70	22.60	30.60	7.70	10.60	3.70	6.70	14.50	14.60	22.60	13.40	30.60
2009	23.80	16.70	27.60	19.50	10.60	13.80	11.50	3.60	5.50	25.80	26.30	13.20	27.60
2010	11.00	37.60	23.80	18.70	10.30	3.70	4.00	2.00	15.00	17.70	30.00	16.60	37.60
2011	18.10	23.70	29.10	34.80	6.50	2.30	6.50	2.70	12.10	16.00	39.50	23.50	39.50
2012	28.20	27.30	28.30	22.00	9.20	13.10	0.00	17.60	8.30	19.40	26.70	19.80	28.30
2013	19.70	45.30	32.90	32.50	9.30	3.90	10.50	7.30	5.00	23.00	10.30	20.40	45.30
2014	21.60	49.30	23.26	21.10	12.72	8.00	6.42	4.99	12.89	18.91	21.37	20.19	49.30
P Máx=	45.10	57.60	36.40	####	29.20	26.00	36.00	26.00	30.00	36.00	48.60	47.00	57.60

Fuente: Propia

Gráfico N°2: Precipitaciones máximas anuales de la estación Huangacocha.



Fuente: Propia

2.3. Análisis de frecuencias

Con los datos de precipitaciones máximas anuales en 24 horas, se hizo uso de la distribución de Gumbel para someter la data a análisis y (Tabla N°2) y obtener las precipitaciones máximas en 24 horas de función a distintos periodos de retorno, posteriormente verificándose con ayuda del software para cálculos hidrológicos y estadísticos Hidroesta (Figura N°17 y Figura N°18).

Los datos obtenidos de la verificación de la distribución mediante la aplicación del software Hidroesta, arroja como el delta teórico 0.0596 y como delta tabular 0.2050, siendo el delta teórico menor al delta tabular, es decir, que la distribución empleada se ajusta a la data de la estación Huangacocha. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Tabla N°3: Distribución de probabilidades pluviométricas (Gumbel).

N°	Año	Precip. Del Mes	Precipitación (mm)		Fn (x)	Fi (x)	Fn (x) - Fi (x)	(Fn (x) - Fi (x))^2	(Fn (x) - Fn (x̄))^2
			x _i	(x _i - x̄)^2					
1	1971	36.00	16.20	310.56	0.022	0.001	0.022	0.000	0.228
2	1972	38.00	21.30	156.82	0.044	0.028	0.016	0.000	0.208
3	1973	32.00	22.00	139.78	0.067	0.040	0.027	0.001	0.188
4	1974	22.00	23.50	106.56	0.089	0.076	0.013	0.000	0.169
5	1975	26.00	23.60	104.50	0.111	0.079	0.033	0.001	0.151
6	1976	16.20	23.90	98.46	0.133	0.088	0.046	0.002	0.134
7	1977	24.40	24.40	88.79	0.156	0.104	0.051	0.003	0.119
8	1978	21.30	25.20	74.35	0.178	0.134	0.044	0.002	0.104
9	1979	23.50	26.00	61.20	0.200	0.168	0.032	0.001	0.090
10	1980	28.40	26.40	55.10	0.222	0.186	0.036	0.001	0.077
11	1981	43.50	26.80	49.32	0.244	0.205	0.040	0.002	0.065
12	1982	29.10	27.60	38.72	0.267	0.245	0.022	0.000	0.054
13	1983	36.70	28.30	30.50	0.289	0.281	0.008	0.000	0.045
14	1984	41.40	28.40	29.41	0.311	0.286	0.025	0.001	0.036
15	1985	40.30	29.10	22.30	0.333	0.324	0.010	0.000	0.028
16	1986	38.90	29.80	16.18	0.356	0.362	0.006	0.000	0.021
17	1987	39.70	30.60	10.39	0.378	0.405	0.027	0.001	0.015
18	1988	45.10	30.90	8.54	0.400	0.421	0.021	0.000	0.010
19	1989	33.70	31.60	4.94	0.422	0.459	0.036	0.001	0.006
20	1990	32.40	32.00	3.32	0.444	0.479	0.035	0.001	0.003
21	1991	23.60	32.30	2.32	0.467	0.495	0.028	0.001	0.001
22	1992	26.40	32.40	2.02	0.489	0.500	0.011	0.000	0.000
23	1993	47.00	33.00	0.68	0.511	0.530	0.019	0.000	0.000
24	1994	33.00	33.70	0.02	0.533	0.565	0.031	0.001	0.001
25	1995	48.60	34.80	0.96	0.556	0.615	0.060	0.004	0.003
26	1996	25.20	35.00	1.39	0.578	0.624	0.046	0.002	0.006
27	1997	23.90	35.30	2.18	0.600	0.637	0.037	0.001	0.010
28	1998	35.30	36.00	4.74	0.622	0.666	0.043	0.002	0.015
29	1999	57.60	36.70	8.28	0.644	0.693	0.048	0.002	0.021
30	2000	35.00	37.60	14.27	0.667	0.725	0.059	0.003	0.028
31	2001	34.80	38.00	17.45	0.689	0.739	0.050	0.002	0.036
32	2002	39.60	38.90	25.78	0.711	0.767	0.056	0.003	0.045
33	2003	31.60	39.50	32.23	0.733	0.785	0.051	0.003	0.054
34	2004	32.30	39.60	33.38	0.756	0.787	0.032	0.001	0.065
35	2005	26.80	39.70	34.54	0.778	0.790	0.012	0.000	0.077
36	2006	29.80	40.30	41.96	0.800	0.806	0.006	0.000	0.090
37	2007	30.90	41.40	57.42	0.822	0.833	0.010	0.000	0.104
38	2008	30.60	43.50	93.65	0.844	0.874	0.030	0.001	0.119
39	2009	27.60	45.10	127.18	0.867	0.899	0.033	0.001	0.134
40	2010	37.60	45.30	131.73	0.889	0.902	0.013	0.000	0.151
41	2011	39.50	47.00	173.64	0.911	0.923	0.012	0.000	0.169
42	2012	28.30	48.60	218.37	0.933	0.939	0.005	0.000	0.188
43	2013	45.30	49.30	239.55	0.956	0.945	0.011	0.000	0.208
44	2014	49.30	57.60	565.36	0.978	0.983	0.006	0.000	0.228
44			1488.20	3238.80	22.00		0.060	0.05	3.50
					0.50				

Fuente: Propia

Tabla N°4: Parámetros obtenidos de la distribución de Gumbel.

Parámetros obtenidos de la Distribución de Gumbel	
Media aritmética de la muestra	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 33.82 \text{ mm}$
Desviación Estándar de la muestra	$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 8.68 \text{ mm}$
Parámetros d, u (Gumbel)	$u = \bar{x} - 0.450047 * S = 29.916878$
	$d = \frac{1}{0.779696 * S} = 0.1477805$

Fuente: Propia

Figura N°20: Verificación de distribución en el software Hidroesta – Ajuste con parámetros ordinarios.

Ingreso de datos:
Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

N°	X
1	36.0
2	38.0
3	32.0
4	22.0
5	26.0
6	16.2
7	24.4
8	21.3
9	23.5
10	28.4
11	43.5
12	29.1
13	36.7
14	41.4

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	16.2	0.0222	0.0005	0.0013	0.0217
2	21.3	0.0444	0.0281	0.0385	0.0164
3	22.0	0.0667	0.0399	0.0522	0.0268
4	23.5	0.0889	0.0757	0.0915	0.0132
5	23.6	0.1111	0.0786	0.0946	0.0325
6	23.9	0.1333	0.0878	0.1043	0.0456
7	24.4	0.1556	0.1044	0.1215	0.0512
8	25.2	0.1778	0.1343	0.1520	0.0435

Caudal de diseño:
 Caudal (Q): _____ m³/s
 Período de retorno (T): _____ años
 Probabilidad (P): _____ %
 Q=(T) T=f(Q) P(Q<q) P(Q>q)

Parámetros distribución Gumbel:
Con momentos ordinarios:
 De posición (μ): 29.9168
 De escala (alfa): 6.7668
Con momentos lineales:
 De posición (μl): 29.7108
 De escala (alfa): 7.1238

Tipo de ajuste:
 Parámetros ordinarios
 Momentos lineales

Nivel significación:
 0.20
 0.10
 0.05
 0.01

Ajuste con momentos ordinarios:
 Como el delta teórico 0.0596, es menor que el delta tabular 0.2050. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Archivos y resultados:
 Crear Accesar Excel Reporte

1:30 PM 9/15/2022

Fuente: Hidroesta

Figura N°21: Verificación de distribución en el software Hidroesta – Ajuste con parámetros ordinarios.

Ingreso de datos:
Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

N°	X
1	36.0
2	38.0
3	32.0
4	22.0
5	26.0
6	16.2
7	24.4
8	21.3
9	23.5
10	28.4
11	43.5
12	29.1
13	36.7
14	41.4

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	16.2	0.0222	0.0005	0.0013	0.0209
2	21.3	0.0444	0.0281	0.0385	0.0059
3	22.0	0.0667	0.0399	0.0522	0.0144
4	23.5	0.0889	0.0757	0.0915	0.0026
5	23.6	0.1111	0.0786	0.0946	0.0165
6	23.9	0.1333	0.0878	0.1043	0.0291
7	24.4	0.1556	0.1044	0.1215	0.0340
8	25.2	0.1778	0.1343	0.1520	0.0257

Caudal de diseño:
 Caudal (Q): _____ m³/s
 Período de retorno (T): _____ años
 Probabilidad (P): _____ %
 Q=(T) T=f(Q) P(Q<q) P(Q>q)

Parámetros distribución Gumbel:
Con momentos ordinarios:
 De posición (μ): 29.9168
 De escala (alfa): 6.7668
Con momentos lineales:
 De posición (μl): 29.7108
 De escala (alfa): 7.1238

Tipo de ajuste:
 Parámetros ordinarios
 Momentos lineales

Nivel significación:
 0.20
 0.10
 0.05
 0.01

Ajuste con momentos lineales:
 Como el delta teórico 0.0574, es menor que el delta tabular 0.2050. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Archivos y resultados:
 Crear Accesar Excel Reporte

