

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“CLASIFICACIÓN DE LA PRESA TURUNTURUN SEGÚN SU
RIESGO POTENCIAL, DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE
CANDARAVE, TACNA - 2022”**

**PARA OPTAR:
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

**Bach. PEDRO RAYMOR CÓRDOVA PONCE
Bach. JENIFER RUBÍ MAMANI QUISPE**

**TACNA – PERÚ
2023**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“CLASIFICACIÓN DE LA PRESA TURUNTURUN SEGÚN SU
RIESGO POTENCIAL, DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE
CANDARAVE, TACNA - 2022”**

Tesis sustentada y aprobada el 04 de marzo del 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtro. EDGAR HIPOLITO CHAPARRO QUISPE

SECRETARIA : Mtra. ANA GABRIELA CRUZ BALTUANO

VOCAL : Mtro. JIMMI YURY SILVA CHARAJA

ASESOR : Mtro. YVAN MANUEL AROSQUIPA NINA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Pedro Raymor Córdova Ponce, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 75475926 declaro bajo juramento que:

Yo, Jenifer Rubí Mamani Quispe, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI 72468675 declaro bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada: *“Clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial, distrito de Cairani, provincia de Candarave, Tacna - 2022”* el mismo que se presenta para optar el *Título Profesional de Ingeniero Civil*.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a la universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra presentada.

En consecuencia, nos hacemos responsables frente a la universidad y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de mi acción se derive, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 04 de marzo del 2023.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'P' followed by 'R' and 'C', with a long horizontal stroke extending to the right.

Bach. Pedro Raymor Córdova Ponce
DNI: 75475926

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Rubí Jenifer' in a cursive style, with a long horizontal stroke extending to the right.

Bach. Jenifer Rubí Mamani Quispe
DNI: 72468675



UPT
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FAING

Sin fines de lucro

CONSTANCIA

**QUIEN SUSCRIBE COODINADOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE
LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA DE
TACNA, HACE CONSTAR:**

Que, los bachilleres; **PEDRO RAYMOR CÓRDOVA PONCE** y **JENIFER RUBÍ MAMANI QUISPE** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, han presentado la Tesis titulada “**CLASIFICACIÓN DE LA PRESA TURUNTURUN SEGÚN SU RIESGO POTENCIAL, DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, TACNA - 2022**” el cual presenta un 27 % de similitud, comprobada por el software Turnitin. Se adjunta el recibo digital.

Se expide la presente, para trámites del Título Profesional.

Tacna, 10 de marzo de 2023




Dr. RAUL CARTAGENA CUTIPA
Coordinador
Unidad de Investigación – FAING

“CLASIFICACIÓN DE LA PRESA TURUNTURUN SEGÚN SU RIESGO POTENCIAL, DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, TACNA - 2022”

INFORME DE ORIGINALIDAD

27 %	27 %	6 %	12 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	3 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3 %
3	www.efn.uncor.edu Fuente de Internet	2 %
4	www.igp.gob.pe Fuente de Internet	2 %
5	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	1 %
6	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1 %
7	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1 %
8	www.ptolomeo.unam.mx:8080 Fuente de Internet	1 %





Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Pedro Raymor Córdova Ponce - Jenifer Rubí Mamani Quispe
Título del ejercicio: INGENIERÍA CIVIL
Título de la entrega: "CLASIFICACIÓN DE LA PRESA TURUNTURUN SEGÚN SU RIES...
Nombre del archivo: TESIS_Bach.CORDOVA_PONCE_-MAMANI_QUISPE__ok.pdf
Tamaño del archivo: 26.23M
Total páginas: 115
Total de palabras: 25,499
Total de caracteres: 138,144
Fecha de entrega: 10-mar.-2023 04:10p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2034202658



DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la oportunidad de culminar con éxito mi carrera profesional. Quiero agradecer a mis padres, Patricia Daysi Ponce Torres y Raymor Peter Córdova Quispe, quienes me han apoyado desde el principio y en especial a mi madre por todos sus consejos y cuidados en cada etapa de mi vida y mi desarrollo como profesional. También me gustaría agradecer a mis hermanas Rosario y Arletty por también ser una parte importante de mi vida.

Bach. Pedro Raymor Córdova Ponce

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a Dios por brindarme salud y voluntad necesaria para culminar este proyecto .A mis queridos padres Ildifonso Mamani Mamani y Vitalia Quispe Paria , por haberme educado y enseñado a no rendirme ante las adversidades y por ser parte de este logro. También a mis hermanas Raquel y Yelitza , por brindarme palabras de apoyo durante este proceso.

Bach. Jenifer Rubí Mamani Quispe

AGRADECIMIENTO

A Dios que ha abierto nuestro camino y nos ha dado la sabiduría y la fuerza para lograr nuestras metas.

A nuestro asesor de tesis al Mtro. Ing. Yvan Manuel Arosquipa Nina por su tiempo y apoyo en la asesoría durante el desarrollo de la tesis.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Tacna por brindar sus conocimientos durante nuestra formación universitaria.

Bach. Pedro Raymor Córdova Ponce

Bach. Jenifer Rubí Mamani Quispe

ÍNDICE GENERAL

PAGINA DE JURADO	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1 Descripción del Problema	2
1.2 Formulación del Problema	3
1.2.1 Problema General	3
1.2.2 Problemas específicos	3
1.3 Justificación e importancia de la Investigación	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.5 Hipótesis.....	4
1.5.1 Hipótesis General	4
1.5.2 Hipótesis Específicas	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes del estudio.....	5
2.1.1 En el ámbito internacional.....	5
2.1.2 En el ámbito nacional	7
2.2 Bases Teóricas.....	9
2.2.1 Clasificación y tipología de presas.....	9
2.2.2 Clasificación de presas por sus materiales	11
2.2.2.1 Presas de Gravedad de Concreto o Mampostería	11
2.2.2.2 Presas de materiales Suelos.....	11
2.2.2.3 Presas de enrocado y/o materiales sueltos con pantalla de concreto o de acero	12

2.2.2.4	Presas de contrafuertes:.....	13
2.2.2.5	Presas Mixtas (de gravedad y dique de material suelto):.....	13
2.2.2.6	Presas de arco – gravedad:	14
2.2.2.7	Presas de Relaves:.....	14
2.2.3	Presa de enrocado con pantalla de concreto (CFRD).....	15
2.2.3.1	Elementos de una presa.....	15
2.2.4	Clasificación de presas de acuerdo a la normativa Peruana	15
2.2.4.1	En función de sus dimensiones.....	16
2.2.4.2	En función de su riesgo Potencial	16
2.2.5	Características hidrológicas	17
2.2.6	Características hidráulicas	17
2.2.7	Hidrogramas	17
2.2.8	Propagación de onda de avenida	18
2.2.9	Modelado en Hec-Ras.....	18
2.2.9.1	Procedimiento de un modelado 2D en HEC-RAS	19
2.2.10	Brecha de Rotura	19
2.2.10.1	Definición de los parámetros de una brecha.....	20
2.2.10.2	Estimación de parámetros de la brecha.....	22
2.2.11	Escenarios de rotura	23
2.2.12	Guía Técnica para la Clasificación de Presas de España	23
2.2.12.1	Consideraciones de Base para el proceso de categorización.....	23
2.2.12.2	Criterios generales de valoración de las afecciones.....	24
2.2.12.3	Clasificación de las presas	25
2.2.13	Afecciones según la Guía Técnica España	25
2.2.13.1	Afección a núcleos de población o viviendas aisladas	25
2.2.13.2	Servicios esenciales	27
2.2.13.3	Daños materiales	29
2.2.13.4	Aspectos medioambientales, histórico-artísticos y culturales	29
2.2.13.5	Otras afecciones	30
2.2.14	Regímenes de flujo.....	31
2.2.14.1	Flujo Laminar	31
2.2.14.2	Flujo Turbulento	31
2.2.15	Coeficiente de rugosidad de Manning	32
2.2.15.1	Estimación hidráulica de coeficientes de rugosidad de Manning	32
2.2.16	Condiciones de contorno externas	34
2.2.16.1	Condiciones de contorno de salida	35
2.2.16.2	Condiciones de contorno aguas abajo	35

2.2.17	Caudales de Diseño	36
2.2.18	Tiempo de Rotura	37
2.2.19	Imágenes Satelitales	38
2.2.19.1	Clasificación de imágenes satelitales.....	38
2.2.20	Periodos de Retorno (1000 años).....	39
2.2.21	La condición de Courant (SWE-ELM ORIGINAL/FASTER).....	40
2.2.22	Overtopping y Piping	41
2.2.22.1	Control por Desbordamiento (OVERTOPPING):	41
2.2.22.2	Control por Tubificación (PIPING):.....	41
2.3	Definición de términos.....	42
2.3.1	Presa.....	42
2.3.2	Riesgo Potencial.....	42
2.3.3	Falla de la presa	42
2.3.4	Cuenca	42
2.3.5	Periodo de Retorno	42
2.3.6	Avenida Máxima Probable (AMP).....	42
2.3.7	Hidrograma	43
2.3.8	Nivel de aguas Máximas Extraordinarias (NAME)	43
2.3.9	Nivel de aguas Máximas ordinarias (NAMO).....	43
2.3.10	Bordo libre	43
2.3.11	Hec-Ras.....	43
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		44
3.1	Diseño de la investigación	44
3.1.1	Tipo de investigación.....	44
3.1.2	Diseño de investigación	44
3.1.3	Nivel de investigación.....	44
3.2	Acciones y actividades.....	44
3.3	Materiales y/o instrumentos	46
3.4	Población y/o muestra de estudio.....	46
3.4.1	Población	46
3.4.2	Muestra	46
3.5	Operacionalización de variables.....	46
3.6	Procesamiento y análisis de datos	48
3.6.1	Zona de estudio	48
3.6.2	Extensión	48
3.6.3	Características de la presa.....	49
3.6.4	Recopilación de información del Caudal de diseño.....	51

3.6.5	Características aguas debajo de la presa Turunturun.....	53
3.6.6	Rugosidad para el modelado	55
3.6.7	Topografía del modelado	55
3.6.8	Proceso del modelado hidráulico	55
3.6.9	Modelado en HEC RAS.....	56
3.6.10	Cálculos en HEC RAS.....	69
3.6.10.1	Tiempo de rotura y dimensión de brecha de rotura.....	69
3.6.10.2	Parámetros según el software HEC RAS de la brecha de rotura.....	70
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		75
4.1	Evaluación de las características geométricas de la presa Turunturun y su relevancia para su clasificación	75
4.2	Identificación del hidrograma de entrada al embalse, para el escenario de rotura de la presa Turunturun	78
4.3	Características hidráulicas de la onda de rotura de la presa Turunturun.....	79
4.4	Clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial.....	80
CAPÍTULO V: DISCUSION.....		85
CONCLUSIONES		87
RECOMENDACIONES.....		88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		90
ANEXOS		93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de presas según la USBR y la ICOLD	10
Tabla 2. Valores de coeficiente de rugosidad de Manning.....	33
Tabla 3. Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad con la ecuación de Cowan	34
Tabla 4. Definición y operacionalización de variables	47
Tabla 5. Particularidades del diseño de la Presa Turunturun.....	50
Tabla 6. Caudales de diseño para un periodo de retorno de 1000 años	52
Tabla 7. Datos de Curva Área-Volumen Presa Turunturun.....	73
Tabla 8. Cuadro resumen de Características Geométricas de la presa Turunturun	75
Tabla 9. Tabla de coordenadas UTM WGS-84 del eje de la presa.....	76
Tabla 10. Coordenadas del aforo del embalse	77
Tabla 11. Detalle de hidrograma de entrada.....	78
Tabla 12. Estimación de afección a núcleos de población y viviendas aisladas	80
Tabla 13. Estimación de afecciones de daños materiales.....	82
Tabla 14. Resumen clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial ...	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Presa de tipo gravedad de concreto	11
Figura 2. Presa de tipo Materiales Suelos	12
Figura 3. Presa tipo Enrocado con Pantalla de Concreto.....	12
Figura 4. Presa de tipo Contrafuerte	13
Figura 5. Presa de tipo Mixta.....	13
Figura 6. Presa de tipo Arco	14
Figura 7. Presa de tipo Relave	14
Figura 8. Perfil típico de una presa de enrocado	15
Figura 9. Modelado de una presa en Hec-Ras	19
Figura 10. Parámetros de una brecha de rotura	21
Figura 11. Evaluación de la gravedad de las afecciones en núcleos de población y en viviendas aisladas.....	26
Figura 12. Evaluación de la gravedad de afecciones de servicios esenciales, daños materiales, aspectos medioambientales, histórico -artísticos o culturales u otros	28
Figura 13. Clasificación del régimen de flujo en canales abiertos	31
Figura 14. Flujo Laminar.....	31
Figura 15. Flujo Turbulento	32
Figura 16. Modelo debido a una mala condición de límite aguas abajo	36
Figura 17. Muestra de imagen Pancromática	38
Figura 18. Muestra de imagen Multiespectral.....	39
Figura 19. Vista de presa afectada por las fallas por desbordamiento y tubificación ...	41
Figura 20. Flujograma para la clasificación de la presa	45
Figura 21. Ubicación del diseño de la Presa Turunturun.....	48
Figura 22. Características del diseño de la Presa Turunturun	49
Figura 23. Perfil de la presa Turunturun	50
Figura 24. Caudal de diseño para un periodo de retorno de 1000 años.....	51
Figura 25. Hidrograma de entrada de un PR de 1000 años.....	53
Figura 26. Radio de distancia del eje de la Presa Turunturun hacia el C.P. Yarabamba	53
Figura 27. Radio de distancia del eje de la Presa Turunturun hacia el C.P. Calacala ..	54
Figura 28. Cantidad población y viviendas censadas INEI 2017 distrito de Cairani.....	54
Figura 29. Descarga de imágenes satelitales en ALOS PALSAR.....	55
Figura 30. Esquema de procesos para el modelado Hidráulico	56
Figura 31. Topografía del área de estudio	56

Figura 32. Imagen Satelital de Google para el modelado	57
Figura 33. Colocación de Coeficientes de Manning	57
Figura 34. Vista de los coeficientes de Rugosidad en el modelado	58
Figura 35. Bosquejo de áreas en las secciones	58
Figura 36. Líneas de corte del cauce	59
Figura 37. Propiedades de la línea corte del cauce.....	59
Figura 38. Refinamiento de zonas	60
Figura 39. Propiedades de regiones de refinamiento	60
Figura 40. Computación de nodos	61
Figura 41. Esbozo e inserción de datos del eje de la presa	61
Figura 42. Vista del ingreso de y salida del enmallado	62
Figura 43. Computación de la malla.....	62
Figura 44. Condiciones de contorno en la salida.....	63
Figura 45. Condiciones de contorno de ingreso	64
Figura 46. Corte de perfil del eje de la presa	65
Figura 47. Parámetros de rotura en HEC RAS.....	65
Figura 48. Ajuste del tiempo por la condición de Courant.....	66
Figura 49. Configuración computacional de la simulación	67
Figura 50. Configuración para tolerancias de los Caudales.....	67
Figura 51. Resultados del modelado en HEC RAS de tirante y velocidades máximas	68
Figura 52. Calculadora con parámetros de la brecha de rotura	70
Figura 53. Parámetros con las ecuaciones.....	72
Figura 54. Gráfico Curva Área-Volumen.....	74
Figura 55. Coordenadas del eje de la presa	76
Figura 56. Coordenadas del inicio del embalse	77
Figura 57. Representación del hidrograma de entrada	79
Figura 58. Mapa de afecciones a núcleos de población y viviendas aisladas	80
Figura 59. Mapa de afecciones daños materiales	81

RESUMEN

En la presente investigación "Clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial, distrito de Cairani, provincia de Candarave, Tacna – 2022" tuvo como objetivo principal el de realizar la clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial, la cual tiene como entendimiento el de someter en la simulación a la presa a un escenario de rotura y del modo al cual se produzca la falla de la presa. Para el escenario de rotura se consideraron aspectos como que el NAME alcance el nivel de la cota corona. Además se insertaron condiciones de contorno externas como el hidrograma de entrada y profundidades normales. Por consiguiente, con los resultados de la simulación de rotura se realizó la identificación que zonas inundables aguas abajo de la presa; para procesar los resultados mediante afecciones y mapas de esta. Así mismo la investigación se justifica en la observación, recolección de datos y posterior estudio para realizar la clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial, distrito de Cairani, provincia de Candarave, Tacna – 2022. La muestra de esta constituida a partir de la tipología de la Presa de enrocado con pantalla de concreto. El instrumento mediante el cual se clasificó fue a través de criterios de valoración de afecciones. Finalmente se concluyó mediante los resultados y mapas que la clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial, distrito de Cairani, provincia de Candarave, Tacna – 2022 es de tipo B.

Palabras claves: Escenario de rotura, Falla de la presa, Riesgo potencial, Hidrograma, Nivel de aguas Máximas Extraordinarias (NAME).

ABSTRACT

In the present investigation "Classification of the Turunturun dam according to its potential risk, district of Cairani, province of Candarave, Tacna - 2022" the main objective was to carry out the classification of the Turunturun dam according to its potential risk, which understands subjecting the dam to a scenario of breakage and the way in which the failure of the dam occurs in the simulation. For the failure scenario, aspects such as the NAME reaching the crown level were considered, as well as external boundary conditions such as the inflow hydrograph and normal depths. Consequently, with the results of the breach simulation, the identification of flood zones downstream of the dam was carried out to process the results by means of flood conditions and flood maps. Likewise, the research is justified in the observation, data collection and subsequent study to classify the Turunturun dam according to its potential risk, district of Cairani, province of Candarave, Tacna - 2022. The sample is based on the typology of the rockfill dam with concrete screen. The instrument used to classify it was by means of criteria for the evaluation of conditions. Finally, it was concluded through the results and maps that the classification of the Turunturun dam according to its potential risk, district of Cairani, province of Candarave, Tacna - 2022 is of type B.

Key words: Rupture scenarios, Dam failure, Potential risk, Hydrograph, Maximum Extraordinary Maximum Water Level (NAME).

INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene como finalidad la de realizar la clasificación de la presa Turunturun teniendo como criterio de evaluación su riesgo potencial; esto en el distrito de Cairani, provincia de Candarave, Tacna, y esto basado en las normas de la *Guía Técnica para la clasificación de presas de España* y Normas y Reglamento De Seguridad de Presas en el Perú. El riesgo potencial de una presa, tiene como objetivo el saber a qué incidentes se puede ver afectado ante una falla de la misma tanto por sus dimensiones, proceso constructivo, efectos climatológicos, eventos sísmicos, la mala calidad de materiales o deficiencias en la elaboración del expediente dicho proyecto. En consecuencia, al darse alguna falla en la presa pueda ocurrir eventualmente un riesgo de inundación. De las normativas señaladas la guía española tiene como obligatoriedad que las presas se clasifiquen en función de su riesgo potencial de manera que pueda ser por una rotura o mal funcionamiento y la normativa peruana propone políticas en materia de seguridad de presas en las distintas fases que se den ya sea desde su planeamiento hasta su mantenimiento. Por ende, ambas normativas tienen como finalidad velar por la seguridad en caso de una potencial rotura de una presa. Así como nos dice el siguiente artículo científico: “Los fenómenos naturales como las inundaciones tienen afectaciones en las áreas económicas, ambientales y sociales”. La metodología a emplear es someter a un escenario de rotura a la presa en estudio para su posterior clasificación de acuerdo a sus resultados, por lo que se justifica la necesidad de realizar este estudio de presa y así se pueda evaluar el peligro y el riesgo por inundación que está estrechamente relacionado al fallo de las mismas.

La presente investigación viene estar estructurada por cinco capítulos como se describe a continuación: En el capítulo I, se describe la formulación del problema, justificación, también objetivos y las hipótesis. Para el capítulo II, se propuso los antecedentes de la investigación y a su vez la información que se estableció como base para el estudio como es: la clasificación de la presa Turunturun según riesgo potencial, evaluación de escenarios de rotura, características geométricas de la presa, velocidades máximas, tirante de la presa y las cotas principales de la presa. El capítulo III trata sobre la metodología que se va a usar. En el capítulo IV se dan los resultados que se obtuvieron de la investigación. Y como capítulo final, en el capítulo V se hacen las discusiones que están referidas al tema de investigación que está relacionada con los objetivos, hipótesis y los antecedentes propuestos.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del Problema

Las consecuencias de la rotura de una presa pueden ser graves, ocasionando pérdida de vidas humanas y cuantiosos daños materiales, es por ello que cada vez se toma mayor atención a la seguridad de las presas.

El objetivo de la seguridad de presas será reducir el riesgo hasta un mínimo razonable y minimizar los daños si la rotura se produce.

Realizar una adecuada construcción de presa es importante ya que la función principal de la misma es almacenar agua y proveer los recursos hídricos de la zona en la cual se ubica.

A nivel internacional se ha señalado que la frecuencia de falla de la estructura principal de la presa, la cortina, es aproximadamente la misma tanto para tuberías, roturas de cimientos como para inundaciones por inundaciones.

La clasificación de la presa en estudio se realizará mediante escenarios con una modelación de rotura de presa, de esta manera se clasificará dentro de los parámetros que indica las Normas y reglamento de seguridad de presas en el Perú.

De todo esto surge en las últimas décadas, el moderno concepto de seguridad de presas, consistente en clasificar las presas en función del riesgo potencial en caso de rotura y aplicar a cada presa determinadas exigencias de seguridad en función de su clasificación.

Con todo lo mencionado anteriormente es que se puede evidenciar la necesidad de tener más conocimiento sobre la seguridad de las presas basado en su clasificación según su riesgo potencial es por lo mismo que se propone realizar la presente investigación titulada "Clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial, distrito de Cairani, provincia de Candarave, Tacna – 2022", de tal forma conocer que si no se toma prevención sobre el riesgo de rotura de un presa el cual ocasionaría daños a núcleos urbanos, servicios esenciales, bienes materiales, medioambientales o vidas humanas.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿Cuál es la clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial, distrito de Cairani, provincia de Candarave, Tacna - 2022?

1.2.2 Problemas específicos

- a. ¿De qué manera las características geométricas de la presa Turunturun son relevantes para la clasificación según su riesgo potencial?
- b. ¿Cuál es el hidrograma de entrada al embalse para el escenario de rotura de la presa Turunturun?
- c. ¿Cuáles son las características hidráulicas de la onda de rotura de la presa Turunturun?

1.3 Justificación e importancia de la Investigación

A medida que ha ido pasando el tiempo es que se ha podido evidenciar los daños o desastres que ocasionan los fenómenos naturales y en este caso relacionada a las inundaciones por rotura de una presa que tiene como finalidad el de almacenar grandes cantidades de agua para luego ser distribuida en las diferentes localidades que se vean beneficiadas por ese recurso hídrico, pero también afectadas cuando dichas presas fallan o colapsan.