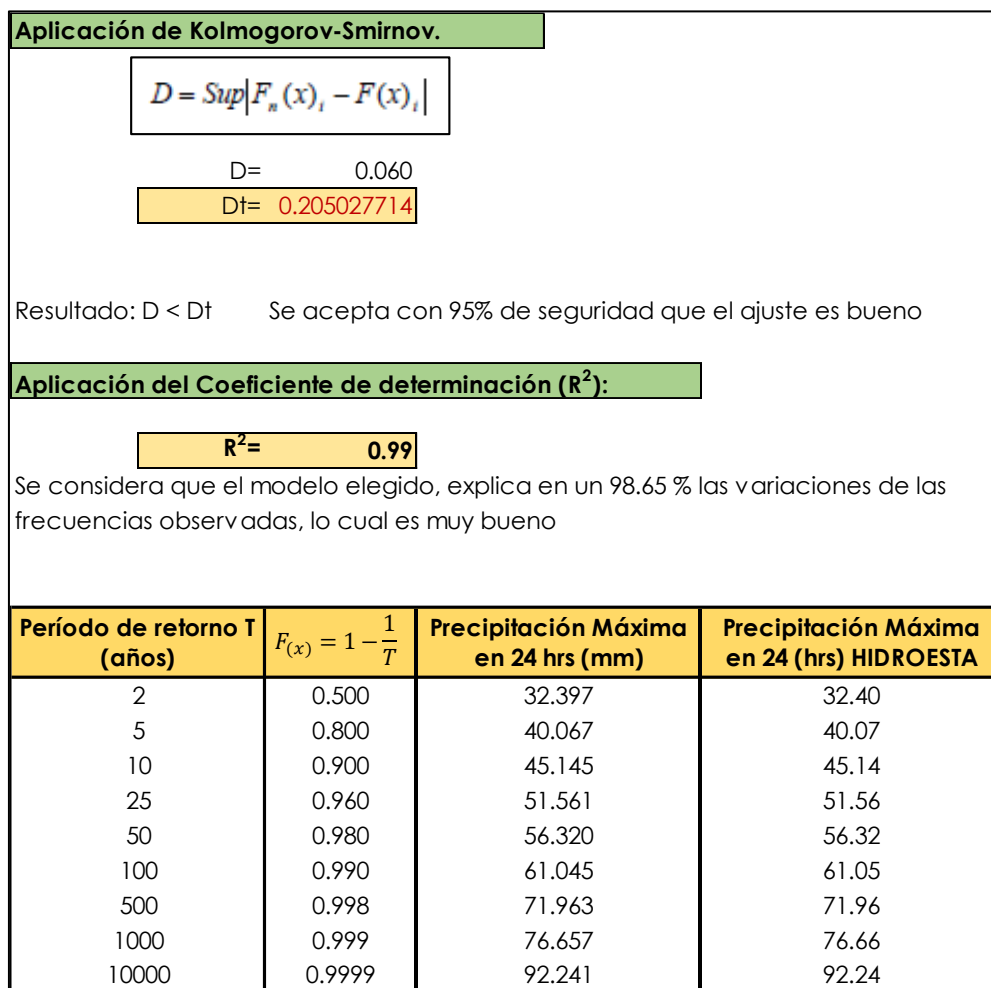
1:32 PM 9/15/2022

Fuente: Hidroesta

2.4. Prueba de ajuste de bondad

Se procedió a comprobar la distribución mediante la aplicación de la prueba de Kolmogorov – Smirnov, obteniendo como resultado que el modelo elegido, explica en un 98.65% las variaciones de las frecuencias observadas, lo cuál representa un buen ajuste en la distribución.

Figura N°22: Prueba de Kolmogorov – Smirnov.

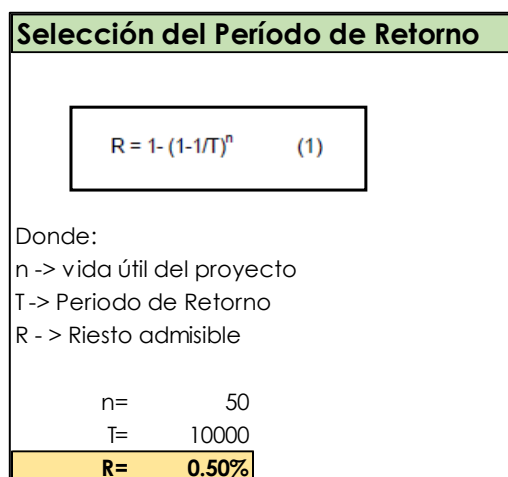


Fuente: Propia.

2.5. Periodo de retorno (T)

Se estima un tiempo de 50 años de vida útil del proyecto, para un periodo de retorno de máximas avenidas de 10000 años, se determina que el riesgo admisible es de 2.96%, menor al permitido (35 %) por el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC.

Figura N°23: Selección de periodo de retorno.



Fuente: Propia.

2.6. Tiempo de concentración (Tc)

Para determinar los tiempos de concentración de cada subcuenca que conforman la cuenca de la laguna Huangacocha, se han empleado los métodos de Kirpich y de California Culverts Practice.

Tabla N°5: Tiempos de concentración.

SUB CUENCA	ÁREA (Km²)	LONG. CAUCE (m)	Δ COTAS (m)	T. DE CONCENTRACIÓN MK	T. DE CONCENTRACIÓN MCPP	S (%)
W480	0.5498	1497.61	439	8.702	8.715	0.293
W490	0.2372	1227.55	442	6.898	6.909	0.360
W520	0.639	1557.96	362	9.810	9.825	0.232
W530	0.5202	1557.96	362	9.810	9.825	0.232
W550	0.4966	1557.96	362	9.810	9.825	0.232
W560	0.2298	1557.96	362	9.810	9.825	0.232
W580	0.1364	888.91	178	6.743	6.754	0.200
W590	0.1869	888.91	178	6.743	6.754	0.200
W610	0.3377	1555.83	649	7.823	7.835	0.417
W660	0.2703	1555.83	649	7.823	7.835	0.417
W670	0.9572	1555.83	649	7.823	7.835	0.417
W680	0.1925	1359.97	630	6.774	6.784	0.463
W700	0.5412	2196.54	479	13.096	13.116	0.218
W740	0.0208	2196.54	479	13.096	13.116	0.218
W770	0.1854	970.27	167	7.647	7.659	0.172
W780	0.0011	1039.85	490	5.473	5.482	0.471
W790	0.8155	1567.90	476	8.894	8.907	0.304
W800	0.4207	2247.07	266	16.862	16.888	0.118
W830	0.6014	1210.04	383	7.169	7.180	0.317
W870	0.0015	1210.04	383	7.169	7.180	0.317
W880	0.474	1331.69	522	7.108	7.119	0.392
W890	0.133	1331.69	522	7.108	7.119	0.392
W910	0.526	1594.12	458	9.201	9.215	0.287
W930	0.131	1594.12	458	9.201	9.215	0.287

Fuente: Propia.

2.7. Curvas IDF

Para la determinación de las curvas IDF se empleó el método del Soil Conservation Service (SCS).

$$I_{TR} = \frac{0.280049 * P_{\max 24h,TR}}{T^{0.6}} * 1.12$$

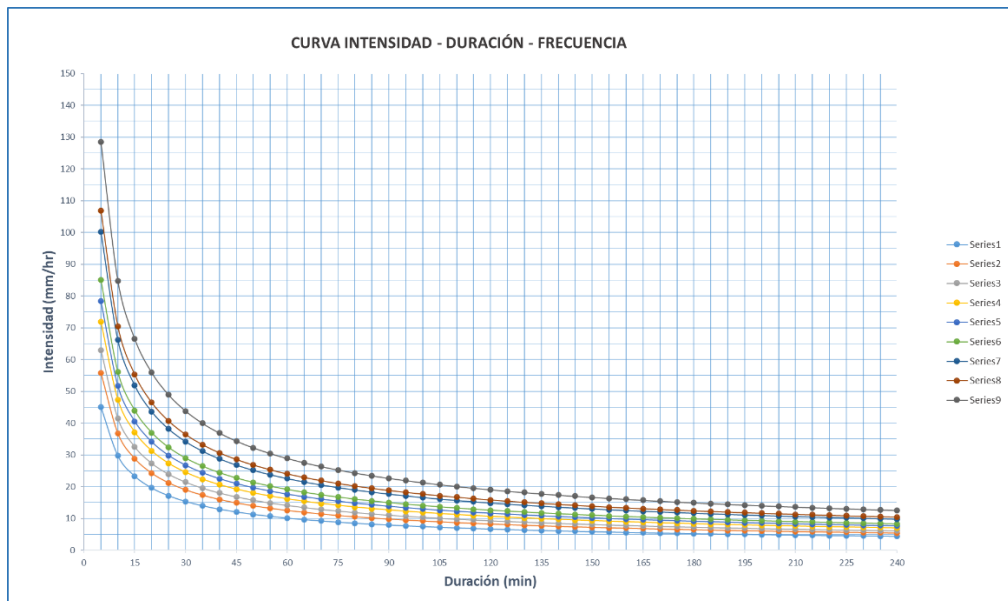
Tabla N°6: Intensidades máximas (mm/hr) – Método del SCS.

Duración (min)	T (años)								
	2	5	10	25	50	100	500	1000	10000
	Precip. Máx (en 24 hrs)								
5	45.134	55.819	62.881	71.825	78.456	85.045	100.243	106.790	128.493
10	29.777	36.827	41.486	47.387	51.761	56.108	66.135	70.455	84.774
15	23.347	28.874	32.527	37.154	40.584	43.992	51.854	55.240	66.467
20	19.646	24.297	27.371	31.264	34.150	37.018	43.633	46.483	55.930
25	17.184	21.252	23.941	27.346	29.870	32.379	38.165	40.658	48.921
30	15.403	19.050	21.460	24.512	26.775	29.024	34.211	36.445	43.852
35	14.043	17.367	19.564	22.347	24.410	26.460	31.188	33.225	39.978
40	12.961	16.030	18.058	20.626	22.530	24.423	28.787	30.667	36.900
45	12.077	14.936	16.826	19.219	20.993	22.756	26.823	28.575	34.382
50	11.337	14.021	15.795	18.042	19.707	21.362	25.180	26.824	32.276
55	10.707	13.242	14.917	17.039	18.612	20.175	23.780	25.333	30.482
60	10.162	12.568	14.158	16.172	17.665	19.149	22.571	24.045	28.932
65	9.686	11.979	13.494	15.414	16.837	18.251	21.512	22.917	27.575
70	9.265	11.458	12.908	14.743	16.104	17.457	20.577	21.921	26.376
75	8.889	10.993	12.384	14.146	15.451	16.749	19.742	21.032	25.306
80	8.551	10.576	11.914	13.608	14.865	16.113	18.992	20.233	24.345
85	8.246	10.198	11.488	13.122	14.334	15.537	18.314	19.510	23.475
90	7.968	9.854	11.101	12.680	13.850	15.014	17.697	18.852	22.684
95	7.714	9.540	10.747	12.275	13.408	14.534	17.132	18.251	21.960
100	7.480	9.250	10.421	11.903	13.002	14.094	16.612	17.697	21.294
105	7.264	8.984	10.120	11.560	12.627	13.687	16.133	17.187	20.680
110	7.064	8.736	9.842	11.241	12.279	13.310	15.689	16.714	20.111
115	6.878	8.506	9.583	10.946	11.956	12.960	15.276	16.274	19.581
120	6.705	8.292	9.341	10.670	11.655	12.633	14.891	15.864	19.088
125	6.542	8.091	9.115	10.411	11.373	12.328	14.531	15.480	18.626
130	6.390	7.903	8.903	10.169	11.108	12.041	14.193	15.120	18.193
135	6.247	7.726	8.704	9.942	10.859	11.771	13.875	14.781	17.785
140	6.112	7.559	8.516	9.727	10.625	11.517	13.576	14.462	17.401
145	5.985	7.402	8.338	9.524	10.404	11.277	13.293	14.161	17.039
150	5.865	7.253	8.171	9.333	10.194	11.050	13.025	13.876	16.696
155	5.750	7.112	8.011	9.151	9.996	10.835	12.771	13.605	16.371
160	5.642	6.977	7.860	8.978	9.807	10.631	12.530	13.349	16.062
165	5.539	6.850	7.716	8.814	9.628	10.436	12.301	13.105	15.768
170	5.440	6.728	7.579	8.657	9.457	10.251	12.083	12.872	15.488
175	5.346	6.612	7.449	8.508	9.294	10.074	11.874	12.650	15.221
180	5.257	6.501	7.324	8.366	9.138	9.905	11.675	12.438	14.966
185	5.171	6.395	7.204	8.229	8.989	9.744	11.485	12.235	14.722
190	5.089	6.294	7.090	8.098	8.846	9.589	11.303	12.041	14.488
195	5.010	6.196	6.980	7.973	8.709	9.441	11.128	11.855	14.264
200	4.935	6.103	6.875	7.853	8.578	9.298	10.960	11.676	14.049
205	4.862	6.013	6.774	7.738	8.452	9.162	10.799	11.504	13.842
210	4.792	5.927	6.677	7.626	8.331	9.030	10.644	11.339	13.644
215	4.725	5.844	6.583	7.520	8.214	8.904	10.495	11.180	13.452
220	4.661	5.764	6.493	7.417	8.101	8.782	10.351	11.027	13.268
225	4.598	5.687	6.406	7.317	7.993	8.664	10.212	10.879	13.090
230	4.538	5.612	6.322	7.221	7.888	8.551	10.079	10.737	12.919
235	4.480	5.540	6.241	7.129	7.787	8.441	9.949	10.599	12.753
240	4.423	5.471	6.163	7.039	7.689	8.335	9.824	10.466	12.593
245	4.369	5.403	6.087	6.953	7.595	8.232	9.704	10.337	12.438

250	4.316	5.338	6.014	6.869	7.503	8.133	9.587	10.213	12.288
255	4.265	5.275	5.943	6.788	7.414	8.037	9.473	10.092	12.143
260	4.216	5.214	5.874	6.709	7.329	7.944	9.364	9.975	12.003
265	4.168	5.155	5.807	6.633	7.245	7.854	9.257	9.862	11.866
270	4.122	5.097	5.742	6.559	7.165	7.766	9.154	9.752	11.734
275	4.077	5.042	5.679	6.487	7.086	7.681	9.054	9.645	11.605
280	4.033	4.987	5.618	6.417	7.010	7.599	8.957	9.542	11.481
285	3.990	4.935	5.559	6.350	6.936	7.518	8.862	9.441	11.359
290	3.949	4.883	5.501	6.284	6.864	7.440	8.770	9.343	11.241
295	3.908	4.834	5.445	6.220	6.794	7.364	8.680	9.247	11.127
300	3.869	4.785	5.391	6.157	6.726	7.290	8.593	9.155	11.015
305	3.831	4.738	5.337	6.096	6.659	7.219	8.509	9.064	10.906
310	3.794	4.692	5.286	6.037	6.595	7.148	8.426	8.976	10.801
315	3.758	4.647	5.235	5.980	6.532	7.080	8.345	8.890	10.697
320	3.722	4.603	5.186	5.923	6.470	7.014	8.267	8.807	10.597
325	3.688	4.561	5.138	5.868	6.410	6.949	8.190	8.725	10.499
330	3.654	4.519	5.091	5.815	6.352	6.885	8.116	8.646	10.403
335	3.621	4.479	5.045	5.763	6.295	6.823	8.043	8.568	10.309
340	3.589	4.439	5.001	5.712	6.239	6.763	7.972	8.492	10.218
345	3.558	4.400	4.957	5.662	6.185	6.704	7.902	8.418	10.129
350	3.527	4.362	4.914	5.613	6.131	6.646	7.834	8.346	10.042
355	3.497	4.325	4.873	5.566	6.080	6.590	7.768	8.275	9.957
360	3.468	4.289	4.832	5.519	6.029	6.535	7.703	8.206	9.874

Fuente: Propia.

Gráfico N°3: Curvas IDF.



Fuente: Propia.

2.8. Distribución de la precipitación para distintos periodos de retorno

Se ha realizado un modelo de lluvia para un modelo de precipitación de 6 horas para distintos periodos de retorno.

Tabla N°7: Distribución de lluvia T=500 años

Instante	Intensidad (mm/hr)	Precip acumulada (mm)	Precip (mm)	Precipitación alternada (mm)
5	100.24	8.35	8.35	0.26
10	66.14	11.02	2.67	0.27
15	51.85	12.96	1.94	0.27
20	43.63	14.54	1.58	0.28
25	38.17	15.90	1.36	0.28
30	34.21	17.11	1.20	0.29
35	31.19	18.19	1.09	0.29
40	28.79	19.19	1.00	0.30
45	26.82	20.12	0.93	0.31
50	25.18	20.98	0.87	0.31
55	23.78	21.80	0.82	0.32
60	22.57	22.57	0.77	0.33
65	21.51	23.30	0.73	0.34
70	20.58	24.01	0.70	0.35
75	19.74	24.68	0.67	0.36
80	18.99	25.32	0.65	0.37
85	18.31	25.94	0.62	0.38
90	17.70	26.54	0.60	0.39
95	17.13	27.13	0.58	0.41
100	16.61	27.69	0.56	0.42
105	16.13	28.23	0.55	0.44
110	15.69	28.76	0.53	0.46
115	15.28	29.28	0.52	0.48
120	14.89	29.78	0.50	0.50
125	14.53	30.27	0.49	0.53
130	14.19	30.75	0.48	0.56
135	13.88	31.22	0.47	0.60
140	13.58	31.68	0.46	0.65
145	13.29	32.12	0.45	0.70
150	13.03	32.56	0.44	0.77
155	12.77	32.99	0.43	0.87
160	12.53	33.41	0.42	1.00
165	12.30	33.83	0.41	1.20
170	12.08	34.23	0.41	1.58
175	11.87	34.63	0.40	2.67
180	11.68	35.03	0.39	8.35
185	11.48	35.41	0.39	1.94
190	11.30	35.79	0.38	1.36
195	11.13	36.17	0.37	1.09
200	10.96	36.53	0.37	0.93
205	10.80	36.90	0.36	0.82
210	10.64	37.25	0.36	0.73
215	10.49	37.61	0.35	0.67
220	10.35	37.95	0.35	0.62
225	10.21	38.30	0.34	0.58
230	10.08	38.63	0.34	0.55
235	9.95	38.97	0.33	0.52
240	9.82	39.30	0.33	0.49
245	9.70	39.62	0.33	0.47
250	9.59	39.94	0.32	0.45
255	9.47	40.26	0.32	0.43
260	9.36	40.58	0.31	0.41
265	9.26	40.89	0.31	0.40
270	9.15	41.19	0.31	0.39
275	9.05	41.50	0.30	0.37
280	8.96	41.80	0.30	0.36
285	8.86	42.09	0.30	0.35
290	8.77	42.39	0.29	0.34
295	8.68	42.68	0.29	0.33
300	8.59	42.97	0.29	0.33
305	8.51	43.25	0.29	0.32
310	8.43	43.53	0.28	0.31
315	8.35	43.81	0.28	0.30
320	8.27	44.09	0.28	0.30
325	8.19	44.36	0.27	0.29
330	8.12	44.64	0.27	0.29
335	8.04	44.91	0.27	0.28
340	7.97	45.17	0.27	0.27
345	7.90	45.44	0.26	0.27
350	7.83	45.70	0.26	0.26
355	7.77	45.96	0.26	0.26
360	7.70	46.22	0.26	0.26

Fuente: Propia.