Si lo vemos desde un punto de vista científico es de importancia realizar la clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial ya que para ello se debe hacer simulaciones de rotura para ver cuál es el nivel de riesgo que representa la rotura de la presa para la zona donde se ubica. Cabe resaltar que no se han desarrollado muchas investigaciones con respecto al tema en nuestro país por lo que se hace de suma importancia conocer sobre el riesgo potencial que tiene una presa, además que esta investigación servirá para contribuir en conocimientos a los futuros tesisistas sobre lo que es la clasificación de presas según su riesgo potencial.

Si lo vemos desde un punto de vista social y local puesto a que la represa beneficiara a una gran cantidad de personas que podrán disponer del recurso hídrico que la presa Turunturun les pueda ofrecer, es que se debe tener el máximo cuidado en la prevención del riesgo que abarcaría su posible rotura.

Si lo vemos desde un punto de vista hidrológico la presente investigación también podrá servir para mejorar en la organización y planificación de recursos hídricos, porque para la clasificación de la presa Turunturun es que se usaran las características geométricas de la presa y su composición estructural de la misma.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Realizar la clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial, distrito de Cairani, provincia de Candarave, Tacna.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a. Evaluar las características geométricas de la presa Turunturun y su relevancia para su clasificación.
- b. Identificar el hidrograma de entrada al embalse, para el escenario de rotura de la presa Turunturun.
- c. Estimar las características hidráulicas de la onda de rotura de la presa Turunturun.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

La clasificación de la presa Turunturun es de categoría B.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- a. Las características geométricas de la presa Turunturun son altamente relevantes para su clasificación.
- b. El escenario de rotura se produce cuando el NAME está al nivel de la cota Corona de la presa y se produce el fallo.
- c. Las características hidráulicas de la onda de rotura de la presa Turunturun son Velocidad Máxima y Tirante.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

2.1.1 *En el ámbito internacional*

Sanz-Ramos et al.(2019), en el artículo titulado: “Metodología para el análisis de rotura de presas con aterramiento mediante simulación con fondo móvil”; El propósito de este documento es presentar una metodología para abordar los estudios de ruptura de presas en tierra mediante la combinación de simulaciones numéricas de formación de brechas y transporte de sedimentos (suelo en movimiento). La aplicación de esta metodología a un estudio de caso real muestra cómo los hidrogramas posteriores a la falla que representan los suelos en movimiento difieren significativamente de los obtenidos con los métodos estándar que consideran los suelos sólidos en las cuencas hidrográficas. La metodología propuesta se basa en lo descrito en la Guía Técnica en la Sección 5.1 del Capítulo III (Metodología Completa). En esta sección, solo un modelo hidráulico completo puede representar con precisión la formación de brechas, la definición del hidrograma posterior a la ruptura, la propagación del tsunami y, por lo tanto, la determinación de las áreas de inundación. Recomendamos usar un modelo. Flujo de peligros y riesgos asociados.

La anterior investigación contribuye en la elaboración de los Hidrogramas de Rotura y la clasificación de dicha presa; para los hidrogramas nos explica que después del estallido anterior Se creó una cuadrícula computacional bajando gradualmente la altura desde la cresta hasta el lecho del río. La consecuencia hidráulica de este fenómeno es la creación de trayectorias de flujo preferenciales con campos de velocidad y corrientes de aire incrementadas, lo que lleva a la movilización de sedimentos. Este efecto fue más pronunciado en situaciones de inundación cuando se tomaron en cuenta los suelos que se movieron debido a la propagación del hidrograma. Según el PGRI, la Máxima Crecida Ordinaria (MCO) es de 59 m³/s. No se producirán daños importantes en el flujo por debajo de MCO. El escenario 2 se implementó en un régimen variable. Para comparar los resultados con el Escenario 3, que se ejecutó en régimen permanente, se ajustaron los parámetros del modelo para que las crecidas con escorrentía de período de retorno de 500 años fueran similares a las calculadas en régimen variable. La propagación del frente de onda provocada por la rotura de una presa (Escenario 2) elevó el nivel del agua en 0,4 m en el tramo entre la presa y el

puede de acceso a l'Ametlla de Casserres. El puente creó un "efecto presa", inundando algunas áreas río arriba y restringiendo el flujo río abajo.

Para la clasificación de presas, el daño incremental se evaluó dividiendo el área de estudio en dos subsecciones para clasificar las presas según su riesgo potencial. El primero es desde la presa hasta el puente de acceso a l'Ametlla de Casserres y el segundo desde este punto hasta el final del tramo levantado (Puig-Reig). El análisis de la metodología clásica (suelo sólido) arrojó resultados más pequeños tanto para el nivel del agua como para la extensión de la llanura aluvial. Por el contrario, la metodología propuesta que tiene en cuenta los suelos móviles dentro de los embalses produjo corrientes de ruptura más altas. Esto creó una marca de inundación superior que afectó a nuevas áreas (especialmente los primeros metros). Sin embargo, en ambos casos la clasificación dio como resultado que son como tipo C.

Palavecino (2015), en la tesis titulada: "Modelación bidimensional del flujo generado por la rotura de una presa de tierra, utilizando el programa Iber"; Este trabajo tiene como finalidad implementar el programa IBER y proporcionar una guía para usar en el modelado de flujo bidimensional inducido por el estallido de una presa de tierra. En este trabajo, nos gustaría presentar el posible alcance de la infracción, gracias al programa anterior. En la medida de lo posible, de acuerdo con la información recopilada y disponible, el modelado se ajusta lo más posible a lo que puede ocurrir en la realidad, teniendo en cuenta las limitaciones y limitaciones inherentes al modelado 2D.

La tesis descrita anteriormente nos brinda la forma de los hidrogramas generados por los dos programas utilizados en la modelación, son similares, pero difieren en el flujo máximo y el tiempo que tarda en alcanzar ese flujo. La diferencia entre los caudales pico corresponde a un porcentaje del 12,50 % por encima del caudal pico de IBER, y la diferencia de tiempo con el caudal pico es de 7 minutos. El tiempo de cálculo para HEC-RAS fue de unos 2 min y para IBER de unas 12 horas, pero este tiempo aumenta con el tamaño y la calidad de la red a calcular y la cantidad de embalses. Para realizar el análisis HEC-RAS se tiene en cuenta la perpendicularidad de flujo entre tramos y el calado y velocidad constante de cada tramo. Si se rompiera el dique, estas consideraciones no se corresponderían con la realidad. Esto se debe a que los ríos son de forma serpentina y tienen meandros que se desvían de considerar flujo vertical entre tramos.

Cuervo (2012), en la tesis titulada: "Comparación de los modelos hidráulicos unidimensional (Hec-ras) y bidimensional (Iber) en el análisis del rompimiento de presas de materiales sueltos"; La presente tesis tiene como objetivo principal es obtener los

hidrogramas requeridos para la discretización, utilizando esquemas numéricos unidimensionales y bidimensionales para obtener hidrogramas de flujo obtenidos por rotura de presas de materiales sueltos, es determinar la diferencia obtenida en Representación espacial de secciones transversales perpendiculares a los ejes (cortes que dependen en gran medida de los criterios del modelador) para 1D y representaciones de malla computacional que descomponen el dominio físico en polígonos para 2D.

La investigación descrita anteriormente no brinda los datos de diferencia entre modelar con los programas HEC-RAS y IBER, Para el modelo bidimensional (IBER), el caudal pico resultante de la rotura de la balsa en IBER es de 107,6 m³/s. Este tiempo de inicio de flujo coincide con el tiempo total de falla de ruptura (20 min). Para el modelo unidimensional (HEC-RAS), algunas simulaciones de ejecución dieron errores de estabilidad, que no se resolvieron, pero todos los parámetros que afectaban a esta variable se cambiaron y varios se combinaron de alguna manera. De los resultados obtenidos en HEC-RAS con las modificaciones realizadas en todas las simulaciones realizadas, se puede concluir que los datos geométricos del canal o sección investigada presentan cambios muy bruscos entre sí a intervalos cortos.

Rodriguez (2018), en la tesis titulada: “Análisis de rompimiento de presas aplicado al embalse el Quillay, río Combarbalá”; El propósito general de la memoria corresponde al estudio de métodos que pueden ser utilizados para estimar inundaciones causadas por fallas de presas y comprobar su aplicabilidad a presas con propiedades tipo Quillay. Si se obtiene un resultado negativo, desarrollaremos un método de análisis especial para el caso que se investiga.

La investigación descrita anteriormente anterior concluye que, para presas con alturas de embalse del orden de Quillay, la regresión empírica no proporciona información confiable para estimar los parámetros de falla. En tales casos, se recomienda utilizar el parámetro de la velocidad máxima de erosión vertical registrada según observaciones pasadas, utilizando el tiempo de formación de la presa investigada, y utilizar el parámetro igual a 200 m/h.

2.1.2 En el ámbito nacional

Bustamante (2013), en la tesis titulada: “Modelamiento numérico de una onda de avenida generada por la rotura de una presa de tierra y su estimación de riesgo - aplicación a la presa Yuracmayo”, El propósito de este estudio es simular el

comportamiento del tsunami causado por la falla de la presa de tierra para evaluar el riesgo de la presa de tierra en la presa Yuracmayo.

Al llevar a cabo este trabajo, se validaron las limitaciones del modelo HEC-RAS para resolver las ecuaciones de movimiento bajo condiciones de flujo de dominio que cambian rápidamente para obtener el estancamiento y la inestabilidad en el momento del colapso rápido de la presa. Calcule el paso de tiempo de cálculo a 3 segundos y reduzca la precisión del cálculo de profundidad a 1 metro en caso de interrupciones repentinas. Esta tolerancia es aceptable teniendo en cuenta que los niveles de agua registrados son del orden de 18 metros y nuestro objetivo es identificar áreas de riesgo y no un mapa de inundación preciso.

Chávez & Cusma(2018) ,en la tesis titulada: “Análisis del riesgo hidrológico en una presa existente – presa Surasaca”, La presente tiene como propósito fundamental analizar los riesgos hidrológicos de la presa de Surasaca para asegurar que la presa esté diseñada para soportar inundaciones máximas en las condiciones actuales. Analizar la precipitación máxima que ocurre en la cuenca de la laguna de Surasaca.

De la investigación anterior se concluyó que la precipitación máxima en la cuenca osciló entre 27,38 mm y 61,95 mm, lo que corresponde a una PMP calculada de 179 mm, por lo que no supera el límite. El funcionamiento del embalse de NAMO no afecta a la seguridad de la presa ya que el oleaje generado no supera los límites admisibles. Por lo tanto, la operación de presas que garantiza el 90 % y el 75 % de la demanda es también seguridad de presas. Sin embargo, esto afectará la producción de los usuarios del río presa.

Gómez & Peralta(2021), en la tesis titulada: “Modelamiento hidráulico bidimensional para el análisis de la potencial rotura de la presa las delicias ubicado en el distrito de Oyotún - Chiclayo – Lambayeque”, Se hizo el modelado y evaluación para investigar cómo se comportaría el flujo después de que el colapso de la presa Las Delicias provocara una salida violenta del embalse. La encuesta se realizó recopilando imágenes satelitales recopiladas del sitio científico USGS-NASA y trabajó con el software GIS ArcGIS 10.5. Esto nos permitió transformar el perfil en un terreno adecuado para culminar en un proyecto de falla de presa.

De la tesis mencionada anteriormente se pudo concluir que el punto más vulnerable es la sección del eje de la presa sería el que está a la mitad del largo o mejor dicho en el centro de la longitud de dicha presa, dando como resultado un área total afectada de aproximadamente 150 km². El programa Hec Ras 5.07 tiene dos opciones para poder modelar ya sea en 1D o 2D, una de ellas fue modelar de forma bidimensional

o conocida como 2D ya que gracias a ello se puede tener un estimado de los resultados de una mejor manera del flujo en el tiempo y difiere las ecuaciones de Sant Venant.

Chalco(2018) ,en la tesis titulada: "Análisis comparativo de simulación de crecidas para estimar los riesgos por la rotura de represas – microcuenca Palermo, El Carmen, Churcampa - Huancavelica", Este estudio tiene objetivo fundamental el de estimar riesgos aplicando los esquemas Iber y Hec-ras para simular inundaciones por falla de presas y determinar el riesgo mediante la definición de esquemas adecuados (microcuenca Palermo, distrito El Carmen, Churcampa, Huancavelica). Identifique los posibles riesgos de inundación por fallas en las represas mediante la simulación con el esquema Hec-Ras. Luego de los modelamientos y la obtención de los mapas de riesgo, se procedió a estimar los posibles daños, dando como resultado que es escenario más dañino sería el escenario 10, este genera la destrucción completa de 2,62 kilómetros trocha, 166 viviendas dañadas, pérdida de 551 vidas humanas, daños a 2 núcleos urbanos, daños a los servicios de agua potable y alcantarillado, así como daños al medio ambiente, este último se representa por un área total afectada igual a 1,17 Km². Los calados máximos de las simulaciones obtenidos con HEC-RAS son mayores a las obtenidas con Iber, esto claro tratando a ambos casos con un análisis 2D, esto podría generar sobreestimación en obras de protección y genera que el área inundable sea mayor y por ende se pueden generar falsas alarmas por posibles inundaciones en zonas donde no hay ningún riesgo, así mismo los caudales pico no se presentan en el mismo instante, sino con una diferencia de minutos.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Clasificación y tipología de presas

Según Santaella Valencia & Morales(2001) afirman que para la clasificación y tipología de presas es importante mencionar los siguientes aspectos:

Los diferentes tipos de presas se clasifican según como soporten la presión del agua, los materiales utilizados en su construcción y como evacuan el exceso de caudal. La presa se opta en función de las condiciones topográficas y el uso que se proyecte para ellas.

- a. **Clasificación de acuerdo a la forma como resiste los empujes del agua:** pueden ser de dos tipos: de gravedad o en arco.

- b. **Clasificación de acuerdo a la forma de evaluar el caudal:** son dos, la primera cuando el vertedero se encuentra sobre la presa(presa-vertedero) y la segunda cuando el vertedero es independiente de esta.
- c. **Clasificación de acuerdo al material empleados:** puede ser en concreto convencional, concreto compactado con rodillo (CCR), o de materiales sueltos tales como las presas de tierra cuando más del 50% del material es terreo (limos, arcillas y suelos en general) o están mezclados con gravas y arenas; las presas de escolleras, en las cuales predominan las piedras en más del 50% del volumen total.

De acuerdo con organismos internacionales como el U.S. Bureau of Reclamation (USBR) y la Internacional Commission on Large Dams (ICOLD), las presas se clasifican según se establece en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

Clasificación de presas según la USBR y la ICOLD

	USBR		ICODL	
Clasificación por su finalidad	Clasificación por sus materiales	Clasificación por su Dimensión	Clasificación por sus materiales	
Presa de almacenamiento	*Presa de tierra	Presa pequeña: < 15 m de altura	Presas con hormigón:	
Presa de derivación	* Presa de enrocado o escollera	Presa grande: > 15 m de altura o cualquier presa con altura 10 a 15 m que satisfaga una de las siguientes:	* Presas de gravedad	
Presa de retención	* Presa de gravedad de hormigón	*Longitud de corona \geq a 500m	* Presas de bóveda (arco)	
Presa de multipósitos	* Presa de arco de hormigón	*Capacidad de embalse \geq 1 Hm ³	* Presas de contrafuertes	
	* Presa de contrafuertes de hormigón	*Caudal máximo de crecida \geq 2000 m ³ /s	*Presas de material suelto:	
		*Presas con problemas especiales de fundación.	*Presas de tierra	
		*Presas provenientes de proyectos no usuales	*Presas de enrocado o escollera	
			* Presas mixtas (tierra y enrocado)	

Nota. Adaptado de la US Bureau of Reclamation (2011) & ICOLD (2004).

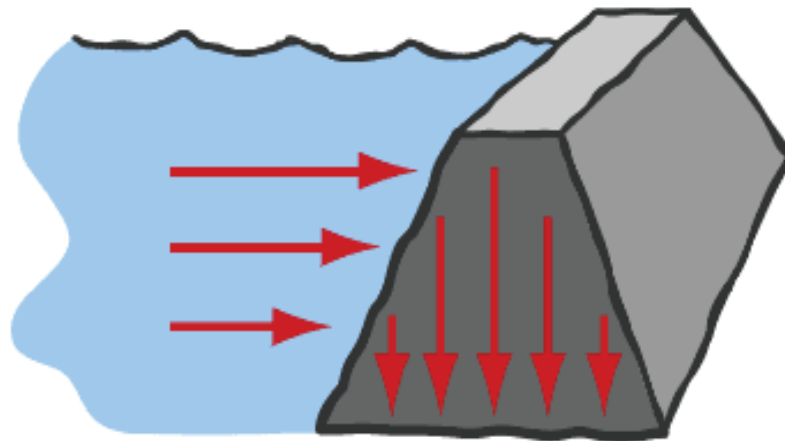
2.2.2 Clasificación de presas por sus materiales

2.2.2.1 Presas de Gravedad de Concreto o Mampostería

El mecanismo de resistencia de este tipo de presas es principalmente el rozamiento del cuerpo de la presa con el suelo sobre el que se apoya debido a su gran peso (antideslizante). Además, para evitar el vuelco, la resultante de la presión del agua y el peso muerto deben colocarse sobre la base del marco de la presa, en la Figura 1 se muestra la presa tipo de gravedad de concreto (Amador, 2016).

Figura 1

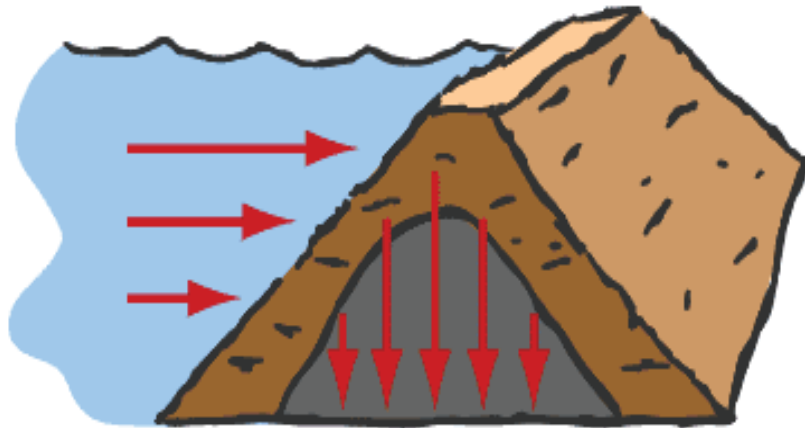
Presa de tipo gravedad de concreto



Nota. Se muestra la presa de tipo gravedad. Tomado de (Amador, 2016).

2.2.2.2 Presas de materiales Suelos

Las presas de material suelto son presas extremadamente versátiles que se pueden construir con casi cualquier material, lo que las convierte en las más abundantes del mundo. Tienen una sección transversal trapezoidal y son mucho más delgadas que las presas de fábrica. Su característica más importante es la zonificación de sus materiales, es decir, cada tipo de material se coloca donde mejor cumple su cometido. En la Figura 2 se muestra la presa de tipo de materiales sueltos y sus fuerzas actuantes (Amador, 2016).

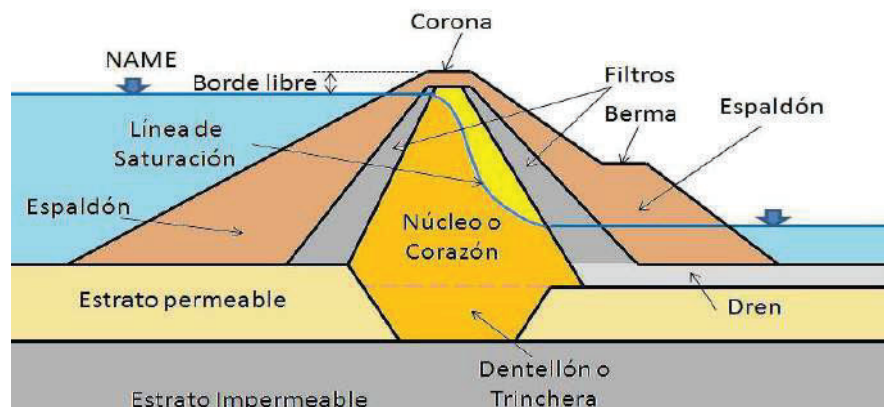
Figura 2*Presa de tipo Materiales Suelos*

Nota. Se muestra la presa de tipo material suelto. Tomado de (Amador, 2016).

2.2.2.3 Presas de enrocado y/o materiales sueltos con pantalla de concreto o de acero

El elemento impermeable es una cortina hecha de fragmentos de roca de varios tamaños, que soporta la superficie de hormigón del costado del tanque, que es un elemento impermeable. El muro o superficie se apoya en contacto con la base por un elemento de transición llamado zócalo, que soporta las losas de hormigón (Amador, 2016).

En la Figura 3 se muestra la presa tipo enrocado con pantalla de concreto con sus partes.

Figura 3*Presa tipo Enrocado con Pantalla de Concreto*

Nota. Se muestra la presa de tipo enrocado con pantalla de concreto. Tomado de (Sandoval, 2017).

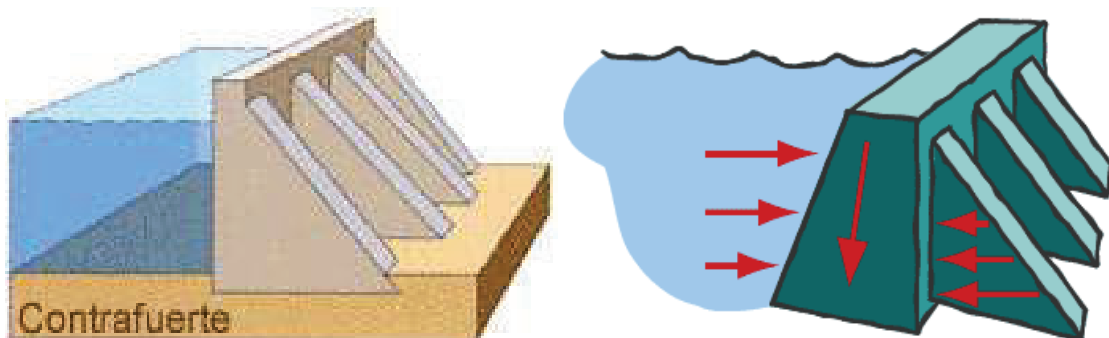
2.2.2.4 Presas de contrafuertes:

La resistencia de este tipo de presas es similar al mecanismo de las presas de gravedad. Estos son vertederos donde la "cabeza" está inclinada y descansa sobre elementos más largos y llamados "colas" que se colocan aguas abajo para sostener la cabeza a lo largo del cuerpo del vertedero (Amador, 2016).

Se muestra en la Figura 4 se muestra la presa de tipo Contrafuerte y las fuerzas actuantes.