Tabla N°8: Distribución de lluvia T=1000 años

Instante	Intensidad (mm/hr)	Precip acumulada (mm)	Precip (mm)	Precipitación alternada (mm)
5	106.79	8.90	8.90	0.28
10	70.45	11.74	2.84	0.28
15	55.24	13.81	2.07	0.29
20	46.48	15.49	1.68	0.29
25	40.66	16.94	1.45	0.30
30	36.45	18.22	1.28	0.31
35	33.23	19.38	1.16	0.31
40	30.67	20.44	1.06	0.32
45	28.57	21.43	0.99	0.33
50	26.82	22.35	0.92	0.33
55	25.33	23.22	0.87	0.34
60	24.04	24.04	0.82	0.35
65	22.92	24.83	0.78	0.36
70	21.92	25.57	0.75	0.37
75	21.03	26.29	0.72	0.38
80	20.23	26.98	0.69	0.39
85	19.51	27.64	0.66	0.40
90	18.85	28.28	0.64	0.42
95	18.25	28.90	0.62	0.43
100	17.70	29.50	0.60	0.45
105	17.19	30.08	0.58	0.47
110	16.71	30.64	0.56	0.49
115	16.27	31.19	0.55	0.51
120	15.86	31.73	0.54	0.54
125	15.48	32.25	0.52	0.56
130	15.12	32.76	0.51	0.60
135	14.78	33.26	0.50	0.64
140	14.46	33.75	0.49	0.69
145	14.16	34.22	0.48	0.75
150	13.88	34.69	0.47	0.82
155	13.61	35.15	0.46	0.92
160	13.35	35.60	0.45	1.06
165	13.10	36.04	0.44	1.28
170	12.87	36.47	0.43	1.68
175	12.65	36.90	0.43	2.84
180	12.44	37.31	0.42	8.90
185	12.24	37.72	0.41	2.07
190	12.04	38.13	0.40	1.45
195	11.85	38.53	0.40	1.16
200	11.68	38.92	0.39	0.99
205	11.50	39.31	0.39	0.87
210	11.34	39.69	0.38	0.78
215	11.18	40.06	0.38	0.72
220	11.03	40.43	0.37	0.66
225	10.88	40.80	0.37	0.62
230	10.74	41.16	0.36	0.58
235	10.60	41.51	0.36	0.55
240	10.47	41.86	0.35	0.52
245	10.34	42.21	0.35	0.50
250	10.21	42.55	0.34	0.48
255	10.09	42.89	0.34	0.46
260	9.98	43.23	0.33	0.44
265	9.86	43.56	0.33	0.43
270	9.75	43.88	0.33	0.41
275	9.65	44.21	0.32	0.40
280	9.54	44.53	0.32	0.39
285	9.44	44.84	0.32	0.38
290	9.34	45.16	0.31	0.37
295	9.25	45.47	0.31	0.36
300	9.15	45.77	0.31	0.35
305	9.06	46.08	0.30	0.34
310	8.98	46.38	0.30	0.33
315	8.89	46.68	0.30	0.32
320	8.81	46.97	0.29	0.32
325	8.73	47.26	0.29	0.31
330	8.65	47.55	0.29	0.30
335	8.57	47.84	0.29	0.30
340	8.49	48.12	0.28	0.29
345	8.42	48.40	0.28	0.29
350	8.35	48.68	0.28	0.28
355	8.28	48.96	0.28	0.28
360	8.21	49.24	0.27	0.27

Fuente: Propia.

Tabla N°9: Distribución de lluvia T=10000 años

Instante	Intensidad (mm/hr)	Precip acumulada (mm)	Precip (mm)	Precipitación alternada (mm)
5	128.49	10.71	10.71	0.34
10	84.77	14.13	3.42	0.34
15	66.47	16.62	2.49	0.35
20	55.93	18.64	2.03	0.35
25	48.92	20.38	1.74	0.36
30	43.85	21.93	1.54	0.37
35	39.98	23.32	1.39	0.38
40	36.90	24.60	1.28	0.38
45	34.38	25.79	1.19	0.39
50	32.28	26.90	1.11	0.40
55	30.48	27.94	1.05	0.41
60	28.93	28.93	0.99	0.42
65	27.57	29.87	0.94	0.43
70	26.38	30.77	0.90	0.45
75	25.31	31.63	0.86	0.46
80	24.34	32.46	0.83	0.47
85	23.48	33.26	0.80	0.49
90	22.68	34.03	0.77	0.50
95	21.96	34.77	0.74	0.52
100	21.29	35.49	0.72	0.54
105	20.68	36.19	0.70	0.56
110	20.11	36.87	0.68	0.59
115	19.58	37.53	0.66	0.61
120	19.09	38.18	0.64	0.64
125	18.63	38.80	0.63	0.68
130	18.19	39.42	0.61	0.72
135	17.79	40.02	0.60	0.77
140	17.40	40.60	0.59	0.83
145	17.04	41.18	0.57	0.90
150	16.70	41.74	0.56	0.99
155	16.37	42.29	0.55	1.11
160	16.06	42.83	0.54	1.28
165	15.77	43.36	0.53	1.54
170	15.49	43.88	0.52	2.03
175	15.22	44.39	0.51	3.42
180	14.97	44.90	0.50	10.71
185	14.72	45.39	0.49	2.49
190	14.49	45.88	0.49	1.74
195	14.26	46.36	0.48	1.39
200	14.05	46.83	0.47	1.19
205	13.84	47.29	0.46	1.05
210	13.64	47.75	0.46	0.94
215	13.45	48.20	0.45	0.86
220	13.27	48.65	0.45	0.80
225	13.09	49.09	0.44	0.74
230	12.92	49.52	0.43	0.70
235	12.75	49.95	0.43	0.66
240	12.59	50.37	0.42	0.63
245	12.44	50.79	0.42	0.60
250	12.29	51.20	0.41	0.57
255	12.14	51.61	0.41	0.55
260	12.00	52.01	0.40	0.53
265	11.87	52.41	0.40	0.51
270	11.73	52.80	0.39	0.49
275	11.61	53.19	0.39	0.48
280	11.48	53.58	0.38	0.46
285	11.36	53.96	0.38	0.45
290	11.24	54.33	0.38	0.44
295	11.13	54.71	0.37	0.43
300	11.02	55.08	0.37	0.42
305	10.91	55.44	0.37	0.41
310	10.80	55.80	0.36	0.40
315	10.70	56.16	0.36	0.39
320	10.60	56.52	0.35	0.38
325	10.50	56.87	0.35	0.37
330	10.40	57.22	0.35	0.37
335	10.31	57.56	0.35	0.36
340	10.22	57.90	0.34	0.35
345	10.13	58.24	0.34	0.35
350	10.04	58.58	0.34	0.34
355	9.96	58.91	0.33	0.33
360	9.87	59.24	0.33	0.33

Fuente: Propia.

3. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

3.1. Determinación de Caudal de diseño

Del modelo hidrológico realizado (Figura N°18) se obtuvieron los siguientes resultados de caudales para los siguientes periodos de retorno: 500, 1000 y 10000, en función a las distribuciones de lluvia previamente determinadas en la hidrología.

Figura N°24: Resultados Hec-Hms T=500

Project: SubC_Tesis Simulation Run: Run_TR500

Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: Tesis
 End of Run: 01ene.2000, 06:00 Meteorologic Model: TR_500
 Compute Time: 24nov.2023, 10:36:21 Control Specifications: Control_TR500

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
W830	0.6	3.0	1 January 2000, 0...	11.66
W800	0.4	1.4	1 January 2000, 0...	11.46
W790	0.8	3.9	1 January 2000, 0...	11.64
W780	0.0	0.0	1 January 2000, 0...	11.66
W770	0.2	0.9	1 January 2000, 0...	11.66
W740	0.0	0.1	1 January 2000, 0...	11.55
W890	0.1	0.7	1 January 2000, 0...	11.66
W700	0.5	2.1	1 January 2000, 0...	11.55
W680	0.2	1.0	1 January 2000, 0...	11.66
W670	1.0	4.8	1 January 2000, 0...	11.66
W660	0.3	1.4	1 January 2000, 0...	11.66
W930	0.1	0.6	1 January 2000, 0...	11.64
W610	0.3	1.7	1 January 2000, 0...	11.66
W590	0.2	0.9	1 January 2000, 0...	11.66
W580	0.1	0.7	1 January 2000, 0...	11.66
W560	0.2	1.1	1 January 2000, 0...	11.62
W550	0.5	2.3	1 January 2000, 0...	11.62
W910	0.5	2.5	1 January 2000, 0...	11.64
W530	0.5	2.4	1 January 2000, 0...	11.62
W520	0.6	2.9	1 January 2000, 0...	11.62
W880	0.5	2.4	1 January 2000, 0...	11.66
W870	0.0	0.0	1 January 2000, 0...	11.66
W490	0.2	1.2	1 January 2000, 0...	11.66
W480	0.5	2.7	1 January 2000, 0...	11.65
Salida	8.6	4.3	1 January 2000, 0...	4.34
J148	8.0	4.8	1 January 2000, 0...	4.04
J151	4.4	4.4	1 January 2000, 0...	7.87
J154	1.1	2.6	1 January 2000, 0...	10.50
J157	0.6	1.7	1 January 2000, 0...	11.39
J162	1.3	1.3	1 January 2000, 0...	9.77
J165	5.0	3.0	1 January 2000, 0...	4.69
J168	0.2	1.0	1 January 2000, 0...	11.66
J171	7.6	5.2	1 January 2000, 0...	3.79
J174	2.3	2.0	1 January 2000, 0...	8.91
J177	0.1	0.6	1 January 2000, 0...	11.64
J180	0.5	1.8	1 January 2000, 0...	11.22
J183	0.4	2.0	1 January 2000, 0...	11.64
J186	1.4	1.6	1 January 2000, 0...	9.90
J191	0.5	2.3	1 January 2000, 0...	11.62
J194	0.7	2.6	1 January 2000, 0...	11.40
J199	2.1	3.2	1 January 2000, 0...	9.62
J202	1.1	3.0	1 January 2000, 0...	11.16

Fuente: Propia.

Figura N°25: Resultados Hec-Hms T=1000

Global Summary Results for Run "Run_TR1000"

Project: SubC_Tesis Simulation Run: Run_TR1000

Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: Tesis
 End of Run: 01ene.2000, 06:00 Meteorologic Model: TR_1000
 Compute Time: 24nov.2023, 10:37:14 Control Specifications: Control_TR1000

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
W830	0.6	3.5	1 January 2000, 0...	13.31
W800	0.4	1.7	1 January 2000, 0...	13.09
W790	0.8	4.6	1 January 2000, 0...	13.29
W780	0.0	0.0	1 January 2000, 0...	13.31
W770	0.2	1.1	1 January 2000, 0...	13.31
W740	0.0	0.1	1 January 2000, 0...	13.19
W890	0.1	0.8	1 January 2000, 0...	13.31
W700	0.5	2.5	1 January 2000, 0...	13.19
W680	0.2	1.1	1 January 2000, 0...	13.31
W670	1.0	5.6	1 January 2000, 0...	13.31
W660	0.3	1.6	1 January 2000, 0...	13.31
W930	0.1	0.7	1 January 2000, 0...	13.28
W610	0.3	2.0	1 January 2000, 0...	13.31
W590	0.2	1.1	1 January 2000, 0...	13.31
W580	0.1	0.8	1 January 2000, 0...	13.31
W560	0.2	1.2	1 January 2000, 0...	13.27
W550	0.5	2.7	1 January 2000, 0...	13.27
W910	0.5	3.0	1 January 2000, 0...	13.28
W530	0.5	2.8	1 January 2000, 0...	13.27
W520	0.6	3.5	1 January 2000, 0...	13.27
W880	0.5	2.8	1 January 2000, 0...	13.31
W870	0.0	0.0	1 January 2000, 0...	13.31
W490	0.2	1.4	1 January 2000, 0...	13.31
W480	0.5	3.2	1 January 2000, 0...	13.30
Salida	8.6	5.0	1 January 2000, 0...	4.97
J148	8.0	5.6	1 January 2000, 0...	4.62
J151	4.4	5.1	1 January 2000, 0...	9.04
J154	1.1	3.1	1 January 2000, 0...	12.01
J157	0.6	2.0	1 January 2000, 0...	13.01
J162	1.3	1.5	1 January 2000, 0...	11.19
J165	5.0	3.4	1 January 2000, 0...	5.38
J168	0.2	1.1	1 January 2000, 0...	13.31
J171	7.6	6.2	1 January 2000, 0...	4.34
J174	2.3	2.4	1 January 2000, 0...	10.22
J177	0.1	0.7	1 January 2000, 0...	13.28
J180	0.5	2.1	1 January 2000, 0...	12.81
J183	0.4	2.3	1 January 2000, 0...	13.29
J186	1.4	1.9	1 January 2000, 0...	11.35
J191	0.5	2.7	1 January 2000, 0...	13.27
J194	0.7	3.1	1 January 2000, 0...	13.02
J199	2.1	3.7	1 January 2000, 0...	11.02
J202	1.1	3.5	1 January 2000, 0...	12.75

Fuente: Propia.

Figura N°26: Resultados Hec-Hms T=10000

Global Summary Results for Run "Run_TR10000"

Project: SubC_Tesis Simulation Run: Run_TR10000

Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: Tesis
 End of Run: 02ene.2000, 00:00 Meteorologic Model: TR_10000
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control_TR10000

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
W830	0.6	27.1	1 January 2000, 0...	90.25
W800	0.4	13.9	1 January 2000, 0...	90.25
W790	0.8	35.8	1 January 2000, 0...	90.25
W780	0.0	0.0	1 January 2000, 0...	90.25
W770	0.2	8.4	1 January 2000, 0...	90.25
W740	0.0	0.8	1 January 2000, 0...	90.25
W890	0.1	6.0	1 January 2000, 0...	90.25
W700	0.5	20.1	1 January 2000, 0...	90.25
W680	0.2	8.7	1 January 2000, 0...	90.25
W670	1.0	43.1	1 January 2000, 0...	90.25
W660	0.3	12.2	1 January 2000, 0...	90.25
W930	0.1	5.6	1 January 2000, 0...	90.25
W610	0.3	15.2	1 January 2000, 0...	90.25
W590	0.2	8.4	1 January 2000, 0...	90.25
W580	0.1	6.1	1 January 2000, 0...	90.25
W560	0.2	9.7	1 January 2000, 0...	90.25
W550	0.5	20.9	1 January 2000, 0...	90.25
W910	0.5	22.7	1 January 2000, 0...	90.25
W530	0.5	21.9	1 January 2000, 0...	90.25
W520	0.6	26.9	1 January 2000, 0...	90.25
W880	0.5	21.4	1 January 2000, 0...	90.25
W870	0.0	0.1	1 January 2000, 0...	90.25
W490	0.2	10.7	1 January 2000, 0...	90.25
W480	0.5	24.4	1 January 2000, 0...	90.25
Salida	8.6	64.93	1 January 2000, 0...	90.12
J148	8.0	48.5	1 January 2000, 0...	90.12
J151	4.4	41.0	1 January 2000, 0...	90.25
J154	1.1	25.1	1 January 2000, 0...	90.25
J157	0.6	17.3	1 January 2000, 0...	90.25
J162	1.3	12.7	1 January 2000, 0...	90.25
J165	5.0	23.7	1 January 2000, 0...	90.25
J168	0.2	8.7	1 January 2000, 0...	90.25
J171	7.6	49.6	1 January 2000, 0...	90.12
J174	2.3	20.8	1 January 2000, 0...	90.25
J177	0.1	5.6	1 January 2000, 0...	90.25
J180	0.5	17.0	1 January 2000, 0...	90.25
J183	0.4	18.0	1 January 2000, 0...	90.25
J186	1.4	15.8	1 January 2000, 0...	90.25
J191	0.5	20.9	1 January 2000, 0...	90.25
J194	0.7	23.9	1 January 2000, 0...	90.25
J199	2.1	30.5	1 January 2000, 0...	90.25
J202	1.1	29.2	1 January 2000, 0...	90.25

Fuente: Propia.

4. HIDRÁULICA

4.1. Diseño hidráulico del aliviadero de descarga libre

Para realizar el diseño se está usando el caudal más desfavorable de 64.93 m³/s en función al periodo de retorno de 10000 años.

4.1.1. Cálculo del coeficiente de descarga

Para calcular el coeficiente de descarga (Co) emplearemos el gráfico desarrollado por el U.S. Bureau of Reclamation (USBR), partiendo de la siguiente ecuación:

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

Teniendo los siguientes datos:

Q: Gasto de diseño = 64.93 (m³/s)

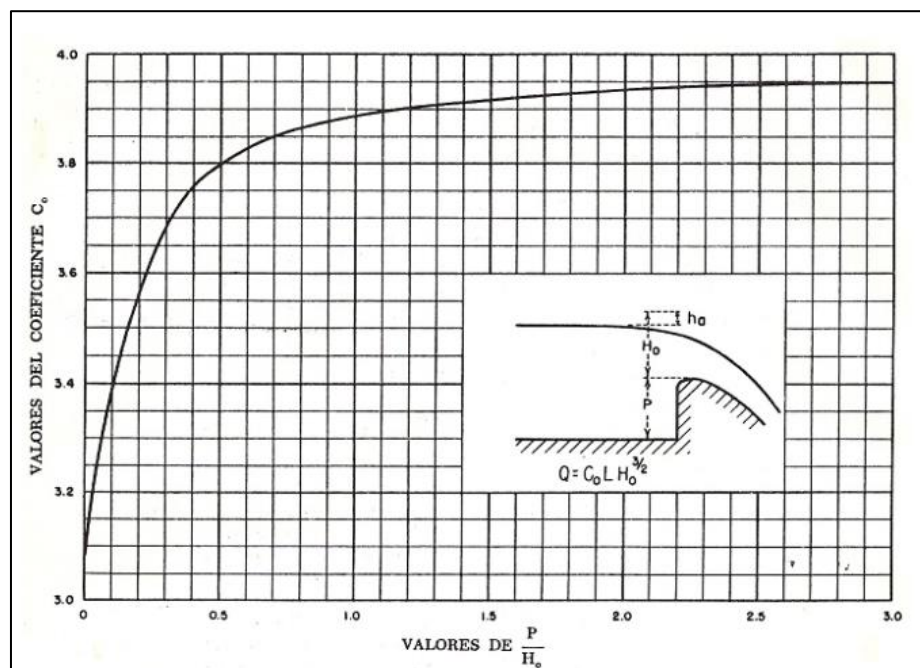
Co: Coeficiente de descarga (a determinar por gráfico)

L: Longitud de la creta = 60.00 m

Ho: Carga de diseño o carga hidráulica (empezamos asumiendo el valor de 0.7)

P = 1.73

Gráfico N°4: Coeficientes de descarga para las crestas de cimacio en pared vertical.



Fuente: U.S. Bureau of Reclamation (USBR).

Siendo $P/H_0 = 2.47$, del gráfico podemos obtener el valor de $C_o = 3.95$ en unidades inglesas y 2.18 en unidades internacionales. Realizamos el siguiente proceso iterativo para concluir el valor de H_0 :

H0	P/H0	Co	H (m)
0.7	2.47	2.16	0.63
0.63	2.74	2.17	0.63
0.63	2.75	2.18	0.63
0.63	2.75	2.18	0.63

Determinando como 0.63 el valor de H_0 .

4.1.2. Diseño del vertedero tipo Creager

Teniendo como datos los siguientes:

Vertedero

$$C_o = 2.18$$

$$H = 0.630 \text{ m}$$

Geometría del cimacio

$$\text{Talud} = 0.5$$

$$\text{Inicio de talud} = 1.561$$

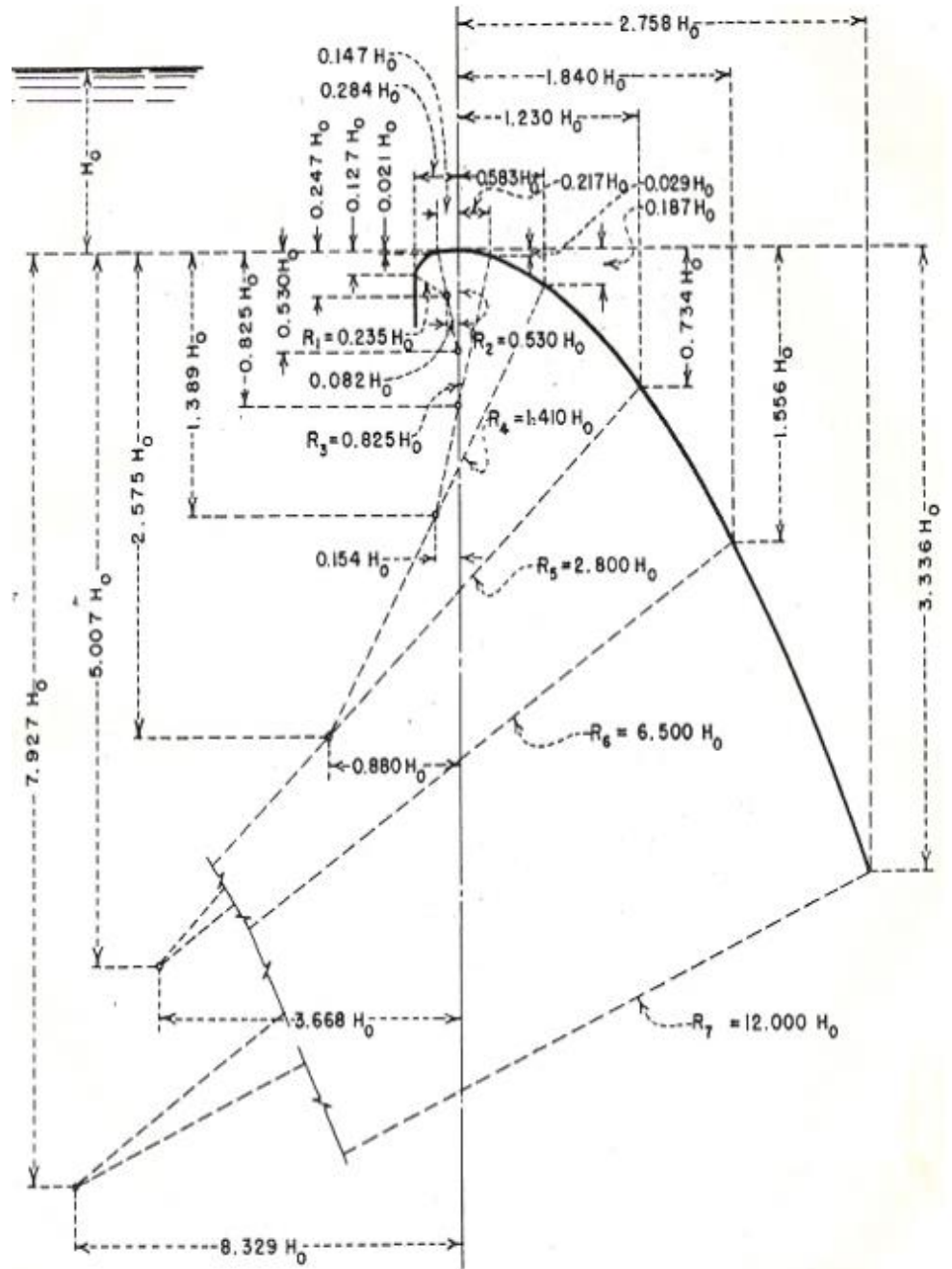
$$\text{Cota de fondo} = 3834.70 \text{ msnm}$$

$$\text{Altura de muro} = 2.50 \text{ m}$$

$$\text{Cota de cresta} = 3837.20 \text{ msnm}$$

Aplicamos la forma simplificada, empleamos el perfil basado en arcos de circunferencia, el cual evita resolver la ecuación exponencial general.

Gráfico N°5: Sección de cresta de cimacio formada por curvas compuestas.



Fuente: U.S. Bureau of Reclamation (USBR).

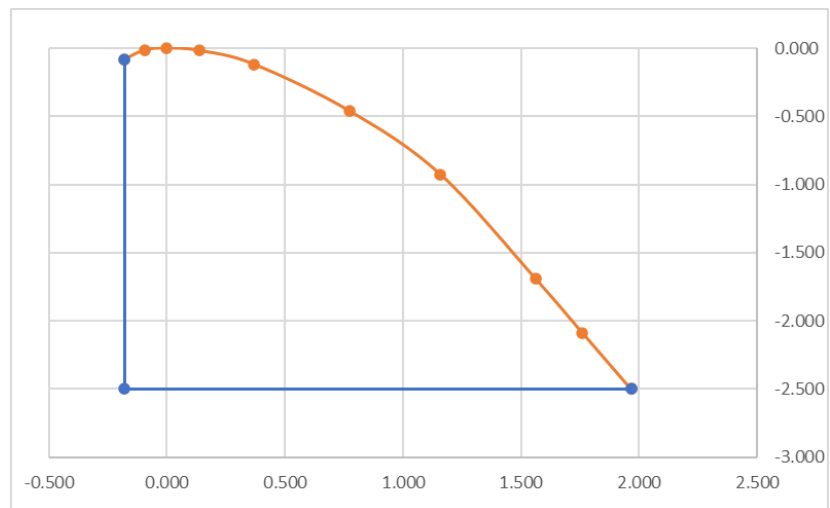
Obteniendo los siguientes valores del perfil del cimacio en función al Gráfico N°5:

Tabla N°10: Cálculo del perfil del cimacio en la entrada.

X	Y	Cota	Talud X:Y
-0.179	-0.080	3837.12	
-0.093	-0.013	3837.187	1.29
0.000	0.000	3837.20	7.00
0.137	-0.018	3837.18	-7.48
0.367	-0.118	3837.08	-2.32
0.775	-0.462	3836.74	-1.18
1.159	-0.926	3836.27	-0.83
1.561	-1.688	3835.51	-0.53
1.761	-2.088	3835.11	-0.50
1.967	-2.500	3834.70	-0.50

Fuente: Propia.

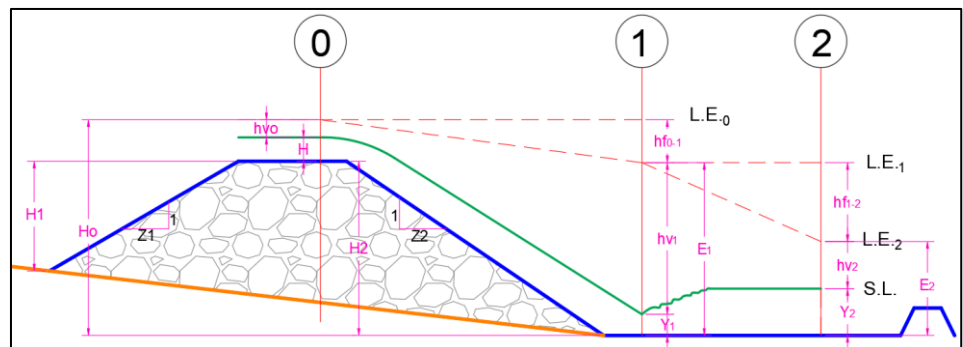
Gráfico N°6: Perfil del cimacio.



Fuente: Propia.

4.1.3. Diseño del estanque amortiguador

Figura N°27: Dimensionamiento de estanque amortiguador



En función al dimensionamiento del estanque amortiguador, obtenemos los siguientes cálculos, verificándolos con los datos previamente obtenidos:

Longitud de vertedero (L) (m)	60.00	V_1 (m/s)	7.83
Caudal (m^3/s)	64.93	$V_1^2/2g$ (m)	3.13
Carga sobre vertedero h_o (m)	0.63	Y_1 (m)	0.138
Velocidad V_o (m/s)	1.72	h_{f0-1} (m)	0.015
Altura de velocidad $V_o^2/2g$ (m)	0.15	H1 (m)	3.28
Energía total H_o (m)	3.28		

Verificación:

CAUDAL CHEQUEO (V_1*Y_1*L)	64.93
ERROR (Q = Q chequeo)	0.00
ERROR 2 ($H_o = H_1$)	0.00

Verificados los cálculos de la sección 0-2, obtenemos los cálculos restantes:

E1 (m)	3.27
F1	6.73
Y_2 (m)	1.25
V_2 (m/s)	0.87
$V_2^2/2g$ (m)	0.04
h_{f1-2} (m)	1.98
H2 (m)	3.27
F_2 (m)	0.25
L amortiguador =	6.66
L amortiguador =	7.00

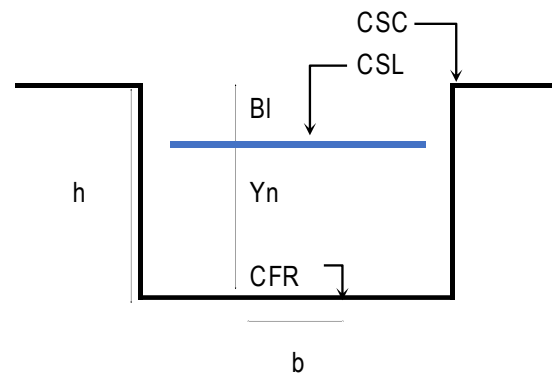
4.2. Diseño de transición

Para el diseño de la transición, empleamos las fórmulas fundamentales de hidráulica de canales abiertos para dimensionar el canal de ingreso, el canal de salida y la transición.

- Canal de ingreso

Q =	64.93 m ³ /s
b =	60.000 m
Z =	0.000
n =	0.014
yn =	0.65 m
A =	38.915 m
P =	61.297
S =	0.0010
R =	0.635
VSC =	1.668 m/s
hvSC =	0.142 m
E(S.C.) =	0.790 m
Error =	0.000

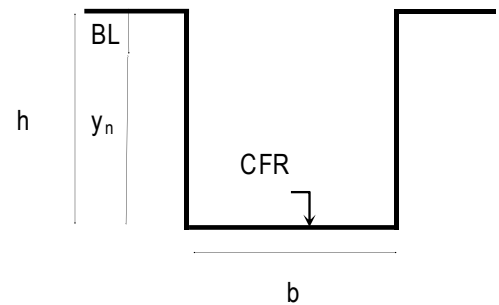
BI =	3.35 m
h =	4.00 m
T =	60.00 m



- Canal de salida

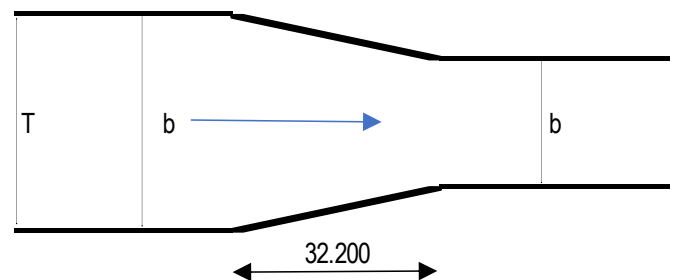
b =	6.000 m
Z =	0.000
n =	0.014
yn =	0.729 m
A =	4.375 m
P =	7.458
S =	0.1700
R =	0.587
V =	20.638 m/s
hv =	21.709 m
E =	22.438 m
Error =	25.365