Figura 4

Presa de tipo Contrafuerte



Nota. Se muestra la presa de tipo Contra fuerte y las fuerzas que actúan. Tomado de (Amador, 2016).

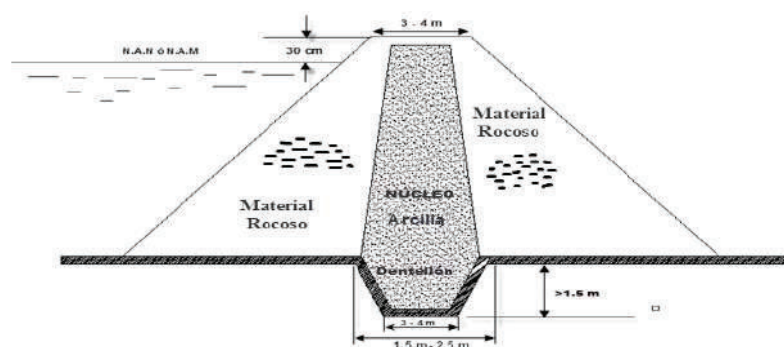
2.2.2.5 Presas Mixtas (de gravedad y dique de material suelto):

Las presas de sección mixta son presas que constan de dos materiales; uno resistente al agua y otro duradero con capas de filtro en el medio. También pueden ser pantalla y corazón, tierra, piedra y fundición (Armas y Horta, 1987).

En la figura 5 se muestra el tipo de presa mixta.

Figura 5

Presa de tipo Mixta



Nota. Se muestra la presa de tipo mixta. Tomado de (Urquiza et al., 2016).

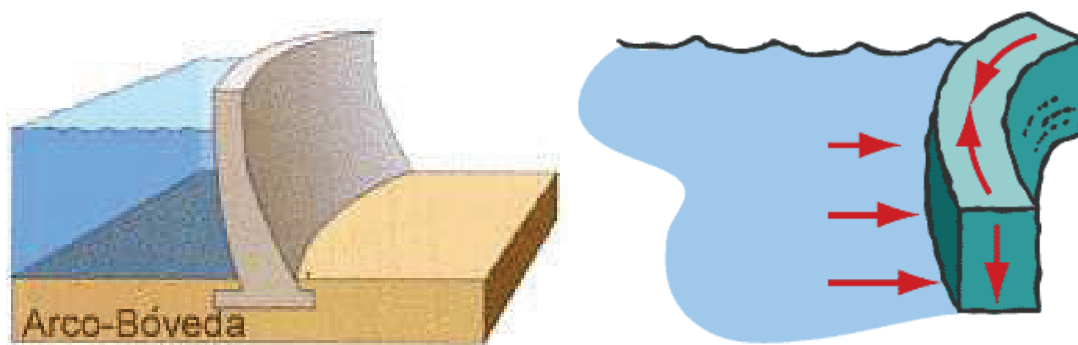
2.2.2.6 Presas de arco – gravedad:

Basado en el concepto antifunicular, este tipo de presa es resistente por su forma. El arco demuestra ser resistente a una carga radial uniformemente distribuida, es decir, el arco sometido a este tipo de carga actúa sólo axialmente. Dicho arco transmite estas fuerzas de compresión a las bases del cerco, por lo que deben tener una alta resistencia (Amador, 2016).

Tal como se muestra en la Figura 6 el tipo de presa Arco y sus fuerzas actuantes.

Figura 6

Presa de tipo Arco



Nota. Se muestra la presa de tipo mixta. Tomado de (Urquiza et al., 2016).

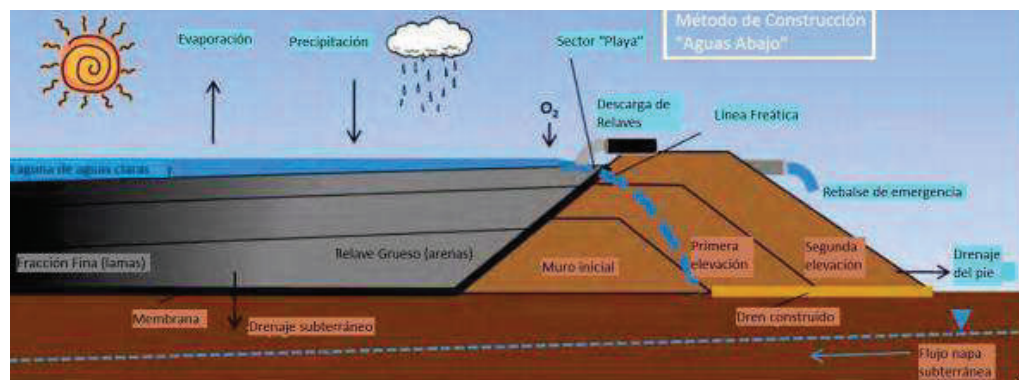
2.2.2.7 Presas de Relaves:

Las represas de desechos mineros son estructuras geotécnicas complejas. En cuanto a estructura y funcionamiento, tienen elementos similares a las presas de agua y diferencias importantes (Hernandez y Guardado, 2010).

En la Figura 7 se muestra el tipo de presa de relave y algunos de sus elementos.

Figura 7

Presa de tipo Relave



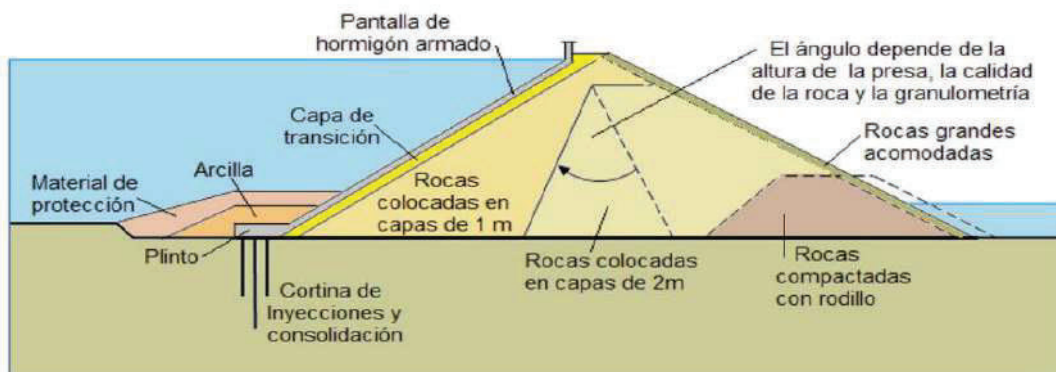
Nota. Se muestra la presa de tipo relave. Tomado de (SERNAGEOMIN, 2023)

2.2.3 Presa de enrocado con pantalla de concreto (CFRD)

Según Aguirre (2014) afirma que la presa de enrocado de concreto se constituye principalmente de rocas o piedras grandes. La impermeabilidad de este tipo de presas pasa por el uso material arcilloso o material bituminoso colocado como núcleo o disponer de una cara superior impermeable, como puede ser una cara de concreto.

Figura 8

Perfil típico de una presa de enrocado



Nota. Perfil típico de una presa de enrocado. Tomado de (Sandoval Erazo, 2018).

2.2.3.1 Elementos de una presa

Los elementos de una presa varían según su selección y tipo. Según Aguirre (2014) dentro de los elementos principales de una presa de forma general son los siguientes:

- a. Borde libre (free board)
- b. Cresta
- c. Taludes aguas arriba y abajo
- d. Geometría interna de la sección
- e. Protección de los taludes y de cresta
- f. Aliviaderos
- g. Túnel de aducción o canal de conducción
- h. Chimenea de equilibrio o cámara de carga

2.2.4 Clasificación de presas de acuerdo a la normativa Peruana

Según la Autoridad Nacional del Agua (2017), en el Artículo 8 del reglamento de seguridad de Presas en el Perú, las presas de embalse se clasifican de acuerdo a los siguientes criterios:

2.2.4.1 En función de sus dimensiones

a) Grandes Presas

Tendrán esta categoría las presas que cumplan cualquiera de las siguientes condiciones:

- Altura superior a 15 metros, medida desde la parte más baja de su cimentación hasta su coronamiento.
- Altura comprendida entre 10 y 15 metros, medida desde la parte más baja de su cimentación y siempre y cuando, tengan una capacidad de embalse que no sea inferior a los 3MMC o de lo contrario, una longitud de coronamiento superior a los 400 metros.

b) Pequeñas Presas

Serán todas aquellas que cumplan cualquiera de las condiciones siguientes:

- Altura comprendida entre 5 y 10 metros, medida desde la parte más baja de su cimentación y tenga una capacidad de embalse no menor de 0.5Hm³.
- Altura medida desde la parte más baja de su cimentación que este comprendida entre 2 y 5 metros, incluyendo el borde libre mínimo respectivo.

2.2.4.2 En función de su riesgo Potencial

- Categoría A.- Cuando corresponde al caso de las presas cuya rotura o pésimo funcionamiento puede afectar muy gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, produciendo la pérdida de numerosas vidas humanas o perjuicios ambientales desastrosos, así como daños materiales catastróficos (en viviendas, tierras de cultivo, establos, granjas, caminos, puentes, etc.).
- Categoría B.- Cuando corresponde al caso de presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto pueda ocasionar daños materiales o medioambientales importantes, pero no catastróficos, o afectar a un número no muy grande de viviendas, tierras de cultivo, establos, granjas, caminos, puentes, etc.; produciendo la pérdida de algunas vidas humanas.
- Categoría C.- Cuando corresponde al caso de las presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales de moderada importancia y de ninguna manera, la pérdida de vidas humanas.

2.2.5 Características hidrológicas

Según Tèllez (2012) en la proyección de presas, un estudio hidrológico es primordial ya que a través de él se conocerán todos los gastos de diseño de las estructuras de la presa y con ellos el diseño para la factibilidad de construcción de la misma.

Un estudio hidrológico básico incluye:

- Reconocimiento de la cuenca a través de sus características fisiográficas
- Análisis de datos de precipitación
- Análisis de datos de evaporación
- Relación lluvia- escurrimiento

Sin embargo, la hidrología también define la capacidad de almacenamiento, lo que permite dimensionar el dique y las obras auxiliares. Para dimensionar el vaso se utilizan:

- Curvas elevaciones -áreas - capacidades (volúmenes)
- Capacidad de azolves y NAMINO (Nivel de Aguas Mínimo de Operación)
- Capacidad útil y NAMO (Nivel de Aguas Máximas Ordinarias)
- Avenidas de diseño para la obra desvío y excedencias
- Capacidad de control o regulación, NAME (Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias)
- Borde libre

Cada uno de estos parámetros tiene un objetivo específico y van ligados entre sí, por lo que es realmente importante cuidar que todos ellos sean lo suficientemente confiables puesto que un solo error puede arrastrar otros y ocasionar la falla de alguna estructura, causando desastres irreparables.

2.2.6 Características hidráulicas

Dentro de los resultados de modelos hidráulico resultan ítems como caudal máximo, cota máxima de agua, tiempo de llegada de onda, tiempo valores máximos, calado máximo (tirante máximo) y velocidad máxima.

2.2.7 Hidrogramas

La condición de contorno impuesta aguas arriba del modelo generalmente corresponderá con una entrada de caudal (Dirección General del Agua, 2021) .

Para el caso de los modelos hidráulicos realizados en el ámbito de una propuesta de clasificación habrá dos tipos de entrada:

- Hidrograma correspondiente al escenario de situación límite aguas arriba del embalse objeto de clasificación.
- Hidrograma o caudal constante a introducir por el cauce o cauces receptores de la onda de rotura.

Los hidrogramas de salida serán de acuerdo a periodos de retorno logrando considerarse periodos de 10,25,50,100,200,500,1000 años. Para análisis de estos hidrogramas se tendrá en cuenta para el modelado en Hec-Ras para la rotura de la presa.

2.2.8 Propagación de onda de avenida

Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico (2021) los modelos hidráulicos generalmente empleados para el estudio de la propagación de la onda de rotura requieren para su aplicación un modelo digital del terreno (MDT) que defina el relieve de la zona potencialmente inundable aguas abajo. Dichos modelos se obtienen de forma habitual mediante la aplicación de tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging), basada en los datos proporcionados por un sensor instalado en un avión, helicóptero o dron, que emite pulsos láser registrando el tiempo que tardan en llegar a la superficie y volver al aparato.

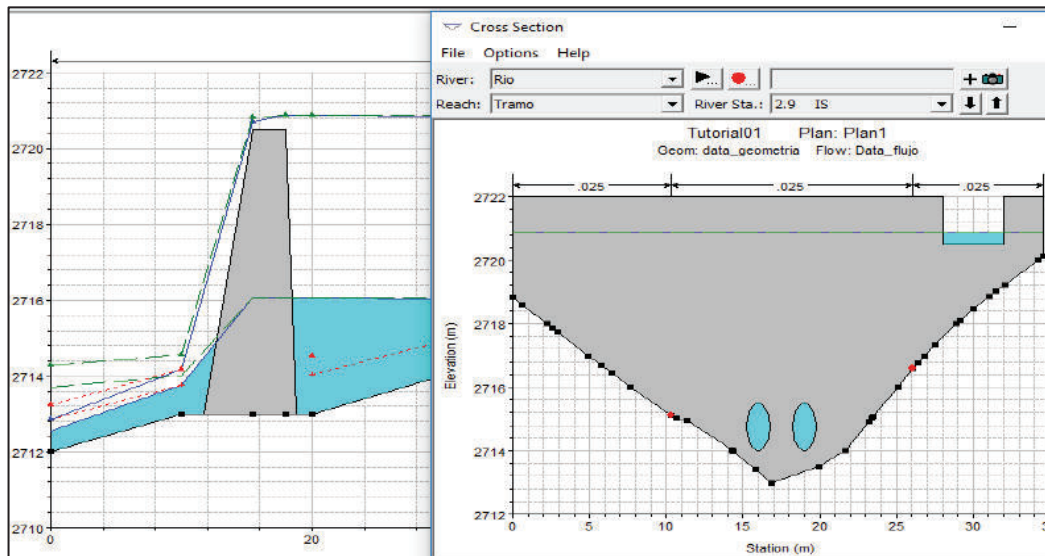
El hidrograma de salida durante la rotura depende de las características geométricas e hidráulicas del embalse y de las características geotécnicas del terraplén. Suele haber gran incertidumbre en torno a esta definición. Desde un punto de vista práctico, es necesario estimar la propagación de estas ondas de avenida, teniendo en cuenta los posibles hidrogramas de entrada y salida en un lugar determinado (Ponce y otros, 2003).

2.2.9 Modelado en Hec-Ras

HEC-RAS permite simular la rotura de presas, y puede combinar roturas de diferentes tipos de presas en la misma simulación. También pueden situarse en diferentes causas, establecer diferentes regímenes de funcionamiento de compuertas y diferentes modalidades de rotura para cada una de las presas, e incluso es capaz de simular distintas geometrías de brechas y diferentes tiempos de rotura como las que se muestran en la Figura 9.

Figura 9

Modelado de una presa en Hec-Ras



Nota. Imagen de una tutoría de modelamiento Hidráulico de una Presa en HEC-RAS. Tomada de (RHydro Ingenieros, 2018).

2.2.9.1 Procedimiento de un modelado 2D en HEC-RAS

Existen un conjunto de pasos para realizar un modelamiento en bidimensional en el software. A continuación, se muestra de manera resumida los pasos para realizar un modelado hidráulico.

- Pre proceso del modelo hidráulico con el uso de la herramienta Ras Mapper.
- Importación del área de estudio y configuración de la malla.
- Asignación de la rugosidad.
- Incorporación de líneas de rotura.
- Ingreso de hidrogramas para el análisis en régimen variable.
- Configuración del plan y proceso de simulación.
- Visualización y análisis de resultados utilizando la herramienta Ras Mapper

2.2.10 Brecha de Rotura

Según (Castañeda, s.f.) afirmado lo siguiente, la brecha es la abertura que se forma en una presa cuando esta falla.

Los parámetros que definen la magnitud del pico y la forma del hidrograma de la descarga incluyen:

- Las dimensiones y la forma de la brecha

- b. El tiempo de desarrollo
- c. La profundidad y volumen del agua almacenada en el reservorio
- d. El caudal ingresando al reservorio al momento de la rotura

Los dos primeros parámetros dependen significativamente del tipo de presa según sus materiales y de la causa de la falla; es por ello que la literatura de rotura de presas separa el análisis en dos grupos: presas de materiales sueltos (tierra y tierra-enrocado) y presas rígidas (hormigón y mampostería) (Castañeda, s.f.).

- **Presas de materiales sueltos:** exceden en número a cualquier otro tipo de presas. Presentan roturas progresivas en el tiempo y con evolución desde formas geométricas iniciales hasta prácticamente la totalidad de la presa. La forma de la brecha en general es trapezoidal. Una vez que la brecha ha comenzado a desarrollarse, la descarga del agua erosionará la brecha hasta agotar el agua del reservorio o hasta que la brecha resista la erosión.

Una brecha completamente desarrollada en presas de tierra tiende a tener en promedio un ancho (b) en el rango de $hd < b < 3hd$ donde hd es la altura de la presa. Las longitudes de las brechas para presas de tierra son usualmente menores que la longitud total del cierre. La brecha requiere también un intervalo de tiempo para su formación. El tiempo total de falla tiene un rango de unos pocos minutos a pocas horas, dependiendo de la altura de la presa, el tipo de material usado en su construcción, y la magnitud y la duración de la descarga del agua. Las fallas por sifonamiento ocurren cuando la formación inicial de la brecha tiene lugar en algún punto por debajo del coronamiento debido a la erosión interna que forma un canal a través del cual escapa el agua (Castañeda, s.f.).

- **Presas rígidas:** también tienden a presentar brechas parciales de uno o más secciones monolíticas formadas durante la construcción de la presa que son desplazadas por el agua que escapa (sección rectangular). El tiempo de formación de la brecha es del orden de unos pocos minutos (Castañeda, s.f.).

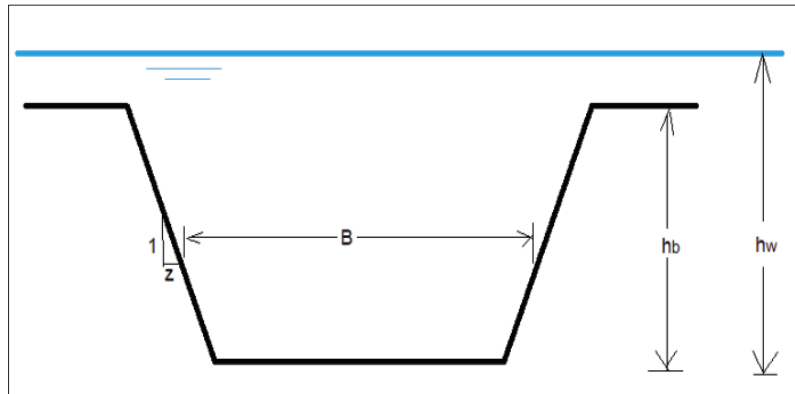
2.2.10.1 Definición de los parámetros de una brecha

Los parámetros de una brecha incluyen todos aquellos parámetros necesarios para describir físicamente una brecha (profundidad, ancho, ángulos de los taludes) como también los parámetros que definen el tiempo requerido para el inicio y desarrollo de la misma. Los parámetros físicos según la definición adoptada por el Bureau of

Reclamation de Estados Unidos (Bureau of Reclamation, 1998) se muestran gráficamente en la figura (Castañeda, s.f.).

Figura 10

Parámetros de una brecha de rotura



Nota. Adaptado de Modelación de la Brecha de Rotura.
Tomado de (Castañeda, s.f.).

- **Profundidad de la brecha (hb):** Distancia vertical de la brecha, que comienza en la cresta, hasta el invertido de la brecha (Guarniz, 2014).
- **Carga sobre la brecha (hw):** Se refiere a la distancia medida desde la altura de agua en el reservorio hasta el invertido de la brecha (Guarniz, 2014).
- **Amplitud de la brecha (B):** tanto el ancho final de la brecha como su tasa de expansión puede afectar dramáticamente la tasa de descarga y el nivel de inundación aguas abajo de la presa. Los casos de estudios típicamente reportan el ancho promedio de la brecha en su parte superior o en la inferior (Castañeda, s.f.).
- **Pendientes laterales de la brecha:** es el valor de las pendientes laterales que defina la forma de la brecha. Este valor no tiene demasiada influencia (Castañeda, s.f.).

Los parámetros de tiempo, de interés son:

- **Tiempo de inicio de la brecha:** El tiempo de inicio de la brecha es un parámetro importante ya que puede indicar el tiempo de aviso disponible para evacuar la población aguas abajo. Inicia cuando ocurre las primeras descargas de caudales de la presa, con esto se da inicio de alerta de evacuación por potencial falla de la presa, es posible que en esta fase para la presa sobrevivir si el sobrepaso o la erosión se detienen. La fase siguiente es el comienzo de la formación de la brecha (Castañeda, s.f.).

- **Tiempo de formación de la brecha:** Tiempo desde del inicio de la brecha hasta su completar su desarrollo. En caso de falla por sobrepaso, se considera desde el momento en que la presa se haya erosionado como resultado de la descarga. En la fase inicio, la presa aún no falló y la descarga de la presa es pequeña. La descarga puede consistir en un sobrepaso de apenas unos centímetros sobre el coronamiento o la descarga desarrollándose a través de un canal de infiltración (Castañeda, s.f.).

2.2.10.2 Estimación de parámetros de la brecha

Se divide en dos partes, la predicción del hidrograma de descarga por una brecha de la siguiente manera:

- a. Estimación de las características de las brechas (forma, profundidad, ancho, tasa de formación, etc.).
- b. Tránsito del agua almacenada y que ingresa al embalse a través de la brecha.

Para estimar los parámetros de la brecha suele recurrirse a expresiones empíricas disponibles en la literatura, y que en general han sido deducidas a partir de análisis de regresión sobre datos de formas, dimensiones y tiempos de desarrollo de brechas correspondientes a casos históricos de presas colapsadas (Castañeda, s.f.).

Los métodos se pueden agrupar en tres categorías:

- **Análisis comparativo:** Si una presa bajo análisis es muy similar en tamaño y construcción a una presa que falló, y esa falla fue bien documentada, los parámetros de la brecha y el pico de la descarga se determinan por comparación (Guarniz, 2014).
- **Ecuaciones empíricas:** estiman el pico de la descarga mediante ecuaciones empíricas determinadas de análisis de regresiones sobre casos de estudios y asume un hidrograma de descarga razonable (Guarniz, 2014).
- **Métodos basados en los procesos físicos:** predicen el desarrollo de la brecha o la descarga resultante utilizando modelos de erosión basados en principios hidráulicos, del transporte de sedimentos y de mecánica de los suelos (Guarniz, 2014).

2.2.11 Escenarios de rotura

Los escenarios de rotura se dividen en los siguientes criterios:

a. Rotura sin avenida

Rotura sin avenida y con embalse lleno, que es el máximo nivel que puede alcanzar el agua del embalse en régimen normal de explotación (Sanz-Ramos y otros, 2019).

b. Rotura con avenida

Rotura en situación de avenida y con el nivel de embalse en coronación y desaguando la avenida de proyecto (en su caso, la avenida extrema) (Castañeda, s.f.).

c. Solo avenida

Escenario de rotura de compuertas: Embalse inicialmente en su nivel máximo normal y en régimen normal de explotación. Rotura de compuertas secuencial y progresiva de 5 a 10 minutos para la totalidad de las compuertas (Castañeda, s.f.).

2.2.12 Guía Técnica para la Clasificación de Presas de España

2.2.12.1 Consideraciones de Base para el proceso de categorización

Se indican las siguientes consideraciones de base respecto al proceso y evaluación de la categoría en función del riesgo potencial:

- a. Los criterios de clasificación basados en el riesgo de posible falla o funcionamiento inadecuado.
- b. La clasificación según el riesgo posible se basa en una evaluación de los posibles daños que pueden ocurrir si la presa se rompe o funciona mal, no en una evaluación del riesgo en sí; porque el concepto de riesgo se refiere no sólo al daño causado por un determinado evento, sino también a la probabilidad de que ese evento ocurra.
- c. Los daños se evalúan sólo en caso de rotura de la presa, no en caso de uso no previsto, porque los daños posibles son en todo caso menos favorables que el punto de vista anterior.
- d. Las presas se clasifican de forma independiente. En otras palabras, si dos ríos o afluentes diferentes tienen dos represas que potencialmente podrían dañar la misma área o ubicación, no se toma en cuenta su falla simultánea.

- e. Al analizar la ola rompiente formada, se consideran los elementos individuales ubicados aguas abajo, cuya condición puede aumentar o empeorar sus consecuencias, creando un efecto en cadena. El caso más típico es el resultante de la presencia de la presa analizada aguas abajo de otras que pueden fallar como consecuencia de la primera falla.
- f. Al evaluar los daños se considera que no se advierte a la población o se toman medidas urgentes después del delito.

Se examinarán las posibles afecciones a:

- Núcleos de población o viviendas aisladas.
 - Servicios esenciales.
 - Daños materiales.
 - Aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales.
- g. Se evaluarán los daños potenciales para cada uno de los citados grupos, correspondiendo la categoría de la presa a la categoría máxima asignada a cada uno de los aspectos individuales, sin estudiar posibles combinaciones de ellos.
 - h. El contenido de este manual técnico es una guía para apoyar a los propietarios de presas, órganos administrativos y cooperativos competentes en la elaboración y evaluación de propuestas de clasificación de presas. Las indicaciones y criterios señalados deberán presentarse siempre en base a una evaluación técnica y especificada para las presas analizadas, pudiendo utilizarse métodos y procedimientos alternativos si se justifica suficientemente (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, 2021).

2.2.12.2 Criterios generales de valoración de las afecciones

El proceso de valoración se realizará, para todos aquellos elementos que se sitúen dentro de los límites de la zona inundable tras la rotura, en dos etapas:

- a. El primer paso es analizar si su condición está presente o no. A los efectos de la clasificación, los elementos se consideran afectados si tienen un "estado grave"; los valores umbral para condiciones complejas se determinan a partir de los valores de las variables hidráulicas (profundidad y velocidad) del oleaje rompiente del tramo de estudio. Si se superan los umbrales anteriores, la condición se clasifica como "grave" y se analiza en detalle en el segundo paso, y si la condición no se supera, se clasifica como "no grave".
- b. En el segundo paso, se examinan todos los elementos determinados en el paso anterior como en "estado grave" para determinar en qué categoría clasificar

según su número, extensión o lista. Presa (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, 2021).

2.2.12.3 Clasificación de las presas

a. Presas Existentes:

Esta propuesta será lo más objetiva y coherente posible tras informar de las novedades y recomendaciones y facilitará la labor de las autoridades y entidades administrativas competentes. Debe notarse, sin embargo, que en ciertos casos y de acuerdo con los criterios anteriores, la clasificación de Clase A puede hacerse con base en una simple evaluación de ingeniería, sin más ayuda que los mapas topográficos del área y una posible visita de campo. . Esto sucede, por ejemplo, si existe un núcleo de población aguas abajo de la presa, que claramente se ha visto gravemente afectado por el posible desborde.

En los casos en que esta condición no esté clara, y para las represas que se espera que se clasifiquen como C porque no hay casas u otras características aguas abajo que indicarían un aumento en el grado, se deben realizar estudios de falla detallados. Esto proporciona certeza de condición (clases A y B) o condición cero en clase C. En cualquier caso, la propuesta realizada siempre está documentada y justificada.

b. Presas de nueva construcción:

El propietario de una presa de nueva construcción debe realizar un análisis que le permita clasificarla de acuerdo con los criterios presentados hasta ahora, lo que significa, en su caso, tener en cuenta los efectos de la nueva presa. existentes aguas abajo (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, 2021).

2.2.13 Afecciones según la Guía Técnica España

2.2.13.1 Afección a núcleos de población o viviendas aisladas

La Categoría A se asigna cuando ocurre una "condición grave" en más de cinco hogares, y la Categoría B cuando ocurre una "condición grave" en uno a cinco hogares. (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, 2021)

Una residencia que presenta una amenaza para la vida de sus habitantes se considera una "condición grave". La etiqueta "severo" se determina en función de la profundidad y la velocidad de la ola rompiente en el punto dañado de acuerdo con los criterios que se muestran en la siguiente Figura 11.

Figura 11

Evaluación de la gravedad de las afecciones en núcleos de población y en viviendas aisladas

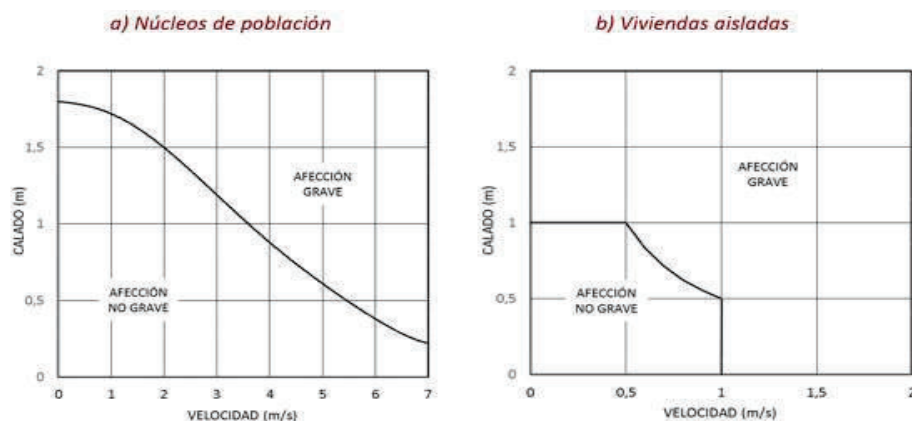


Figura 1. *Evaluación de la gravedad de las afecciones en núcleos de población y en viviendas aisladas*

Nota. Se muestra los esquemas de valores de afección en núcleos urbanos de población y viviendas aisladas. Tomado de (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, 2021).

Según la definición del Instituto Nacional de Estadística (INE), un núcleo o centro de población es un conjunto de al menos 10 edificios que estén conformadas de calles, plazas y otras vías de la ciudad. Excepcionalmente, el número de edificios puede ser inferior a 10, si en ellos viven más de 50 habitantes. El núcleo incluye aquellas edificaciones que, aisladas, se encuentren a menos de 200 metros de los límites exteriores del citado complejo, si bien esta distancia viene determinada por los recintos industriales o comerciales, parques, jardines, instalaciones deportivas, cementerios, aparcamientos, etc. así como canales o ríos que pueden ser atravesados por puentes. La figura 1.a) se utiliza para estimar los efectos sobre el núcleo poblacional.

Las edificaciones que no forman parte del núcleo de población se valoran como viviendas aisladas y se utiliza el gráfico 1.b para determinar las condiciones.

Según la definición del Instituto Nacional de Estadística (INE), un núcleo o centro de población es un conjunto de al menos 10 edificios que estén conformadas de calles, plazas y otras vías de la ciudad. Excepcionalmente, el número de edificios puede ser

inferior a 10, si en ellos viven más de 50 habitantes. El núcleo incluye aquellas edificaciones que, aisladas, se encuentren a menos de 200 metros de los límites exteriores del citado complejo, si bien esta distancia viene determinada por los recintos industriales o comerciales, parques, jardines, instalaciones deportivas, cementerios, aparcamientos, etc. así como canales o ríos que pueden ser atravesados por puentes. La figura 1.a) se utiliza para estimar los efectos sobre el núcleo poblacional.

Las edificaciones que no forman parte del núcleo de población se valoran como viviendas aisladas y se utiliza el gráfico 1.b para determinar las condiciones.

El umbral que se muestra en la Figura 1.b corresponde al umbral del artículo 9.2 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RDPH), que dice: "Debe considerarse que, si las condiciones hidráulicas durante una inundación satisfacen una o más, pueden ocurrir daños graves a personas y bienes. de los siguientes criterios: a) el calado es superior a 1 m, b) la velocidad es superior a 1 m/s o c) que el producto de ambas variables es superior a 0,5 m²/s".

El atributo aleatorio asociado con la clasificación C se aplica a la presencia aleatoria y temporalmente impredecible de personas en la zona de inundación. Categorizar a las víctimas potenciales relacionadas con la situación en residencias permanentes, establos, campamentos, lugares donde la gente suele reunirse por algún motivo, etc., es inaceptable.

En la clasificación, los campings estables se equiparán a las aglomeraciones poblacionales, mientras que las edificaciones aisladas, los locales comerciales, los lugares de culto, los eventos y las naves industriales se equiparán a las viviendas unifamiliares.

Se realiza una evaluación para cada posible punto de impacto utilizando los valores máximos de calado y velocidad obtenidos después del modelado numérico de la rotura y propagación de onda asociada. Los núcleos de población se tratan como un solo elemento y los valores más desfavorables se toman de los valores obtenidos para sus diversas regiones (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, 2021).

2.2.13.2 Servicios esenciales

Se entienden como aquéllas que sean necesarias para el desarrollo de las actividades humanas y económicas de los grupos de población de más de 10.000 habitantes, y siempre que el servicio que presten no pueda ser inmediatamente restablecido o

prestado de forma alternativa. Los posibles servicios básicos son al menos los siguientes:

- Abastecimiento y saneamiento.
- Suministro de energía.
- Sistema sanitario.
- Sistemas de comunicaciones.
- Infraestructuras de transporte.

"Condición grave" para servicio esencial se clasifica como A.

La determinación de calificar como "grave" se basa en el calado y la velocidad de onda de rotura en el punto de condición. Los criterios dados en la Figura 2. El umbral que se muestra en la Figura 2 corresponde a lo dispuesto en el artículo 9(2) del RDPH. En la Figura 12 se observa la evaluación de gravedad de las afecciones de servicios esenciales, daños materiales, aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales u otros.

Figura 12

Evaluación de la gravedad de afecciones de servicios esenciales, daños materiales, aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales u otros

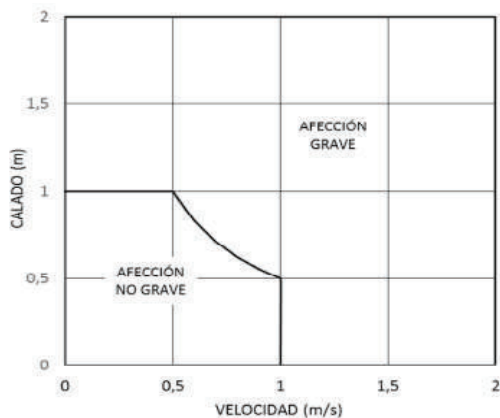


Figura 2. Evaluación de la gravedad de las afecciones del tipo servicios esenciales, daños materiales, aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales u otros.

Nota. Se muestra los esquemas de valores de afección en servicios esenciales, daños materiales, aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales u otros. Tomado de (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, 2021).

2.2.13.3 Daños materiales

Las pérdidas materiales se entienden directamente medibles en el sentido económico, ya sean directas (destrucción de elementos) o indirectas (reducción de la producción u otras).

Los daños materiales se evaluarán en función de los siguientes grupos:

- a. Daños a industrias y polígonos industriales.
- b. Daños a propiedades rústicas.
- c. Daños a cultivos.
- d. Daños a infraestructuras.

Se considera que se han producido daños materiales si la condición del elemento se clasifica como "grave" en función del calado y la velocidad de las olas rompientes. Se clasifica como "grave" cuando se supera el valor umbral que se muestra en la figura 2 (criterio del artículo 9.2 del RDPH).

La extensión de los daños a dichos elementos se estima analizando el número de instalaciones industriales o fincas rurales dañadas, el área de campo inundado y los tipos de infraestructura dañada.

En consecuencia, hay daños severos en más de 50 instalaciones/inmuebles, más de 5000 ha de área irrigada, más de 10000 ha de lluvia, carreteras de la red nacional, carreteras regionales de alta calidad o trenes de área amplia - de ancho o de alta velocidad.

Se considera daño significativo a más de 10 instalaciones/propiedades, más de 1000 ha de tierra de regadío, más de 3000 ha de tierra de secano, áreas de segundo o tercer nivel - clasificación clase B - o para un ferrocarril de vía estrecha. Los daños materiales que no superen estos últimos límites se consideran moderados - categoría C (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, 2021).

2.2.13.4 Aspectos medioambientales, histórico-artísticos y culturales

Se entiende por daño ambiental o daño al patrimonio histórico, artístico o cultural una afectación "grave" sobre elementos o espacios de naturaleza jurídicamente protegidos a nivel estatal (Red Natura 2000, parques nacionales, valores culturales u otros). o regionales (parques naturales, parques regionales u otros).

Se consideran daños muy significativos - clasificación Clase A - estado "grave" para elementos con indicadores de protección a nivel estatal y daños importantes -

clasificación Clase B - estado "grave" para elementos catalogados a nivel autonómico nacional.

En las áreas protegidas, el espacio libre "grave" se determina en función del calado, la velocidad de las olas rompientes y la superficie afectada. Se clasifican como "graves" si se supera el umbral que se muestra en la Figura 2 (criterio del Art. 9.2 del RDPH) en un área de más de 1000 hectáreas.

En los demás elementos protegidos se clasifica como "grave" en función de la velocidad de la onda y calado de rotura en el punto afectado según los criterios de la Figura 2 (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, 2021).

2.2.13.5 Otras afecciones

Aunque no se mencionan específicamente en la definición de las categorías, existen elementos que habitualmente no se describen, pero que se caracterizan por el hecho de que las consecuencias de su fallo o funcionamiento inadecuado acarrear graves consecuencias, por ejemplo, las centrales nucleares o las instalaciones para la producción de compuestos tóxicos o particularmente nocivos para la salud humana o el medio ambiente -por ejemplo, las industrias inscritas en el Registro Nacional de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR)- cuyo estado debe ser analizado.

Los efectos severos en cualquier elemento enumerado en el índice anterior darán como resultado una clasificación de Clase A. A estos efectos, se considera impacto "grave" cuando las condiciones hidráulicas superan los valores umbral definidos en el artículo 9.2 del RDPH tal y como se muestra en la figura 2 (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, 2021).

2.2.14 Regímenes de flujo

Figura 13

Clasificación del régimen de flujo en canales abiertos

Número Adim.	Régimen	Régimen	Régimen
Froude $F=U/C_{rd}$	<i>Subcrítico</i> $F < 1$	<i>Crítico</i> $F = 1$	<i>Supercrítico</i> $F > 1$
Reynolds $R_e = ud/\nu$	<i>Laminar</i> $R_e < 1000$	<i>Transición</i> $1000 < R_e < 3000$	<i>Turbulento</i> $R_e > 3000$
Reynolds modificado $R = R_e/2S_o$	<i>Laminar</i> $R < 1000$	<i>Transición</i> $1000 < R < 3000$	<i>Turbulento</i> $R > 3000$
Vedernikov $V = C_{rk}/C_{rl}$ $V = F/F_s$	<i>Estable</i> $V < 1$	<i>Neutral</i> $V = 1$	<i>Inestable</i> $V > 1$
Ponce-Simons $P = D_o/D$	<i>Cinemático</i> P pequeño	<i>Dinámico</i> P intermedio	<i>Inercial</i> P grande

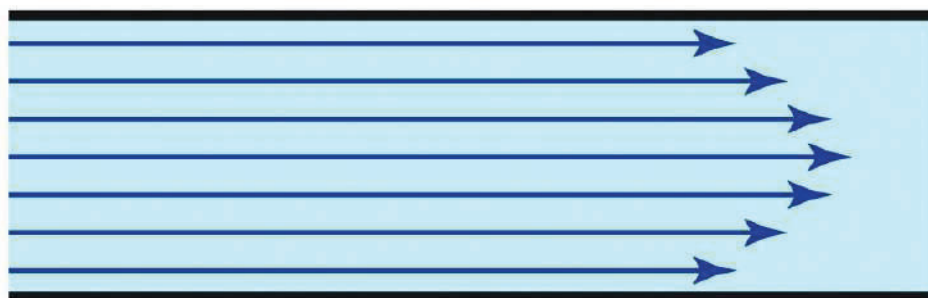
Nota. Se muestra los cuatro criterios de clasificación de régimen de flujo en canales abiertos. Tomado de (Zucarelli y Morresi, 1999)

2.2.14.1 Flujo Laminar

El flujo laminar, o flujo laminar, se denomina movimiento fluido cuando está organizado, en capas, uniforme. En el flujo laminar, el fluido se mueve en láminas paralelas sin mezclarse y cada partícula de fluido sigue un camino uniforme llamado línea de corriente. En flujos laminares, el mecanismo de transporte lateral es exclusivamente molecular (Robles, 2018).

Figura 14

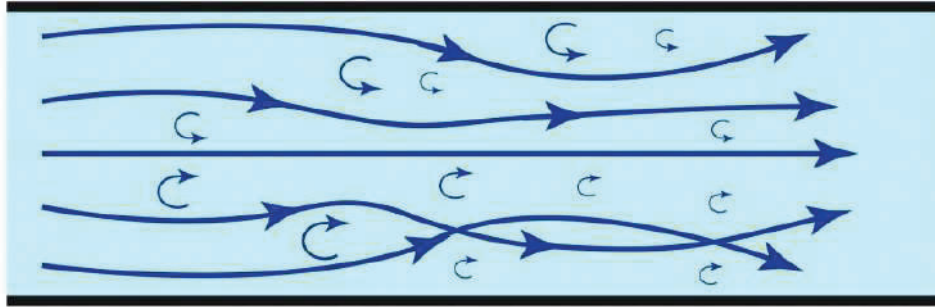
Flujo Laminar



Nota. Se muestra el flujo laminar. Tomado de (Fernández, 2019).

2.2.14.2 Flujo Turbulento

Hablamos de flujo turbulento cuando nos encontramos con un flujo con fluctuaciones continuas. El movimiento de los fluidos es caótico y las partículas se mueven de forma irregular, lo que provoca una mezcla aleatoria de sus trayectorias (Robles, 2018).

Figura 15*Flujo Turbulento*

Nota. Se muestra el flujo turbulento. Tomado de (Fernández, 2019).

2.2.15 Coeficiente de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning, que se utiliza en el cálculo de la resistencia por rozamiento del río, debe tener en cuenta, además de las propias pérdidas por rozamiento, las pérdidas individuales que continúan en el cauce por cambios de partes, capas, rayaduras, curvaturas, vegetación, etc.

Estas pérdidas individuales continuas añaden turbulencia y aumentan significativamente el coeficiente de rugosidad. Así que este es un multiplicador global. El cálculo de los niveles de agua en cauces naturales es, sin duda, sólo una primera aproximación y hay que aceptar los errores de cálculo (Felicísimo, 1994).

2.2.15.1 Estimación hidráulica de coeficientes de rugosidad de Manning

Cowan desarrolló un procedimiento sistemático para estimar el valor del coeficiente de rugosidad de Manning. ("Estimating hydraulic roughness coefficients") (Chow, 1959).

Este investigador propuso utilizar el siguiente procedimiento dada la ecuación (5):

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m \quad (1)$$

El significado de los diversos términos, es:

n_0 = Valor básico del coeficiente de rugosidad para un tramo recto y uniforme.

n_1 = Incremento por irregularidades de las secciones.

n_2 = Incremento por variaciones de forma y dimensiones de las secciones.

n_3 = Incremento por obstrucciones.

n_4 = Incremento por vegetación en el cauce.

m = Factor correctivo por curvas y meandros del río.

A continuación, en la Tabla 2 se muestran valores de coeficiente de rugosidad “n” para los diferentes tipos de conductos con valores mínimo, normal y máximo de n.

Tabla 2

Valores de coeficiente de rugosidad de Manning

Tipo de Canal y descripción	mínimo	normal	máximo
D. Corrientes naturales			
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente <30.48 metros)			
a. Corrientes en planicies			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior, pero con mas piedras y maleza	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.400	0.048	0.050
6. Igual a 4, pero con mas piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos arboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150
b. Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
D-2. Planicies de inundación			
a. Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
b. Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en líneas maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduro	0.030	0.040	0.050
c. Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
d. Arboles			
1. Saucos densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales nivel de agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual que el anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente >30.48 metros)			
El valor de n es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.			
a. Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	0.060
b. Sección irregular y rugosa	0.035	0.100

Nota. Se muestra la tabla de valores de rugosidad por tipo de canal. Tomado de (Chow, 1959).

En la tabla 3 se detalla los valores de los parámetros de rugosidad según Cowan:

Tabla 3

Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad con la ecuación de Cowan

Condiciones del canal		Valores
Material involucrado	Tierra	0,020
	Corte en roca	0,025
	Grava fina	n_0 0,024
	Grava gruesa	0,028
Grado de irregularidad	Suave	0,000
	Menor	n_1 0,005
	Moderado	0,010
	Severo	0,020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	0,000
	Ocasionalmente alternante	n_2 0,005
	Frecuentemente alternante	0,010-0,015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	0,000
	Menor	n_3 0,010-0,015
	Apreciable	0,020-0,030
	Severo	0,040-0,060
Vegetación	Baja	n_4 0,005-0,010
	Media	0,010-0,025
	Alta	0,025-0,050
	Muy alta	0,050-0,100
Grado de los efectos por meandros	Menor	1,000
	Apreciable	m_5 1,150
	Severo	1,300

Nota. Se muestra la tabla de valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad. Tomado de (Chow, 1959).

2.2.16 Condiciones de contorno externas

En los modelos hidráulicos, las dimensiones del canal se tratan como un contorno abierto con una entrada y una salida. El número de condiciones que se pueden configurar depende del sistema de flujo seleccionado (rápido o lento). En los casos más comunes, es necesario establecer dos condiciones de contorno, unas aguas arriba y otras aguas abajo del modelo (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, 2021).