BI =	2.77 m
h =	3.50 m
T =	6.00 m



- Longitud de transición

Alfa =	40 °
Tan (alfa) =	0.839
Lt =	32.177 m
Lt (final) =	32.200

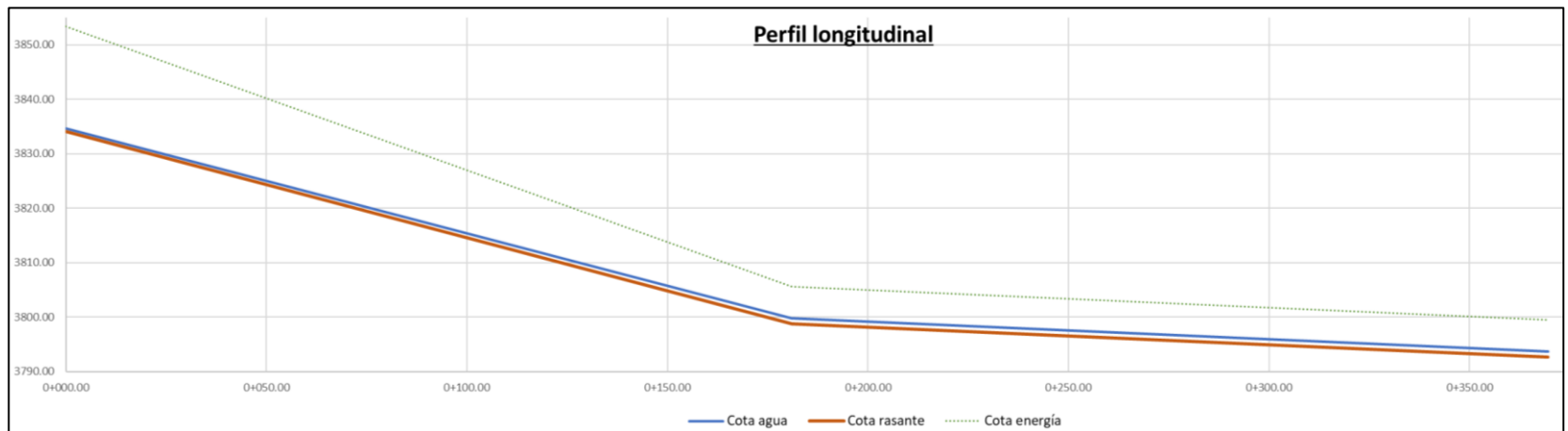


4.3. Diseño de la rápida

4.3.1. Cálculo hidráulico de la rápida

Rápida	Tramo	Pk Inicio	Pk fin	Distancia (m)	Cota entrada (msnm)	Cota salida (msnm)	Desnivel total (m)	S (m/m)	Caudal	b	n	Z	Y	A	B	P	R	V	V ² /2g	F	BL	H
Rápida	Tramo 1	0+000.00	0+180.96	180.96	3834.096	3798.803	35.293	0.1950	64.93	6	0.014	0	0.56	3.383	6.000	7.128	0.475	19.194	18.776	8.161	1.936	2.5
	Tramo 2	0+180.96	0+369.59	188.63	3798.803	3792.673	6.13	0.0325	64.93	6	0.014	0	1.01	6.072	6.000	8.024	0.757	10.693	5.828	3.394	1.488	2.5

Gráfico N°7: Perfil de la rápida



Fuente: Propia

Nota:

Desde la progresiva 0+090 hasta la 0+230 el canal es techado con una cubierta en arco de similar radio que la sección del túnel

En la progresiva 0+230 el canal ingresa al túnel

En la progresiva 1+1+740 el canal sale del túnel

En la progresiva 1+750 hay un PI vertical con cambio en la pendiente de fondo

4.3.2. Diseño del estanque amortiguador de la rápida

En función al dimensionamiento de la figura N°23, realizamos los cálculos para el diseño del estanque amortiguador de la rápida.

Ancho de poza (m)	6.00	Energía total H_o (m)	12.84
Caudal (m^3/s)	64.93	V_1 (m/s)	15.05
Y_o (m)	1.01	$V_1^2/2g$ (m)	11.54
Velocidad V_o (m/s)	10.69	Y_1 (m)	0.719
Altura de velocidad $V_o^2/2g$ (m)	5.83	h_{f0-1} (m)	0.583
Diferencia cotas Z (m)	6.00	H1 (m)	12.84

Verificación:

CAUDAL CHEQUEO (V_1*Y_1*L)	64.93
ERROR ($Q = Q$ chequeo)	0.00
ERROR 2 ($H_o = H_1$)	0.00

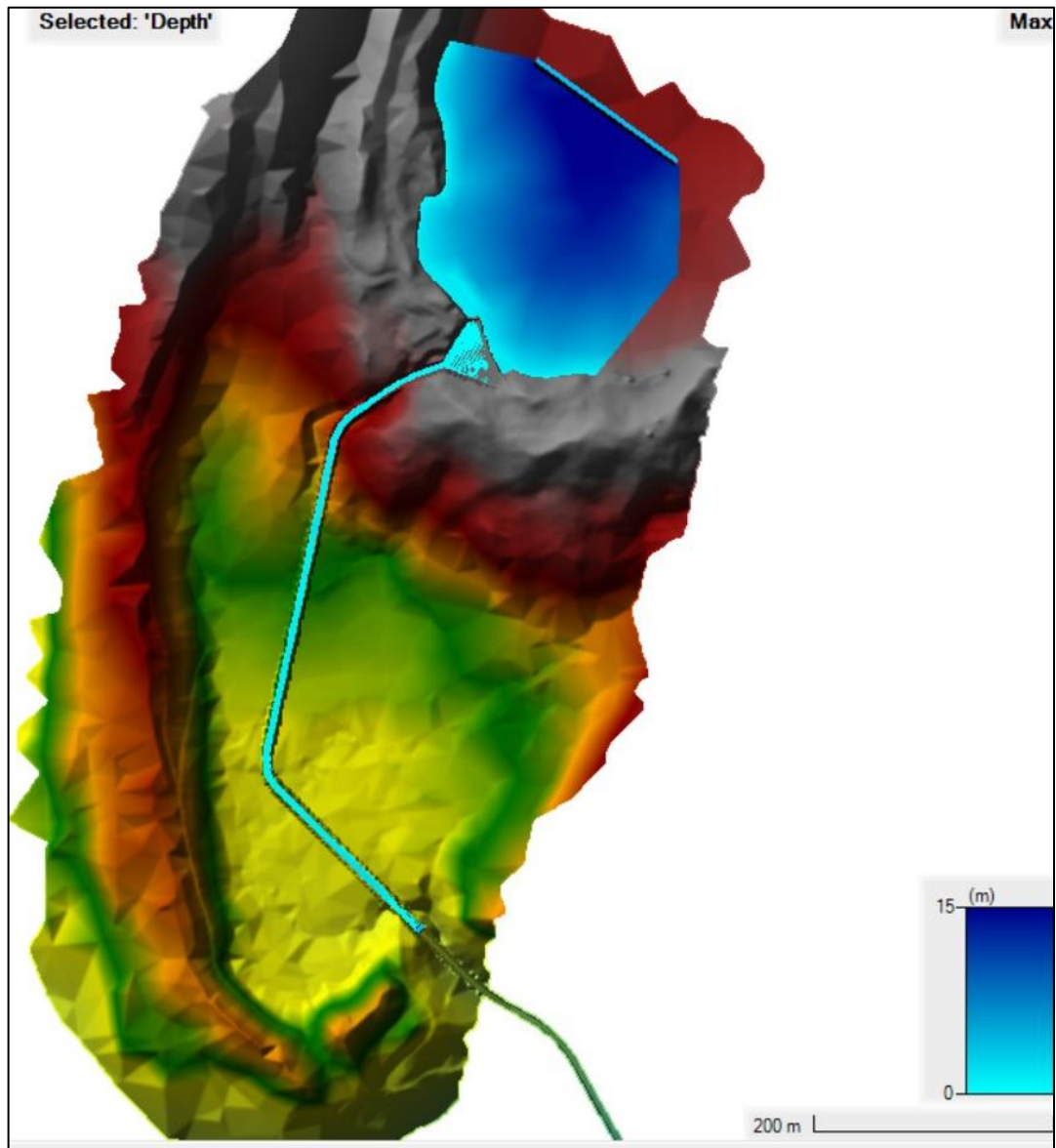
Verificados los cálculos de la sección 0-2, obtenemos los cálculos restantes:

E1 (m)	12.26
F1	5.66
Y_2 (m)	5.41
V_2 (m/s)	2.00
$V_2^2/2g$ (m)	0.20
h_{f1-2} (m)	6.64
H2 (m)	12.26
F_2 (m)	0.27
L amortiguador =	28.16
L amortiguador =	30.00