La condición de contorno establecida aguas arriba del modelo generalmente corresponde a la entrada actual. Existen dos tipos de entradas para los modelos hidráulicos realizados dentro de la propuesta de clasificación:

- a. Hidrograma correspondiente al escenario de situación límite aguas arriba del embalse objeto de clasificación.
- b. Hidrograma o caudal constante a introducir por el cauce o cauces receptores de la onda de rotura.

La condición de contorno aguas arriba del modelo suele estar representada por la altura a la que alcanza la capa de agua en una sección determinada. Este nivel se puede determinar fácilmente si existe alguna de las siguientes condiciones:

- a. Desembocadura del cauce en el mar.
- b. Calado conocido en alguna sección, impuesto por ejemplo por la existencia de un embalse.
- c. Disponibilidad de datos fiables de niveles y caudales en la zona de estudio.
- d. Régimen crítico en algún punto.

Estas son condiciones de contorno de superficie creadas. Estas pueden ser condiciones de entrada donde el flujo ingresa al reservorio o condiciones de salida. Usamos esta última condición en nuestro modelo Menú, Datos, Hidrodinámica (Palavecino, 2015).

2.2.16.1 Condiciones de contorno de salida

Se establece las condiciones de contorno de salida seleccionando Menú, Datos, Hidrodinámica, Condiciones de contorno. Aparece una ventana con la salida 2D seleccionada porque el volumen de agua ha cambiado debido a la discontinuidad y esta condición límite se usa para visualizar el flujo (Palavecino, 2015).

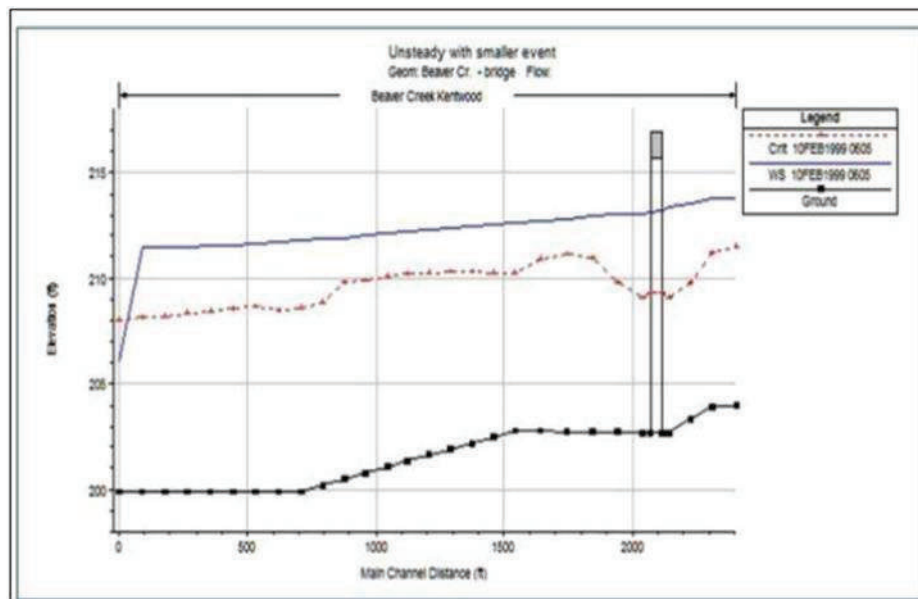
2.2.16.2 Condiciones de contorno aguas abajo

Todas las condiciones son importantes para todos los modelos hidráulicos, al menos para los modelos de flujo no uniforme. Estas condiciones son a menudo una fuente de errores e inestabilidad del modelo. La mayoría no conoce la fase real del flujo en los extremos aguas arriba. Por lo tanto, usamos la profundidad normal (ecuación de Manning) o la curva de clasificación calculada usando el modelo de flujo uniforme. La condición de profundidad requiere que se introduzca el gradiente de energía utilizado en la ecuación de Manning calculada en el último paso para que se produzcan las corrientes. Una solución es que las condiciones de contorno aguas abajo en diferentes lugares se utilicen para desarrollar el daño o la pérdida en etapas, de modo que el error de altura de la cuenca no afecte la superficie de interés.

Si las condiciones se configuran incorrectamente, significa que es una fuente de inestabilidad del modelo. Los choques o sobrevoltajes se deben a las condiciones de contorno aguas abajo en la Figura 16 es un ejemplo, aquí la caída de energía se calcula en más pasos que son mucho más pequeños de lo habitual para un flujo dado, lo que hace que el patrón sea más visible en el extremo aguas abajo del flujo (Gómez y Peralta, 2021).

Figura 16

Modelo debido a una mala condición de límite aguas abajo



Fuente: Manual de Hec-Ras

Nota. Se muestra un modelo debido a una mala condición de contorno de límite aguas abajo. Tomado de (Engineers, 2016).

2.2.17 Caudales de Diseño

Esta es la cantidad de agua que ingresa al alcantarillado. El propósito del cálculo de inundación propuesto es relacionar la probabilidad de ocurrencia con las diferentes clases de tamaño de la inundación. Para determinar económicamente el tamaño de la estructura requerida, su juicio debe ser preciso (Yerén, 2017).

En un sistema sanitario, el mayor caudal sanitario se considera cuando las conexiones domiciliarias están totalmente controladas, pero en realidad existen caudales que aumentan la carga indirectamente, como intrusiones o conexiones irregulares. El flujo diseñado se puede representar en la ecuación (2) como:

$$Q_d = Q_{max} + Q_i + Q_e \quad (2)$$

Donde:

Q_d = Caudal de diseño (lts/s)

Q_{max} = Caudal máximo (lts/s)

Q_i = Caudal de infiltración (lts/s)

Q_e = Caudal de conexiones erradas (lts/s)

2.2.18 Tiempo de Rotura

De acuerdo al Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico (2021) actualmente existen varios modelos que simulan el fenómeno de formación y propagación de grietas, el más utilizado es un modelo de propagación lineal que mira varios parámetros geométricos y de tiempo, que básicamente recomienda adoptar lo siguiente. los siguientes modos de falla y parámetros:

- a. Presas bóveda
 - Tiempo de rotura: 5 a 10 minutos (instantánea).
 - Forma de rotura: Completa, siguiendo la forma de la cerrada, admitiéndose la geometrización a trapecial.
- b. Presas de gravedad y contrafuertes
 - Tiempo de rotura: 10 a 15 minutos (instantánea).
 - Forma de rotura: Rectangular.
 - Profundidad de la brecha: hasta el contacto con el cauce en el pie.
 - Ancho: el mayor de los dos valores siguientes:
 - 1/3 de la longitud de coronación.
 - 3 bloques de construcción.
- c. Presas de materiales sueltos (V = volumen de embalse, h = altura de presa)
 - Tiempo de rotura:
 T (horas) = $4,8 \cdot V^{0,5}$ (Hm^3) / h (m). Si utilizando la expresión anterior resulta en más de 5 horas, el tiempo de corte debe evaluarse con especial cuidado.
 - Forma de rotura: trapezoidal. - Profundidad de la fractura: hasta el contacto con el canal del pie.
 - Ancho medio de la brecha: b (m) = $20 (V (Hm^3) - h (m))^{0,25}$
 - Taludes: 1:1 (H: V).

2.2.19 Imágenes Satelitales

Una imagen de satélite es el resultado obtenido al registrar la radiación emitida o reflejada desde la tierra por un sensor colocado en un satélite artificial. Existen diferentes tipos de imágenes de satélite con diferentes características como colores, resolución, altura, etc. La calidad de la foto capturada depende del instrumento utilizado y la altura. La desventaja de las imágenes satelitales es que, si la imagen cubierta es grande, el procesamiento es bastante largo, además, la imagen depende mucho de la calidad del sensor utilizado, la imagen siempre se ve afectada por las condiciones climáticas en el momento del muestreo (Barrera Zuñiga y Garcia Oriduña, 2015).

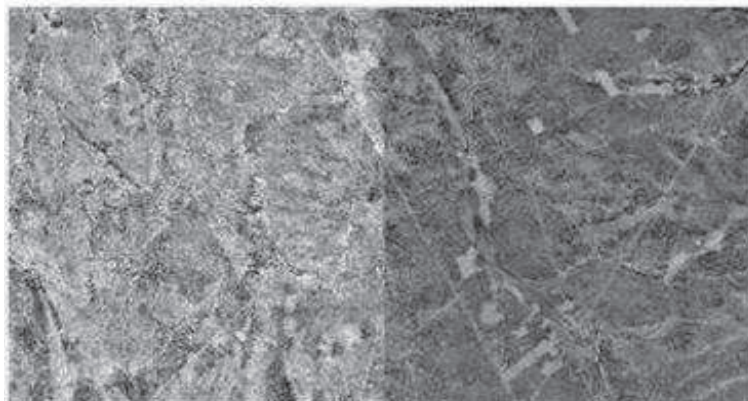
2.2.19.1 Clasificación de imágenes satelitales

a. Imágenes Pancromáticas

Son captados por un sensor digital que mide la reflexión de la energía en una amplia parte del espectro electromagnético. En los sensores pancromáticos más nuevos, esta banda única generalmente cubre las porciones visible e infrarroja del espectro. Los datos pancromáticos se presentan como imágenes en blanco y negro. (Ver figura 17). Las imágenes en color tienen 3 bandas (azul, verde y roja, 8 bits por canal), cada una de las cuales muestra el reflejo de un objeto en ciertas regiones del espectro electromagnético (Barrera Zuñiga y Garcia Oriduña, 2015).

Figura 17

Muestra de imagen Pancromática



Nota: Muestra de imagen satelital de tipo Pancromática.
Tomado de (Barrera Zuñiga y Garcia Oriduña, 2015).

b. Imágenes Multiespectrales

Estos son capturados por un sensor digital que mide la reflexión en muchas bandas. Por ejemplo, un conjunto de detectores puede medir la energía roja reflejada en la parte visible del espectro, mientras que otro conjunto mide la energía del infrarrojo cercano. Incluso es posible que dos conjuntos de detectores midan la energía de dos partes diferentes de la misma longitud de onda. Estos diferentes valores de reflectancia se combinan para crear imágenes en color (Barrera Zuñiga y Garcia Oriduña, 2015).

Figura 18

Muestra de imagen Multiespectral



Nota: Muestra de imagen satelital de tipo Multiespectral. Tomado de (Barrera Zuñiga y Garcia Oriduña, 2015).

2.2.20 Periodos de Retorno (1000 años)

El diseño de las obras hidráulicas está relacionado con futuros eventos hidrológicos; En este estudio, por ejemplo, una calle que puede hacer que se rompan las presas, aunque este es un evento que probablemente no sucedió, pero esta calle es necesaria para medir el trabajo. El período de retorno se define como el intervalo de tiempo durante el cual se puede alcanzar o superar el tamaño del evento Q al menos una vez en promedio (Villón, 2002).

En la actualidad, la avenida de proyecto es, en la mayor parte de los casos, la correspondiente a un período de retorno de 500 años (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, 2021).

2.2.21 La condición de Courant (SWE-ELM ORIGINAL/FASTER)

La naturaleza de Courant significa que la diferencia distinta del modelo de dominancia dependiente de puntos (que consta de puntos en el espacio del modelo de interferencia) debe contener la región dependiente de la ecuación diferencial, porque esta es la velocidad de propagación que limita el temblor o información precisa del dominio dependiente de la solución Tasa de transferencia (Gómez y Peralta, 2021).

Para seleccionar el paso de tiempo se proyecta un tramo de tiempo computacional en HEC RAS, para ello es necesario usar la condición de Courant, esto se calcula mediante las siguientes ecuaciones (3) y (4).

$$C = \frac{\Delta T}{\Delta X} \leq 1 \quad (3)$$

Por tanto:

$$\Delta \leq \frac{\Delta X}{V_m} \quad (4)$$

Donde:

C = número de Courant

ΔT = tramo de tiempo (segundos)

ΔX = tramo de distancia en pies (tramo de área transversal promedio o altura de celda bidimensional)

V_m = rapidez de la onda (pies por segundo)

Tiempo de simulación (Δx): Para determinar el tiempo de cálculo que asegure la estabilidad y exactitud de los resultados, se debe establecer la condición de Courant en la expresión (5) :

$$\Delta t \leq \frac{T_p}{20} \quad (5)$$

Donde:

T_p = tiempo de elevación del hidrograma a ser dirigido

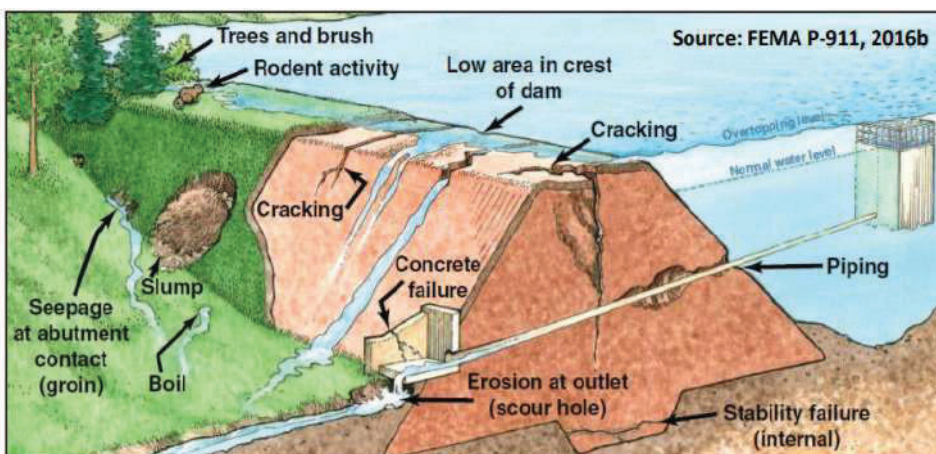
2.2.22 Overtopping y Piping

Según la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD), se considera falla un derrumbe o movimiento de una parte de la presa que no permite retener el agua. Las principales causas son el desbordamiento y la erosión interna (conductos). La primera ocurre cuando se excede la capacidad de la presa, provocando la inestabilidad de taludes. Esta es la principal causa de rotura de presas (ICOLD, 2020).

Otra razón está relacionada con las fugas causadas por gradientes hidráulicos mal controlados, que a menudo ocurren a lo largo de tuberías enterradas y en puntos de contacto con estructuras y cimientos (ICOLD, 2020).

Figura 19

Vista de presa afectada por las fallas por desbordamiento y tubificación



Nota: Represa afectada por falla por desbordamiento y tubificación. Tomado de (Recreation, 2023)

2.2.22.1 Control por Desbordamiento (OVERTOPPING):

Los escombros gruesos y finos pueden "licuarse" durante un terremoto. Sin un terraplén y un margen despejado insuficiente, la licuefacción puede causar deslizamientos de tierra como resultado del agua que fluye hacia el embalse. Efecto dominó y desbordamiento (Caro, 2014).

2.2.22.2 Control por Tubificación (PIPING):

Al alejar el nivel del agua de la superficie de la presa, la probabilidad de que los filtros "filtren" en un evento de riesgo significativo es menor cuando la "fase de hormigón" o superficie de hormigón (4 Mpa) se agrieta (Caro, 2014).

2.3 Definición de términos

2.3.1 Presa

Barra estanca construida generalmente en el cauce de un río para fines de almacenamiento de agua, cuya ubicación estará en la sección de cierre de vaso (Autoridad Nacional del Agua, 2017, pág. 9).

2.3.2 Riesgo Potencial

Probabilidad de ocurrencia de una falla y consecuente daños a personas, al ambiente y a la infraestructura en caso de rotura de la presa (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demografico, 2021, pág. 72).

2.3.3 Falla de la presa

Colapso de esta estructura con liberación incontrolada del agua del reservorio y que inhabilita su funcionamiento como tal (Autoridad Nacional del Agua, 2017, pág. 11).

2.3.4 Cuenca

Superficie colectora que, desde sus cumbres divisorias con las cuencas limítrofes, drena hacia el reservorio de almacenamiento creado por la presa, el agua de escorrentía superficial (y subsuperficial) en ella producida (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demografico, 2021, pág. 9).

2.3.5 Periodo de Retorno

Intervalo promedio en años (5,10,20,50,100,1000,5000,10000 e intermedios) dentro del cual ocurre o es superada la avenida máxima correspondiente (Autoridad Nacional del Agua, 2017, pág. 10).

2.3.6 Avenida Máxima Probable (AMP)

Es la más grande avenida que se espera pueda ocurrir en una cuenca determinada, a su paso por el sitio seleccionado para ubicación de la presa (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demografico, 2021, pág. 10).

2.3.7 Hidrograma

Gráfico que permite ver el comportamiento del caudal acumulado durante la tormenta a través del tiempo de esta (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012, pág. 220).

2.3.8 Nivel de aguas Máximas Extraordinarias (NAME)

Nivel de agua máximo máximo en el embalse al momento que el tránsito de la avenida de diseño alcanza altura de descarga que mantiene al aliviadero de demasías trabajando a plena capacidad (Autoridad Nacional del Agua, 2017, pág. 10).

2.3.9 Nivel de aguas Máximas ordinarias (NAMO)

Nivel máximo de almacenamiento en el embalse, llamado también Nivel de Agua Máximo de operación y que corresponde al volumen útil del embalse (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, 2021, pág. 10).

2.3.10 Bordo libre

Distancia vertical entre los niveles de almacenamiento máximo y el coronamiento de la presa. Será el Bordo Libre Normal cuando se mide desde el NAMO y será el Borde Libre Mínimo cuando se mide desde el NAME. Distancia esta última que deberá ser suficiente para absorber el espesor de la lámina vertiente por la estructura de seguridad, así como la altura de las olas originadas sea por el viento o por sismos, según y conforme corresponda a la fijada por el diseño (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, 2021, pág. 10).

2.3.11 Hec-Ras

Es un Sistema de modelamiento desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers), que permite simular la respuesta que tendrá el flujo de agua a través de los ríos naturales y de otros canales (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012, pág. 219).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada porque se basa en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación. La información recopilada del área en estudio de la tesis será de importancia para el modelado hidráulico y para la categorización de la presa.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental, ya que la información recopilada está parcialmente en el expediente Técnico. Además, que la construcción de la presa aún se encuentra en proceso de licitación, es decir aún no se encuentra en ejecución.

3.1.3 Nivel de investigación

El tipo de investigación presentada es correlacional, ya que se relacionan dos variables como son clasificación de la presa y riesgo potencial ante un modelado hidráulico, para obtener resultados y categorizar la presa.

3.2 Acciones y actividades

Para realizar la clasificación de presa según su riesgo potencial de rotura se empleará el contenido de la Guía Técnica para Clasificación de Presas Española y las Normas y Reglamento de Seguridad de Presas en el Perú aprobado por la Autoridad Nacional del Agua para ello se desarrollará un modelo hidráulico. Las variables a medir serán la clasificación de la represa y riesgo potencial. En función del riesgo potencial se obtiene categoría en la cual corresponde.

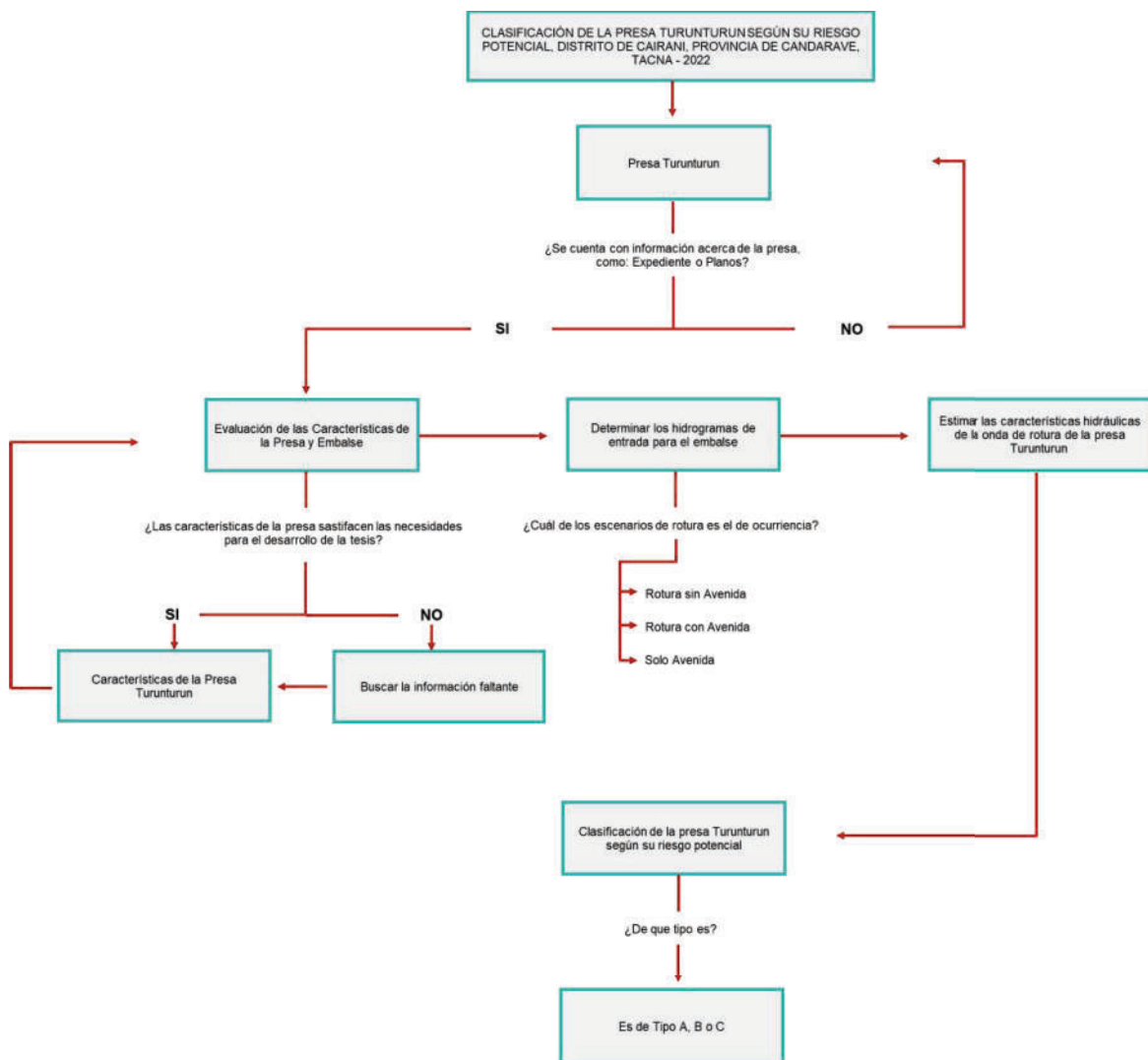
Actividades a considerar para el proceso de clasificación:

- Selección de la presa a estudiar.
- Definición las características de la presa.
- Identificación las características del embalse.
- Recopilación de información de las características hidrológicas.

- Determinación del Caudal de diseño.
- Identificación de las zonas sensibles agua abajo de la presa.
- Creación de escenarios de rotura de presa.
- Modelación de rotura de la presa en el software HEC- RAS.
- Análisis de resultado del escenario de rotura de presa
- Clasificación del riego por categorías.

Figura 20

Flujograma para la clasificación de la presa



3.3 Materiales y/o instrumentos

- a. Para obtención de datos de la Presa
Expediente Técnico “Mejoramiento del servicio de agua para riego en el Comité de regantes Calacala, distrito de Cairani, Provincia de Candarave, región Tacna”, CUI:2195115 descargado del portal SEACE.
- b. Normativas utilizadas
 - Normas y Reglamentos de Seguridad de Presas en el Perú
 - Guía Española para la clasificación de Presas
- c. Para el Almacenamiento de información
 - Computador Portátil o Laptop
- d. Equipos informáticos
 - Impresora
- e. Softwares para el modelado hidráulico
 - HEC-RAS 6.3.1
- f. Información para cálculos hidrológicos
 - Imágenes Satelitales (ALOS PALSAR)
- g. Otros softwares empleados
 - ArcGIS 10.3
 - HEC-RAS 6.3.1
 - Google Earth
 - Microsoft Office Excel
 - Microsoft Office Word

3.4 Población y/o muestra de estudio

3.4.1 Población

Debido a que la muestra de estudio es una sola con características irrepetibles en otro lugar. Es por ello por lo que no se considera una población de estudio.

3.4.2 Muestra

La muestra de estudio será la Presa Turunturun que se construirá en el distrito de Cairani, provincia de Candarave, Tacna.

3.5 Operacionalización de variables

Se encuentra a detalle en la Tabla 4 la definición y operacionalización de variables. Asimismo, en el *Anexo 1. Matriz de consistencia* se complementa la información de la Tabla 4.

Tabla 4*Definición y operacionalización de variables*

Variable	Definición Operacional	Dimensión	Indicador
Variable Independiente			
Riesgo Potencial	El riesgo potencial es una probabilidad en la que puede ocurrir en este caso una rotura de presa por fallas y sus consecuentes daños.	Afecciones	- Daños a núcleos de población o viviendas aisladas
			-Daños servicios esenciales
			-Daños materiales
		-Daños medioambientales	
		Modo de falla	overtopping o piping
		Escenarios de rotura	-Con avenida - Sin avenida - solo avenida
Variable Dependiente			
Clasificación de la presa Turunturun	Es categorizar por dimensiones ante aspectos como tamaño, forma, riesgo potencial, entre otros	Categorías	A
			B
			C
		Mapas	Tirante (m), velocidades (m/s)

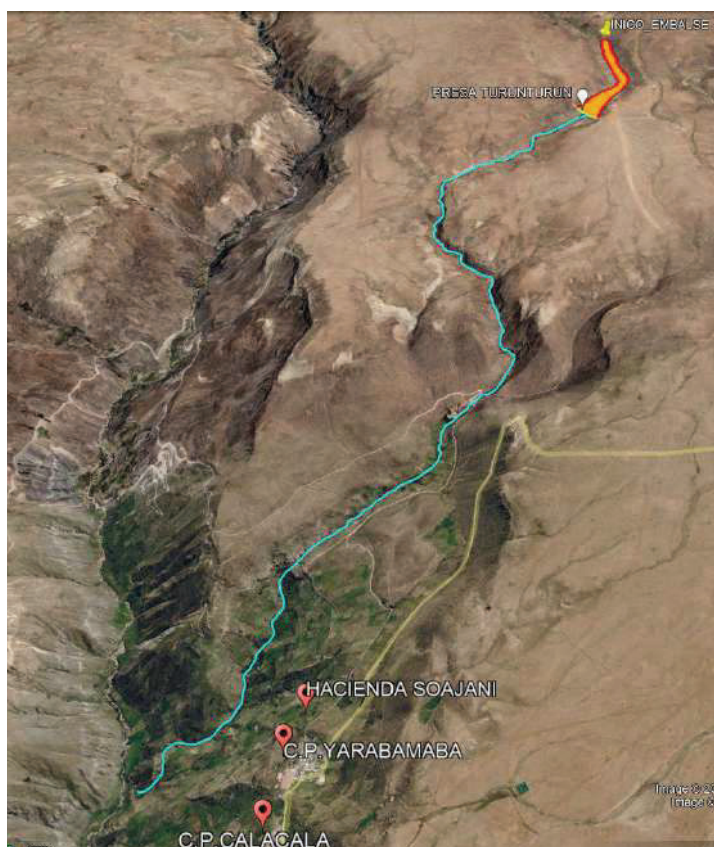
3.6 Procesamiento y análisis de datos

3.6.1 Zona de estudio

Para el modelado hidráulico se seleccionó como área de estudio la presa a construirse denominada Presa Turunturun la cual se ubica en el distrito de Cairani, provincia de Candarave, departamento de Tacna. Para simular la rotura de la presa y posteriormente categorizar de acuerdo al riesgo potencial ante una potencial rotura de esta, se elaboró el modelado y se colocó un escenario de rotura. En la Figura 21 se muestra la ubicación del diseño de la presa.

Figura 21

Ubicación del diseño de la Presa Turunturun



3.6.2 Extensión

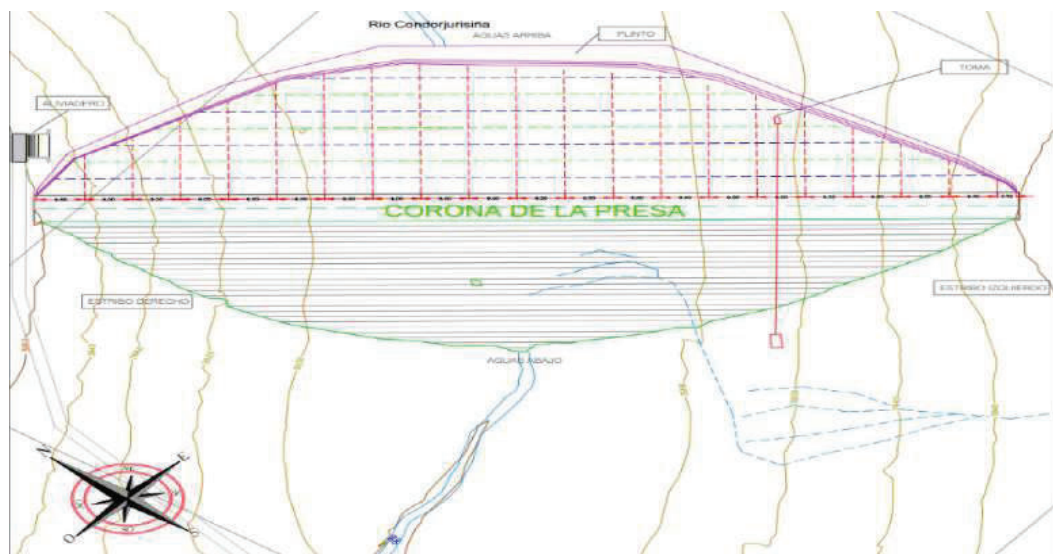
El área de estudio a considerarse en el modelado hidráulico, se encuentra dentro de la Red hidrográfica de la Sub Cuenca Tomacucho que compone la Cuenca Locumba de un área 5 742,34 Km², además el embalse está dentro el río Condorjurisiña.

3.6.3 Características de la presa

La presa Turunturun es uno de los componentes del estudio definitivo del expediente técnico denominado: “Mejoramiento del servicio de agua para Riego en el Comité de Regantes Calacala, distrito de Cairani, provincia de Candarave, Región Tacna”. La presa tiene una corona a una altitud de 3950 msnm, un ancho de corona de 8 m y una capacidad del embalse a 1.54 MMC(NAME) y cota corona 1.93 MMC, se observa datos de la presa en la Figura 22.

Figura 22

Características del diseño de la Presa Turunturun



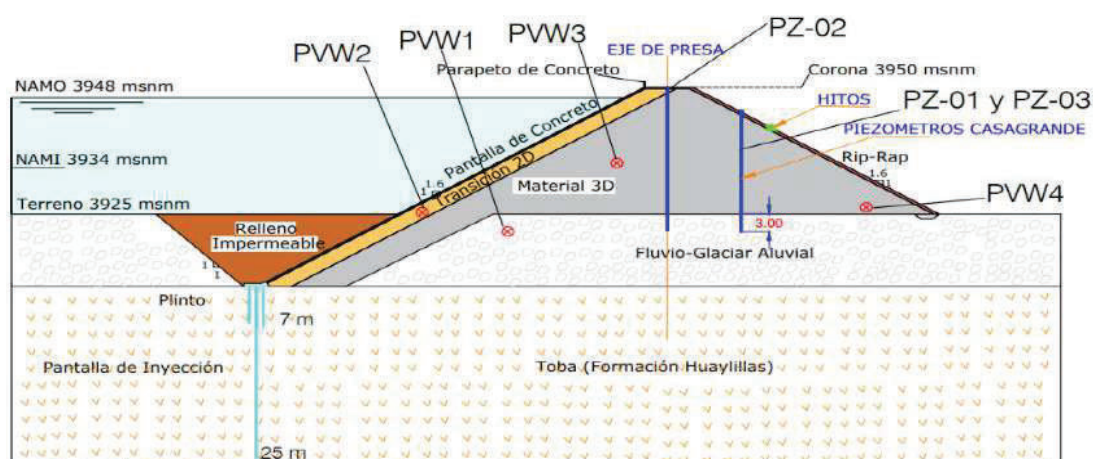
Nota. Imagen extraída del expediente Técnico de la obra “Mejoramiento del servicio de agua para riego en el comité de regantes Calacala, distrito de Cairani, Provincia de Candarave, Región de Tacna”

La construcción de la presa será para beneficio del C.P. Calacala y del distrito de Cairani. En la Tabla 5, se muestra los datos de la presa y en la Figura 23 el perfil.

Tabla 5*Particularidades del diseño de la Presa Turunturun*

Presa Turunturun	
Tipo	Presa de enrocado con pantalla de concreto (CFRD)
Nivel de Corona de presa	3950 m.s.n.m.
Altura de presa	25.00 m
Ancho de Corona	8.00 m
Borde Libre	2.2 m
Área de la Subcuenca Tomacucho	34.04 km ²
Volumen del embalse (NAMO)	1.54 hm ³
Volumen útil del embalse (NAMO-NAMI)	1.41 hm ³
Nivel del NAME	3948.80 m.s.n.m.
Nivel del NAMO	3948.00 m.s.n.m.
Nivel del NAMI	3934.00 m.s.n.m.
Nivel de Coronación	3950.00 m.s.n.m.

Nota. Adaptado del expediente Técnico de la obra “Mejoramiento del servicio de agua para riego en el comité de regantes Calacala, distrito de Cairani, Provincia de Candarave, Región de Tacna”

Figura 23*Perfil de la presa Turunturun*

Nota. Imagen extraída del expediente Técnico de la obra “Mejoramiento del servicio de agua para riego en el comité de regantes Calacala, distrito de Cairani, Provincia de Candarave, Región de Tacna”

3.6.4 Recopilación de información del Caudal de diseño

Para el estudio como datos se consideró los caudales de diseño para un periodo de retorno (PR) de 1000 años. Los datos de Caudales Q (A) serán utilizados para el hidrograma de entrada. A continuación, se muestra en la Figura 24, los datos considerados por el estudio Hidrológico para los caudales de diseño para el periodo de retorno descrito. En la Tabla 6 se observa el hidrograma de entrada con los caudales para el modelado. En la Figura 25 se precisa el grafico de hidrograma.

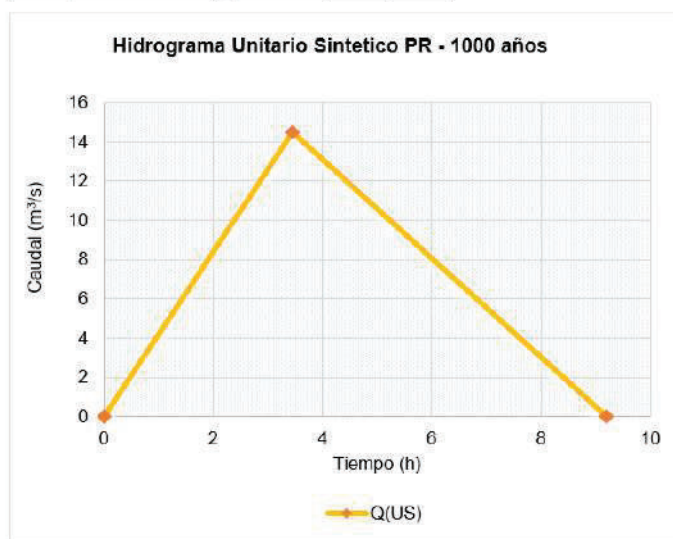
Figura 24

Caudal de diseño para un periodo de retorno de 1000 años

Periodo de retorno	1000 años
Tiempo de concentración (Tc)	3,13 Hr
Duración en exceso (de)	3,54 Hr
Tiempo pico (tp)	3,45 Hr
Tiempo base(tb)	9,20 Hr
Numero de curva(N)	54,5
Precipitación (P)	58,65 mm
Infiltración potencial (S)	46,59 mm
Lamina de escorrentía €	25,37 mm
Caudal Pico (Qp)	14,48 m ³ /s
Tiempo de retraso (tr)	1,88 Hr

Tiempo		Q(US)
Inicio (tb)	0	0
tp	3,45	14,48
Final(tb)	9,2	0

Q(US) Caudal unitario Sintético



Nota. Reproducida del expediente Técnico de la obra "Mejoramiento del servicio de agua para riego en el comité de regantes Calacala, distrito de Cairani, Provincia de Candarave, Región de Tacna"

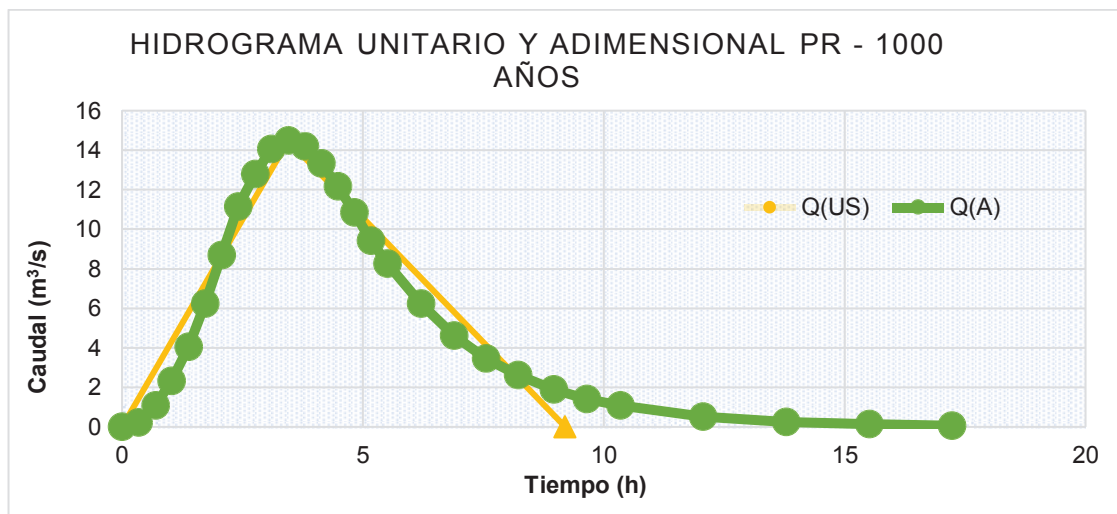
Tabla 6*Caudales de diseño para un periodo de retorno de 1000 años*

Coordenadas hidrograma adimensional			
t/tp	Q/Qp	t	Q(A)
0,00	0,000	0,00	0,00
0,10	0,015	0,34	0,22
0,20	0,075	0,69	1,09
0,30	0,150	1,03	2,32
0,40	0,280	1,38	4,06
0,50	0,430	1,72	6,23
0,60	0,500	2,07	8,69
0,70	0,770	2,41	11,15
0,80	0,890	2,76	12,80
0,90	0,970	3,10	14,05
1,00	1,000	3,45	14,48
1,10	0,980	3,79	14,19
1,20	0,920	4,14	13,32
1,30	0,840	4,48	12,17
1,40	0,750	4,82	10,86
1,50	0,650	5,17	9,41
1,60	0,570	5,51	8,25
1,80	0,430	6,20	6,23
2,00	0,320	6,89	4,63
2,20	0,240	7,55	3,46
2,40	0,180	8,22	2,61
2,60	0,130	8,96	1,89
2,80	0,098	9,65	1,42
3,00	0,075	10,34	1,09
3,50	0,036	12,06	0,52
4,00	0,018	13,78	0,26
4,50	0,009	15,51	0,13
5,00	0,004	17,23	0,06

Nota. Reproducida del expediente Técnico de la obra "Mejoramiento del servicio de agua para riego en el comité de regantes Calacala, distrito de Cairani, Provincia de Candarave, Región de Tacna"

Figura 25

Hidrograma de entrada de un PR de 1000 años



Nota. Reproducida del expediente Técnico de la obra “Mejoramiento del servicio de agua para riego en el comité de regantes Calacala, distrito de Cairani, Provincia de Candarave, Región de Tacna”

3.6.5 Características aguas debajo de la presa Turunturun

En el área aguas abajo de la presa existen áreas de cultivo y centros poblados los cuales ante una rotura de la presa serían afectados. Cabe precisar de que los centros poblados comprenden a una distancia aproximada a un radio 7 km aguas abajo de la presa. Los cuales son el C.P. Yarabamba a un radio 6.37 km al eje de la presa y el C.P. Calacala a un radio de 6.89 km del eje de la presa. En la Figura 26 y 27 se representa la distancia medida en Google Earth.

Figura 26

Radio de distancia del eje de la Presa Turunturun hacia el C.P. Yarabamba

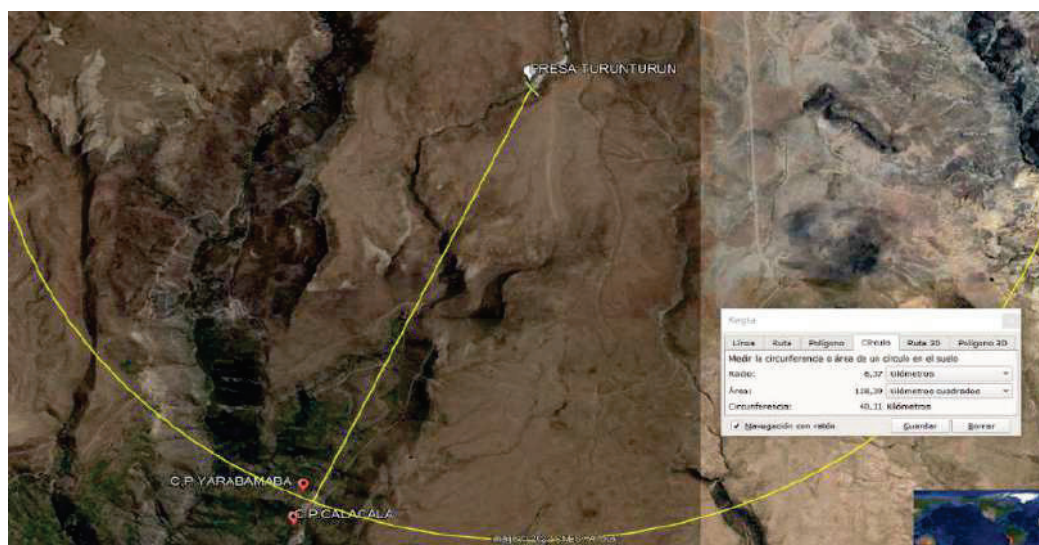
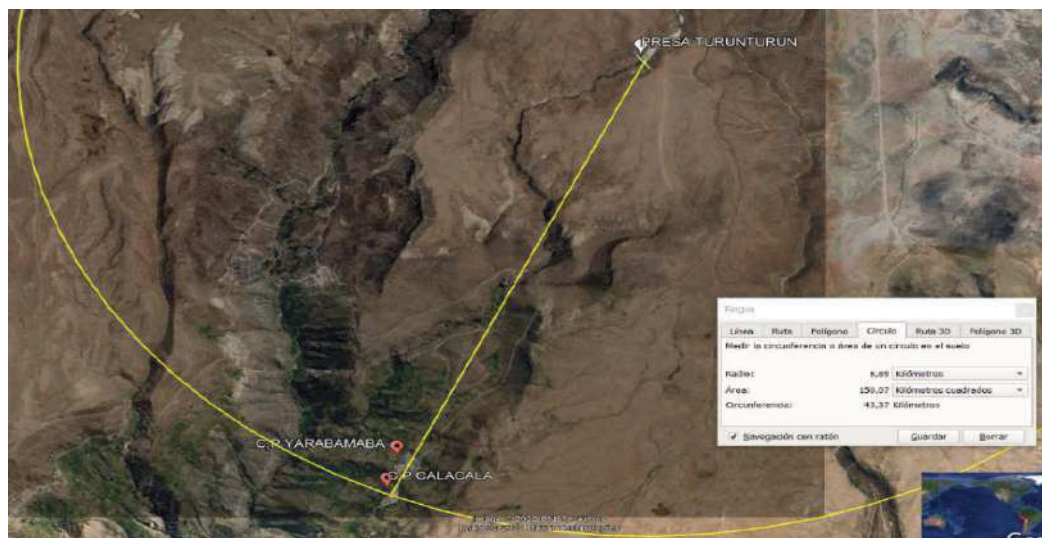


Figura 27

Radio de distancia del eje de la Presa Turunturun hacia el C.P. Calacala



Los centros Poblados de Yarabamba y Calacala se encuentran aguas debajo del diseño a construir de la presa Turunturun. En la Figura 28, se observa según datos del INEI del Censo del 2017 la cantidad de población y viviendas. En el C.P. Yarabamba hay una población total de 203 habitantes y en el C.P. Calacala de 180 habitantes según la población censada del año 2017.