5. MODELAMIENTO HIDRÁULICO

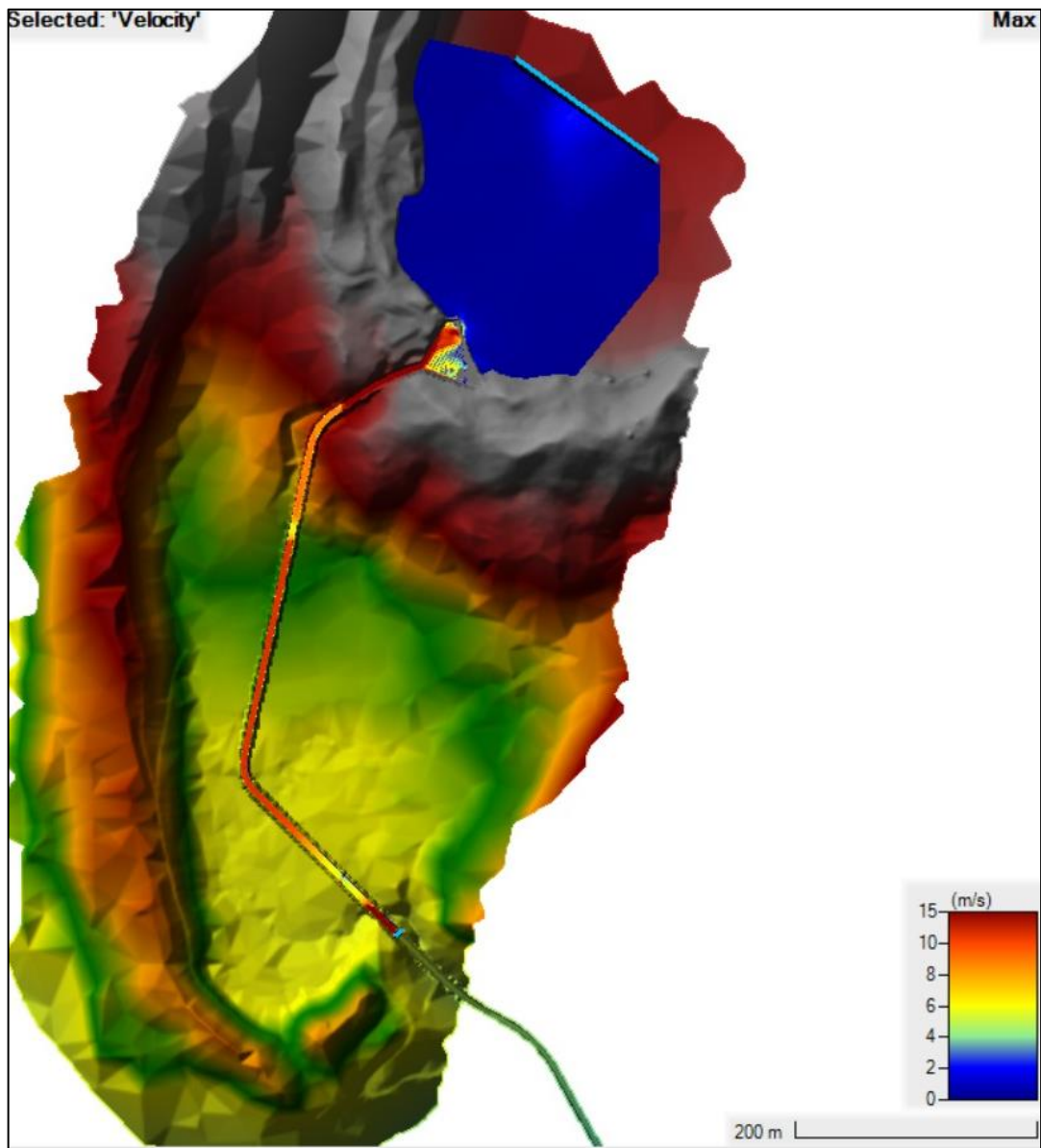
El modelo hidráulico generado en el software Hec-Ras ratifica el correcto funcionamiento del aliviadero diseñado.

Figura N°28: Resultado de tirantes del modelo hidráulico del aliviadero.



Fuente: Propia

Figura N°29: Resultado de velocidades del modelo hidráulico del aliviadero.



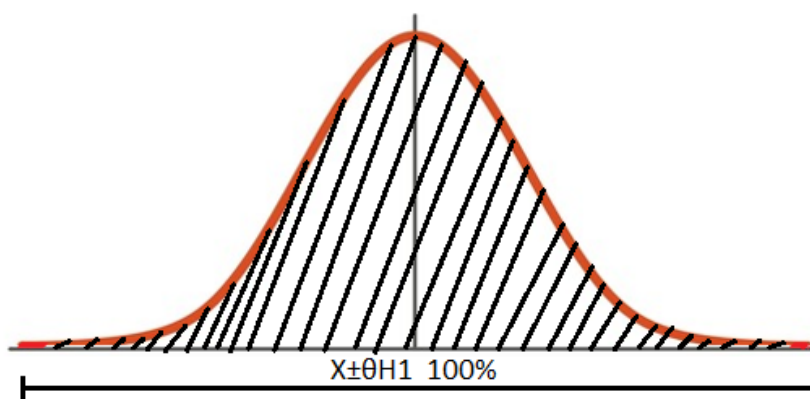
Fuente: Propia

6. DOCIMASIA DE HIPÓTESIS

En el marco de este proyecto de tesis, llevamos a cabo una exhaustiva evaluación preliminar en la zona de estudio, ubicada en la presa Huangacocha, en el distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad para determinar sus precipitaciones máximas diarias e intensidades de lluvia para distintos periodos de retorno con la finalidad de definir un caudal de diseño para la proyección de una obra de alivio. En consecuencia, formulamos la hipótesis que postula que el correcto rediseño del aliviadero de la presa Huangacocha para las condiciones más desfavorables permitirá evacuar el exceso de volumen de agua en el embalse para evitar daños a la presa y aguas abajo. Tras completar todos los estudios necesarios para diseñar la obra de alivio, se procedió a evaluar su comportamiento junto a la presa Huangacocha mediante un modelo hidráulico, obteniendo resultados satisfactorios. Por lo tanto, podemos afirmar con confianza que nuestra hipótesis inicial fue correcta, como se evidencia claramente a través de los resultados obtenidos en el modelado hidráulico realizado con el software Hec-Ras.

Hipótesis Nula (H_0): El aliviadero que se ha diseñado no evacuaría el caudal excesivo.

Hipótesis Alternativa (H_1): El aliviadero diseñado si evacuaría el caudal excesivo.



Donde:

H_0 : Hipótesis Nula $\rightarrow 0\%$

H_1 : Hipótesis Alternativa $\rightarrow 0\%$

$X \pm \theta$: Rango de Intervalo de confianza $\rightarrow 100\%$

Tabla N°11: Docimasia de Hipótesis – Variable Dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE	ELEMENTOS DE DISEÑO	DATOS NUMÉRICOS	CARÁCTER DE ACEPTACIÓN O RECHAZO DE LA HIPÓTESIS		CONCLUSIONES
			Aceptación	Rechazo	
DIMENSIONES DE LAS ESTRUCTURAS DE ALIVIO	Vertedero Tipo Creager	Longitud de Vertedero es de 60.00 metros	SI		De acuerdo a las condiciones del proyecto, se ha diseñado un aliviadero de cimacio perfil tipo Creager, con un caudal de diseño de 64.93 m ³ /s, las ventajas que presenta este perfil es que el azud de derivación tiene una sección transversal trapezoidal que ayuda a su estabilidad, mantiene un flujo estable y sin vibraciones, reduce la presión sobre la parte superior del paramento y está sometido a una presión casi nula en todos sus puntos.
	Estanque Amortiguador	Longitud es de 7.00 metros	SI		
	Transición	Longitud es de 32.20 metros	SI		
	Rápida	Longitud es de 369.59 metros	SI		
	Estanque Amortiguador de la rápida	Longitud es de 30.00 metros	SI		

Fuente: Propia.

Tabla N°12: Docimasia de Hipótesis – Variable Independiente

VARIABLE DEPENDIENTE	PERÍODO DE RETORNO	DATOS NUMÉRICOS	CARÁCTER DE ACEPTACIÓN O RECHAZO DE LA HIPÓTESIS		CONCLUSIONES
			Aceptación	Rechazo	
CAUDAL DE DISEÑO	500	Caudal de diseño máximo es igual a 5.2 m ³ /s		SI	Del modelo hidrológico realizado se obtuvieron los siguientes resultados de caudales, en función a las distribuciones de lluvia previamente determinadas en la hidrología. Para realizar el diseño se está usando el caudal más desfavorable de 64.93 m ³ /s en función al periodo de retorno de 10000 años.
	1000	Caudal de diseño máximo es igual a 6.2 m ³ /s		SI	
	10000	Caudal de diseño máximo es igual a 64.93 m ³ /s	SI		

Fuente: Propia.

CONCLUSIONES

La cuenca de estudio tiene un área de drenaje de 11.36 km², el coeficiente de compacidad de la cuenca es mayor a 1.55, determinando la forma alargada de la cuenca. La altura media de la cuenca es de 4137.29 msnm, presentando una pendiente de la cuenca de 8.74% y de 1.01% de la red hídrica y una longitud máxima de recorrido de 8.5 km.

De acuerdo a las condiciones del proyecto, se ha diseñado un aliviadero de cimacio perfil tipo Creager, con un caudal de diseño de 64.93 m³/s, las ventajas que presenta este perfil es que el azud de derivación tiene una sección transversal trapezoidal que ayuda a su estabilidad, mantiene un flujo estable y sin vibraciones, reduce la presión sobre la parte superior del paramento y está sometido a una presión casi nula en todos sus puntos. Es el más recomendado en cortinas de mampostería o concreto, donde la longitud del vertedor puede quedar alojado en el cuerpo de la estructura.

El modelo hidráulico, en la rápida se muestran tirantes inferiores a un metro con altas velocidades, en el primer tramo se observan tirante promedio de 0.56 con velocidades de 19.19 m/s y en el segundo tramo se puede observar un tirante de 1.01 m con velocidades de 10.69 m/s, teniendo como resultado un flujo supercrítico en ambos tramos.

RECOMENDACIONES

Para el diseño del aliviadero se recomienda elegir la forma del vertedero de acuerdo a las condiciones del proyecto, un correcto diseño de la cresta optimizará el flujo y contribuirá en las pérdidas de energía.

Se recomienda Implementar dispositivos para controlar la elevación del agua, como compuertas o válvulas de regulación, para garantizar una gestión precisa del flujo.

Utiliza estructuras de disipación de energía, como escalones o deflectoras, para minimizar la erosión aguas abajo del aliviadero.

Determina cuidadosamente la ubicación del punto de descarga para evitar daños aguas abajo y maximizar la eficacia del aliviadero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bureau of Reclamation. (2001). *Diseño de pequeñas presas - Bureau of Reclamation 2DA VERSION.pdf* (2° Edicion; Bellisco, ed.). España.
- Chow, V. te. (1994). *Hidraulica de canales abiertos (Ven Te Chow).pdf* (1° Edición; M. E. Suárez, ed.). Santa Fé de Bogota, Colombai.
- GÓMEZ, R. P., & BREÑA, E. A. (2005). *Diseño Hidráulico de Aliviaderos y Obras Hidráulicas para Presas*.
- MAZA ALVAREZ, J. (1998). *Hidráulica de Canales* (1 era edic; UNAM, ed.). México D.F.
- VILLÓN. (2017). *HIDROESTA 2* . Recuperado de <http://maximovillon.blogspot.com/p/hidroesta.html>
- ESRI. (2016). *ARCGIS 10.3*. Recuperado de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm>
- AUTODESK. (2017). *AUTOCAD CIVIL 3D 2017*. Recuperado de <https://www.autodesk.com/>

ANEXOS

Figura N°30: Barraje y poza disipadora en mal estado



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°31: Salida de la poza disipadora deteriorada



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°32: Presa Huangacocha



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°33: Muro de Contención del aliviadero en mal estado



Fuente: Elaboración Propia