Figura 28

Cantidad población y viviendas censadas INEI 2017 distrito de Cairani

DEPARTAMENTO DE TACNA									
CÓDIGO	CENTROS POBLADOS	REGIÓN NATURAL (según piso altitudinal)	ALTITUD (m s.n.m.)	POBLACIÓN CENSADA			VIVIENDAS PARTICULARES		
				Total	Hombre	Mujer	Total	Ocupadas 1/	Desocupadas
230202	DISTRITO CAIRANI			988	511	477	653	652	1
0001	CAIRANI	Quechua	3 389	418	214	204	305	304	1
0002	CHULUNCAYANI	Puna	4 194	-	-	-	1	1	-
0003	CAPILLUNI	Puna	4 096	1	-	1	1	1	-
0004	COROSOCO	Puna	4 084	-	-	-	1	1	-
0005	LUCACHI	Puna	4 067	1	1	-	1	1	-
0006	CIRCA	Puna	4 054	1	1	-	4	4	-
0007	CORANCHAYA	Puna	4 142	5	2	3	8	8	-
0008	POCUCHO	Puna	4 089	2	-	2	3	3	-
0009	HUAYLLANI (TURUNTURO)	Puna	4 019	2	-	2	5	5	-
0010	YARABAMBA	Suni	3 607	203	112	91	101	101	-
0011	CALACALA	Suni	3 609	180	88	92	82	82	-
0012	TAUCANI	Quechua	3 201	-	-	-	2	2	-
0013	CUPINE	Quechua	3 271	1	1	-	2	2	-
0014	ANCOCALA	Quechua	3 383	168	89	79	123	123	-
0015	AZUFRE	Puna	4 306	-	-	-	1	1	-
0016	COPAPUJO	Puna	4 164	2	1	1	5	5	-
0017	CONCHAYO	Puna	4 108	-	-	-	1	1	-
0018	CAYCO	Puna	4 040	-	-	-	1	1	-
0019	COAPUJO	Quechua	2 970	-	-	-	1	1	-
0020	IRPINE	Quechua	3 142	-	-	-	1	1	-
0021	PAMPA TURUNTURO	Puna	4 104	-	-	-	1	1	-
0022	FABRICA	Suni	3 586	-	-	-	1	1	-
0023	CHONTACALLO	Suni	3 976	-	-	-	1	1	-
0024	CANAL PAMPA	Suni	3 992	4	2	2	1	1	-

Nota. Reproducido del censo del INEI 2017.

3.6.6 Rugosidad para el modelado

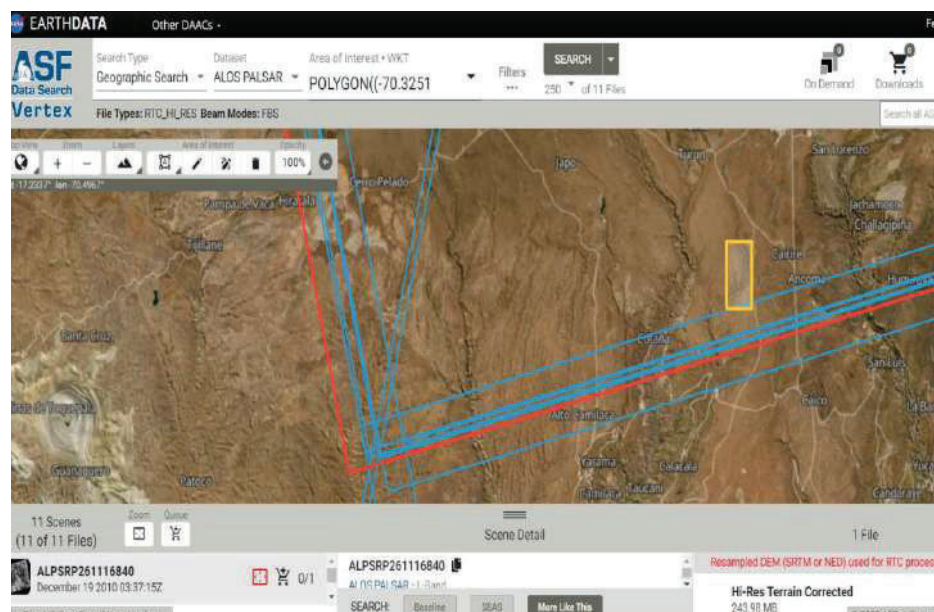
Según las tablas de valores de coeficientes de rugosidad de Ven Te Chow del libro de Hidráulica de Canales abiertos existe un “n” para diferentes clases de canal estos valores están en mínimo, normal y máximos de “n” de acuerdo a las características del área del canal. Para el estudio se utilizó un coeficiente de rugosidad para el cauce de 0.045 y para la vegetación de 0.060.

3.6.7 Topografía del modelado

Para la topografía del área de estudio se descargó modelos de elevación digital de ALOS PALSAR de 12.5 m de precisión de la página de EARTH DATA de la NASA. Para la descarga primero se colocó unos filtros para tener una mayor precisión de las imágenes satelitales, además de la fecha de búsqueda se colocó en periodos de 2010 a 2011 que son los últimos datos actualizados de ALOS PALSAR. En la Figura 29, se observa la descarga de la imagen satelital AP_26111_FBS_F6840_RT1.

Figura 29

Descarga de imágenes satelitales en ALOS PALSAR



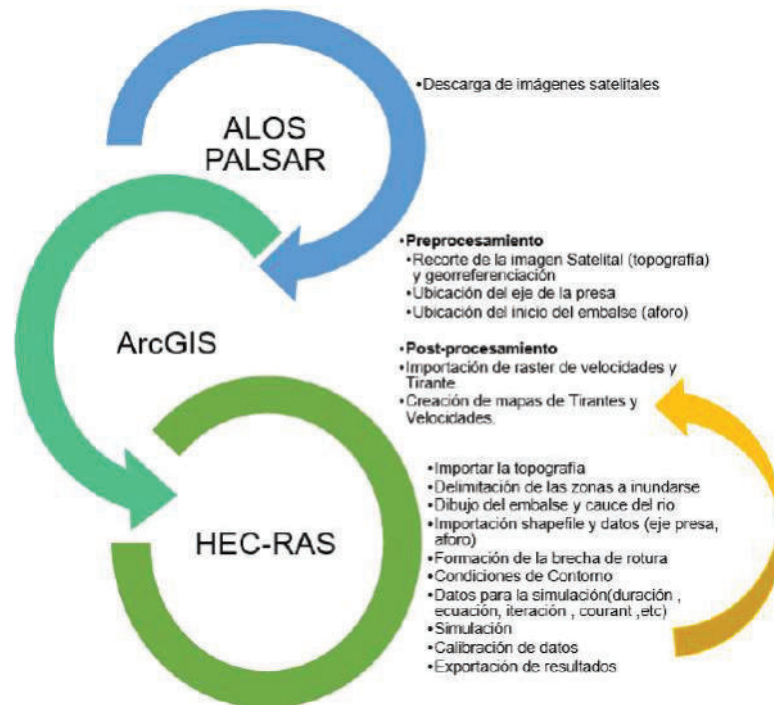
Nota. Captura de la descarga de imágenes satelitales del área de estudio.

3.6.8 Proceso del modelado hidráulico

Se proporciona una tabla a modo de resumen de los procedimientos para simular la rotura de una presa los cuales son siguientes como se muestra, en la Figura 30.

Figura 30

Esquema de procesos para el modelado Hidráulico

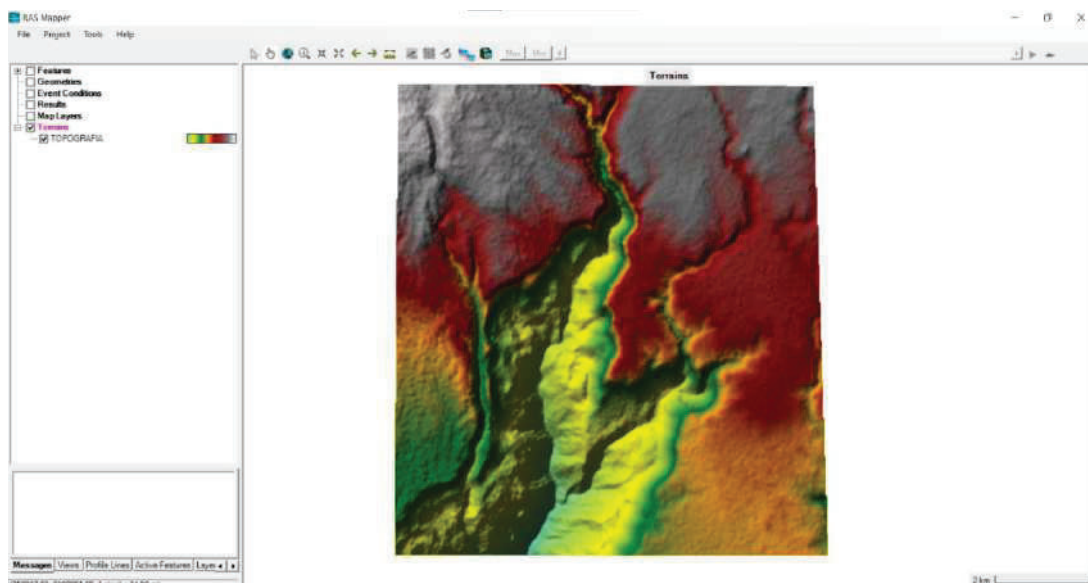


3.6.9 Modelado en HEC RAS

Importación de la topografía del terreno según datos satelitales descargados de ALOS PALSAR y recortado de ArcGIS. Inserción de la topografía en RAS Mapper según como se observa en la Figura 31.

Figura 31

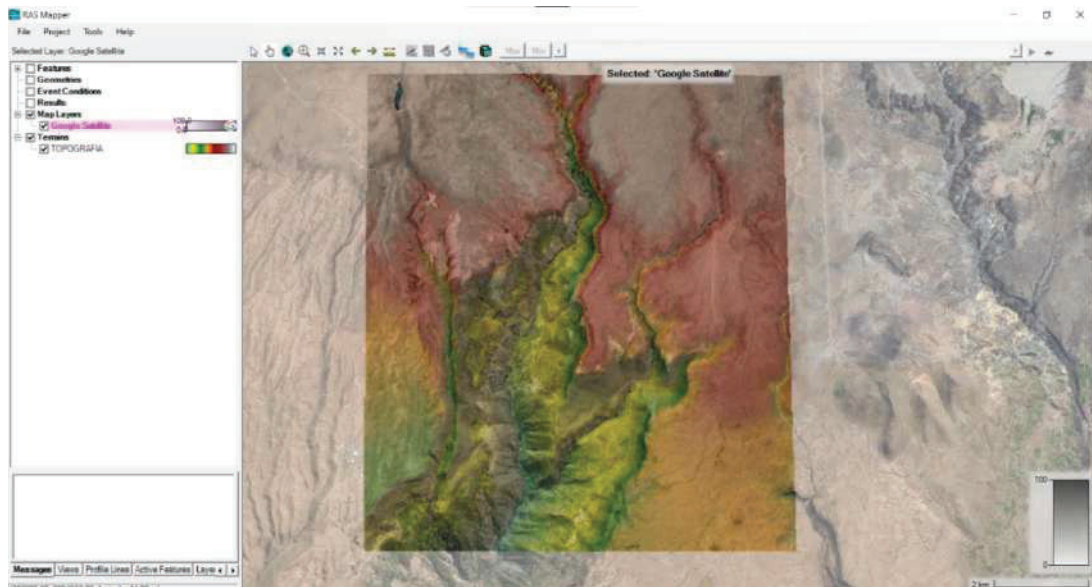
Topografía del área de estudio



Colocación de Google Satélite en el área como guía de ubicación y para tener visibilidad del área de estudio. Según como se muestra en la Figura 32.

Figura 32

Imagen Satelital de Google para el modelado



Asignación del coeficiente de Manning mediante un polígono, para el cual se le colocaron datos de coeficientes tanto para el cauce como para la vegetación.

Figura 33

Colocación de Coeficientes de Manning

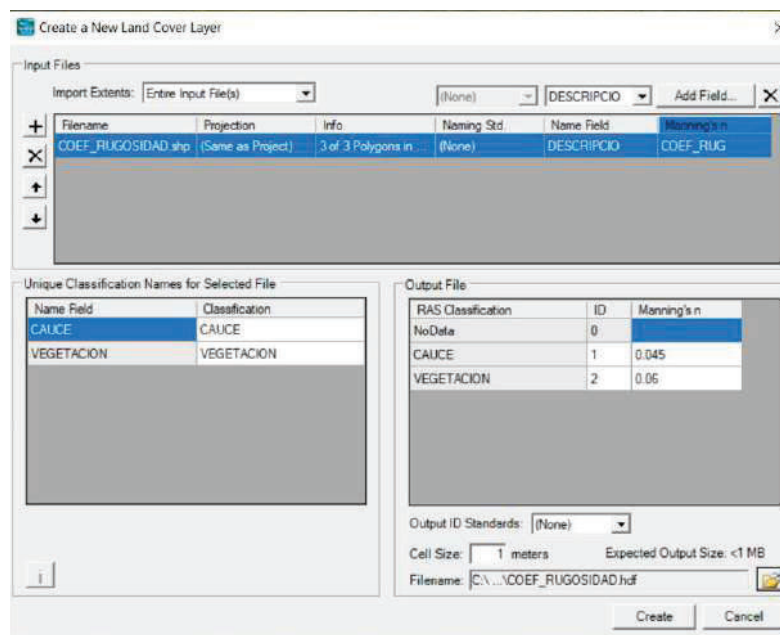
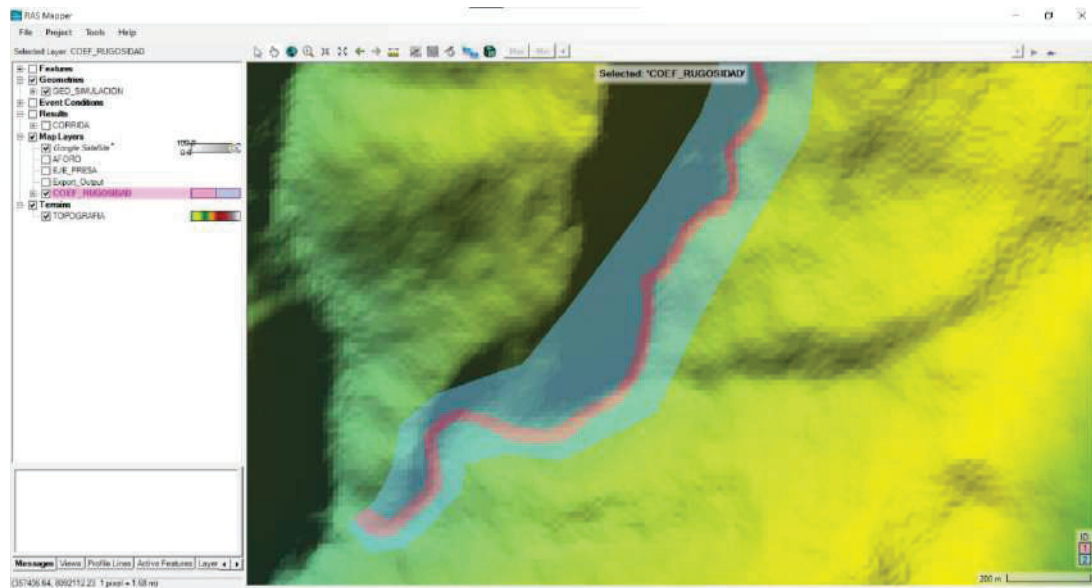


Figura 34

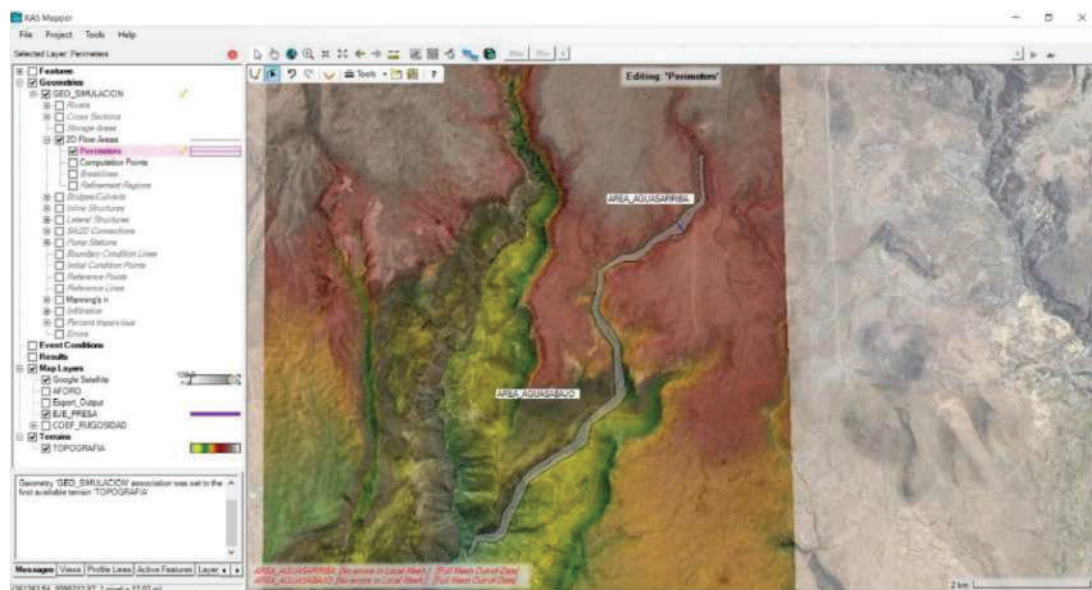
Vista de los coeficientes de Rugosidad en el modelado



Creación de perímetros los cuales serán llamados AREA AGUAS ARRIBA para el embalse y AREA AGUAS ABAJO para la rotura de la presa. Se considero espaciamiento de 15 metros por 15 metros en la Figura 35 , se visualiza el bosquejo de las secciones para el modelado.

Figura 35

Bosquejo de áreas en las secciones



En la Figura 36 se observa las líneas quiebre del cauce y en la figura 37 sus propiedades.

Figura 36

Líneas de corte del cauce

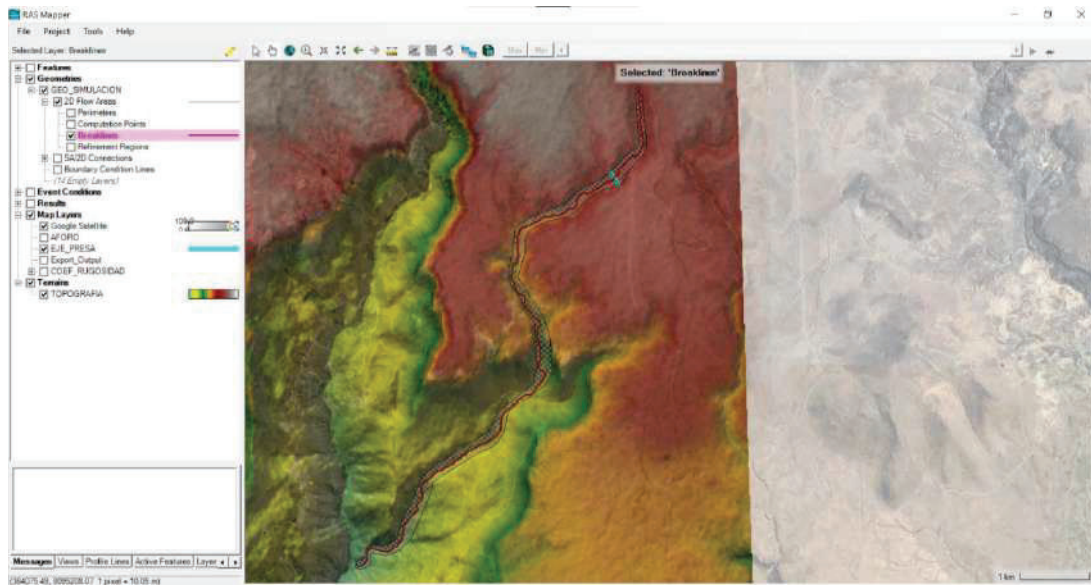


Figura 37

Propiedades de la línea corte del cauce

Breaklines - Layer Properties (GEO_SIMULACION)

Visualization and Information | Features | Source Files

Source: C:\...ROTURA_PRESA_TESIS\ROTURA_PRESA_TESIS.g01.hdf

FID	Name	Near Spacing	Near Repeats	Far Spacing	Enforce 1 Cell Protection Radius
0	EJE_AGUASAR...	10	6		<input type="checkbox"/>
1	EJE_AGUASABA...	5	10		<input type="checkbox"/>

Zoom to Selected | Only Show Selected | Add Column | Delete Column | Import Features

En la Figura 38 y 39 se observa el refinamiento de las regiones aguas arriba y aguas abajo con sus propiedades.

Figura 38

Refinamiento de zonas

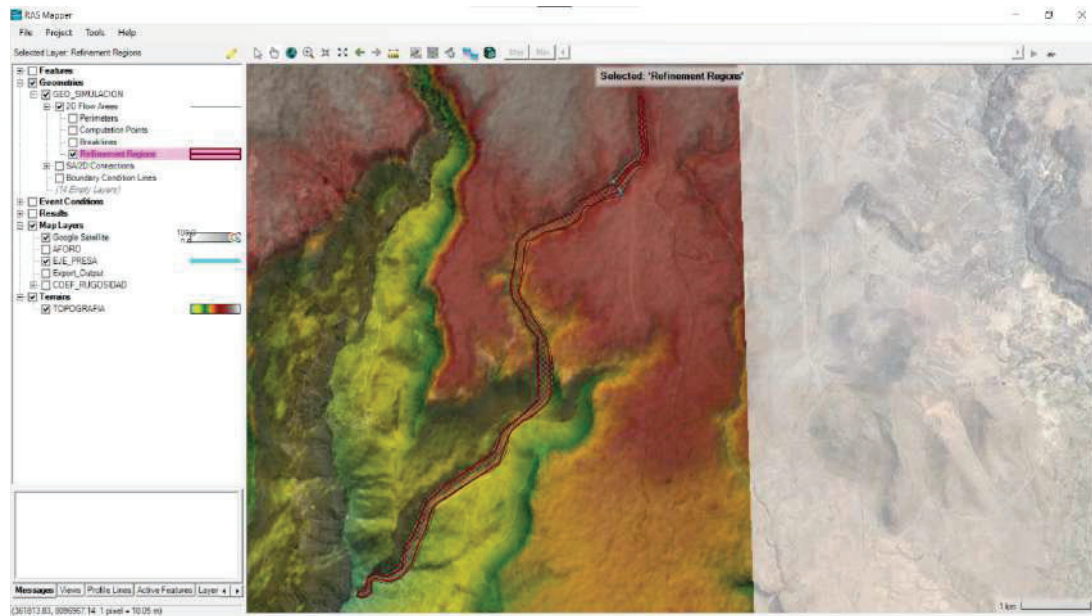


Figura 39

Propiedades de regiones de refinamiento

Refinement Regions - Layer Properties (GEO_SIMULACION)

Visualization and Information | Features | Source Files |

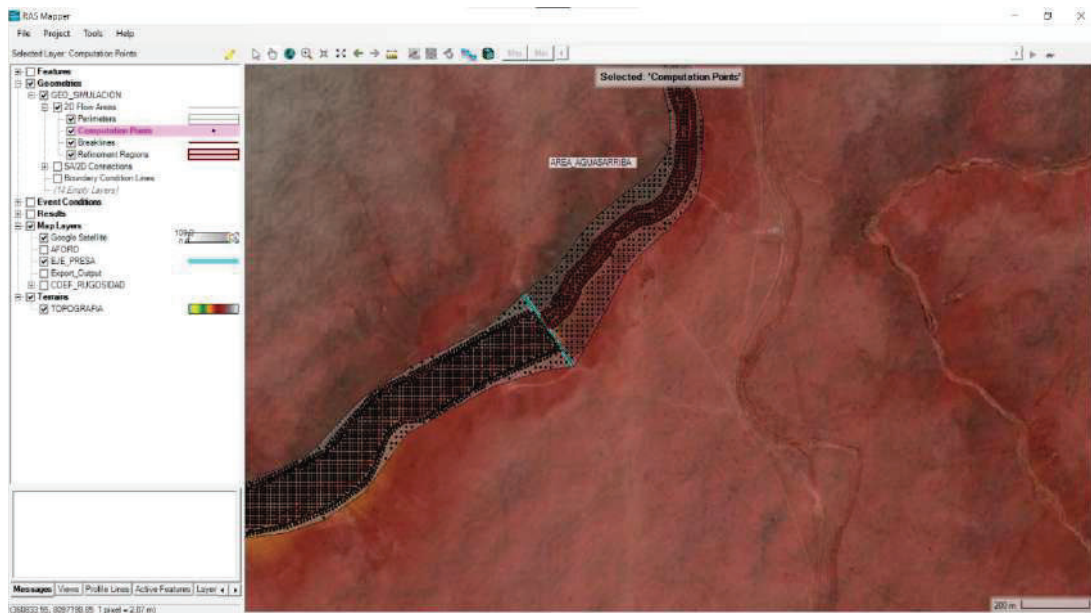
Source: C:\...ROTURA_PRESA_TESIS\ROTURA_PRESA_TESIS.g01.hdf

FID	Name	Cell Size X	Cell Size Y	Cell Shift DX	Cell Shift DY	Generate as Hexagon
0	Region 1	10	10			<input type="checkbox"/>
1	Region 2	5	5			<input type="checkbox"/>

Zoom to Selected Only Show Selected Add Column Delete Column Import Features

Figura 40

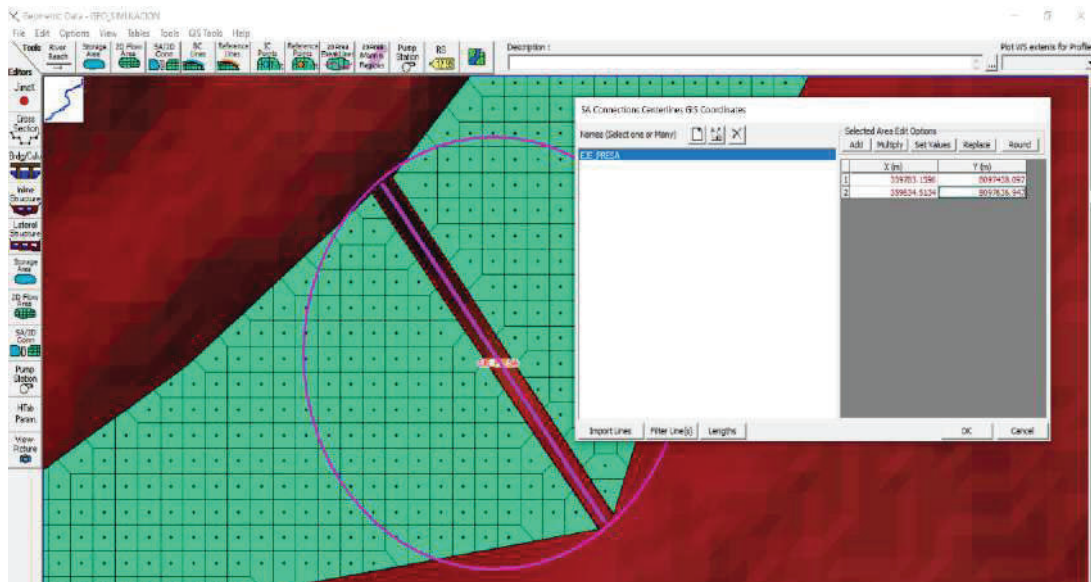
Computación de nodos



En la Figura 41 se observa el conector del eje de la presa los datos del mismo con sus respectivas coordenadas.

Figura 41

Esbozo e inserción de datos del eje de la presa



Se visualiza en a Figura 42, el establecimiento de las líneas de entrada y salida donde se sitúan las condiciones de contorno de la malla, las líneas estas ubicadas en los contornos de las áreas aguas arriba y aguas abajo.

Figura 42

Vista del ingreso de y salida del enmallado

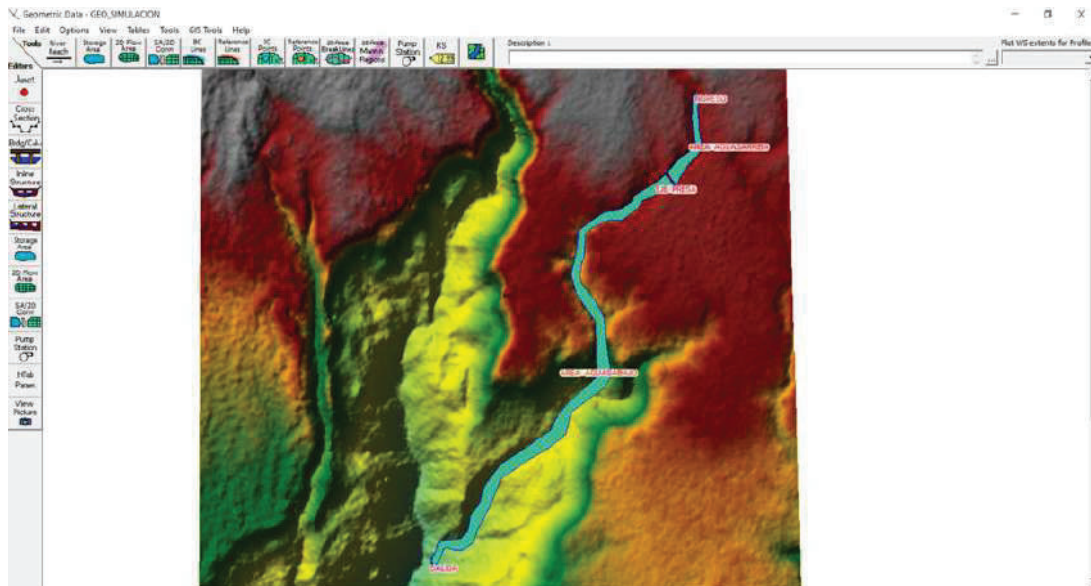
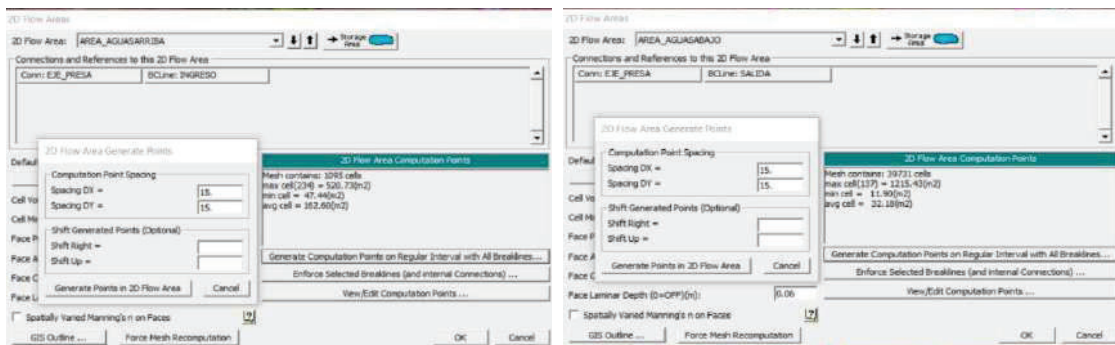


Figura 43

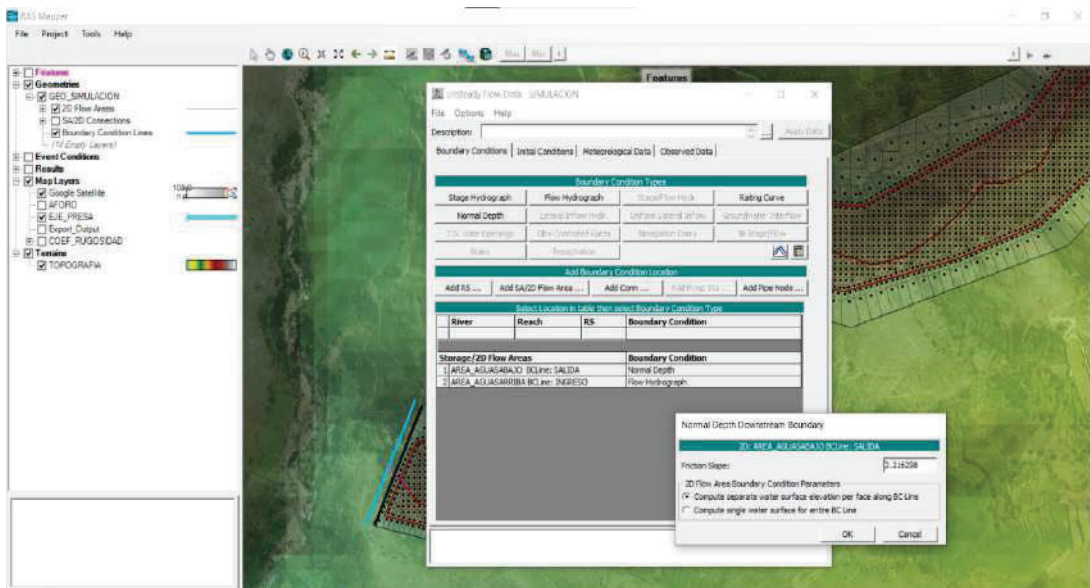
Computación de la malla



Se colocó datos del flujo inestable, las condiciones de contorno externo como el hidrograma de entrada, profundidades normales y el nivel inicial de elevación. El régimen de flujo para el modelado será un régimen de flujo variable. En la figura 44 se observa el colocado de pendientes, los caudales de entrada y el colocado de las pendientes.

Figura 44

Condiciones de contorno en la salida

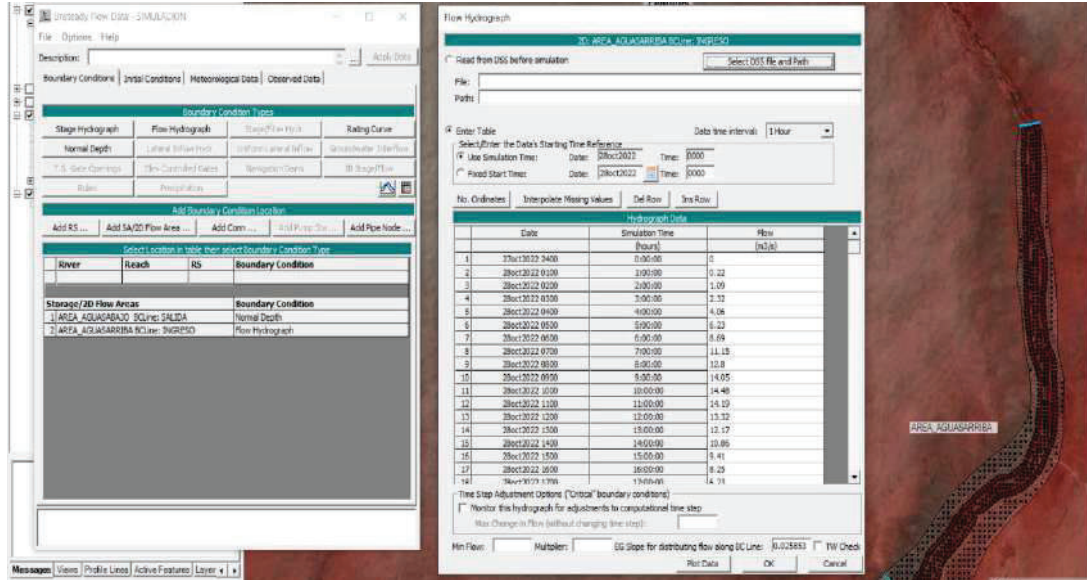


En la figura 45, se coloca los caudales del hidrograma de entrada de la

Tabla 6, para un periodo de retorno de 1000 años.

Figura 45

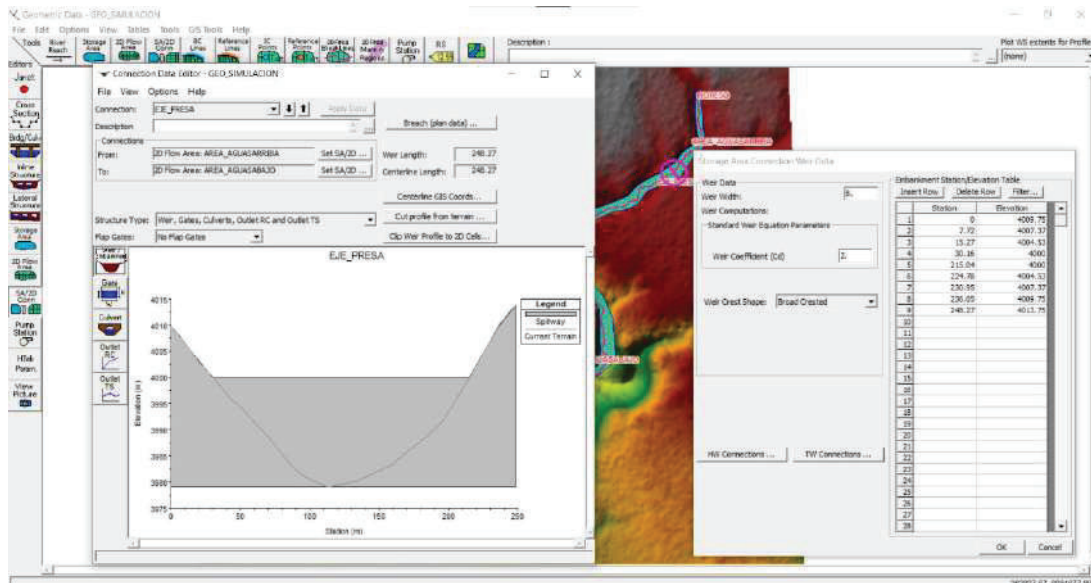
Condiciones de contorno de ingreso



En la Figura 46, se observa el corte de perfil del terreno donde se ubicará el eje de la presa, en el cual se insertarán las estaciones y elevaciones de esta. Además, se colocaron como dato de ancho de la corona 8m y un coeficiente de vertedero (C_d) de 2.

Figura 46

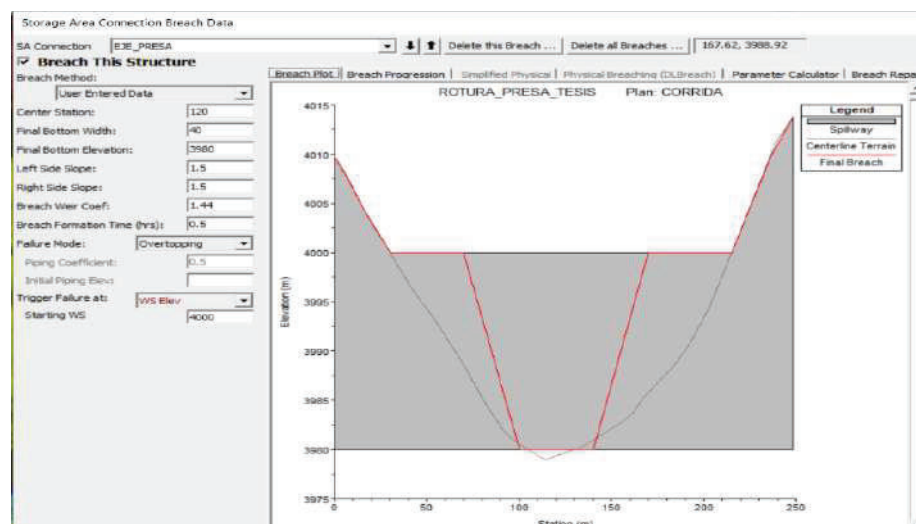
Corte de perfil del eje de la presa



Creación de la brecha de rotura una vez colocados las dimensiones del eje de la presa, para obtener las dimensiones y tiempo en el cual se desarrolla la brecha se utilizó algunos parámetros de referencia para ello. En la figura 47 se muestra los parámetros de rotura.

Figura 47

Parámetros de rotura en HEC RAS



Finalmente, se realizaron los cálculos (análisis de flujo no Estacionario) para el modelado 2D de la brecha de la presa Turunturun, estableciendo intervalos cada 15 minutos.; los resultados se detallan en el capítulo IV. En las Figuras 48,49 y 50 se observan los datos antes de la simulación del software.

Para la configuración de tolerancias en el intervalo de cómputo se escogió la ecuación de SWE-ELM (original /faster) con un máximo de 90 iteraciones. A su vez en el tiempo de 3 seg de control se ajustó con el Courant considerándose como máximo 1 y mínimo 0.3 .También un número máximo de pasos de tiempo de base de duplicación a 1(6,00 seg) y número máximo de pasos de tiempo base de reducción a la mitad 7 (0.02 seg).

Figura 48

Ajuste del tiempo por la condición de Courant

HEC-RAS Unsteady Computation Options and Tolerances

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | **Advanced Time Step Control** | 1D Mixed Flow Options

Fixed Time Step (Basic method) 3 Second

Adjust Time Step Based on Courant

Maximum Courant: 1.

Minimum Courant: 0.3

Number of steps below Minimum before doubling: 0

Maximum number of doubling base time step: 1 6.00 sec

Maximum number of halving base time step: 7 0.02 sec

Courant Methodology

Velocity/Length (face velocity * dt / cell to cell distance)

Residence Time (cell outflow * dt / cell volume)

Adjust Time Step Based on Time Series of Divisors Verify Dates ...

Time Step	Date(ddMM-yyyy hh:mm)	Divisor
1		0
2		0
3		0
4		0
5		0
6		0
7		0
8		0
9		0
10		0
11		0
12		0
13		0

OK Cancel Defaults ...

Figura 49

Configuración computacional de la simulación

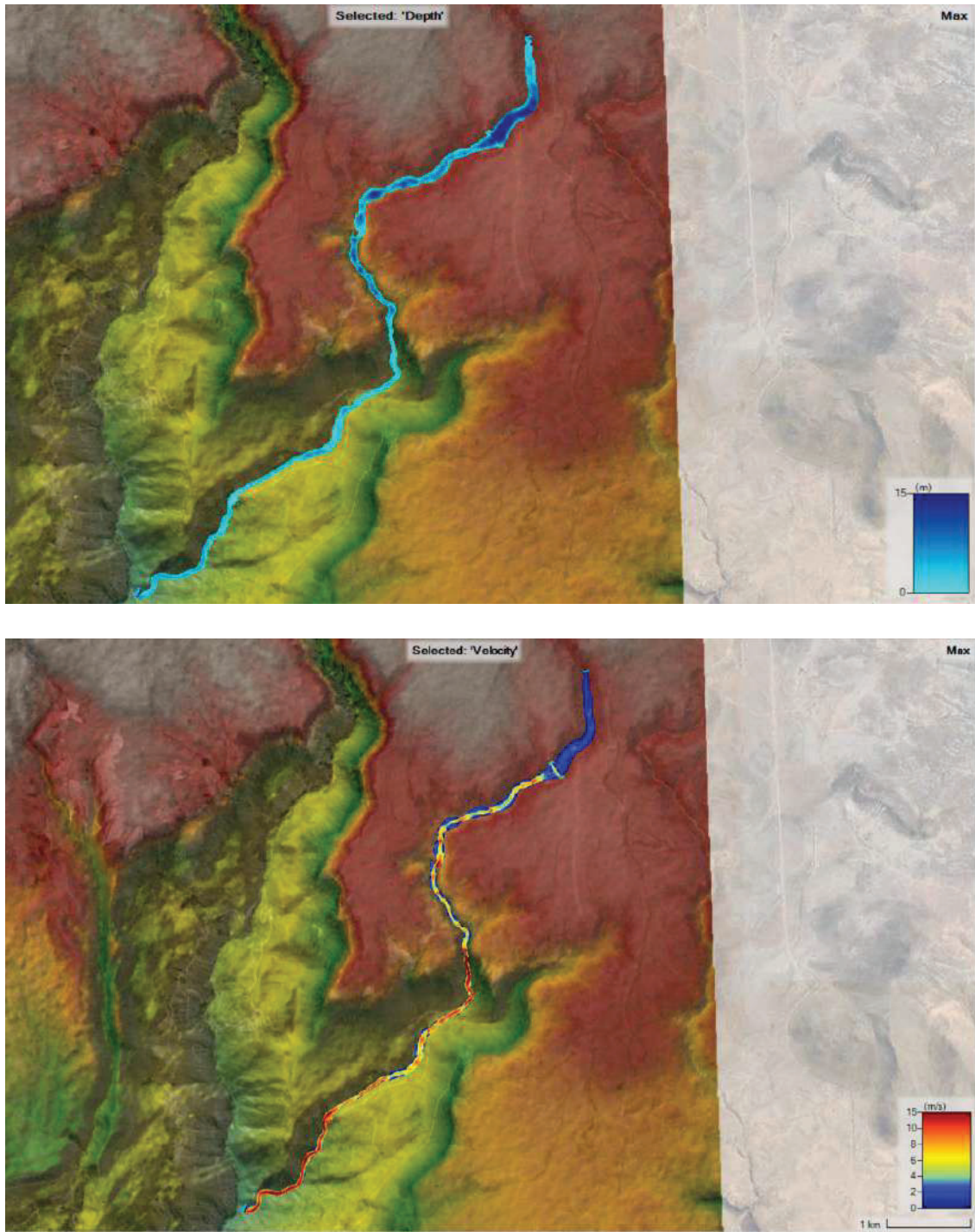
Figura 50

Configuración para tolerancias de los Caudales

Parameter	(Default)	AREA_AGUASABAJA	AREA_AGUASARRIBA
1 Theta (0.5-1.0)	1	1	1
2 Theta Warmup (0.5-1.0)	1	1	1
3 Water Surface Tolerance [max=0.05](m)	0.003	0.003	0.003
4 Volume Tolerance (m)	0.003	0.003	0.003
5 Maximum Iterations	20	90	90
6 Equation Set	Diffusion Wave	SWE-ELM (original/faster)	SWE-ELM (original/faster)
7 Initial Conditions Time (hrs)			
8 Initial Conditions Ramp Up Fraction (0-1)	0.1	0.1	0.1
9 Number of Time Slices (Integer Value)	1	1	1
10 Turbulence Model	None	None	None
11 Longitudinal Mixing Coefficient	0.3	0.3	0.3
12 Transverse Mixing Coefficient	0.1	0.1	0.1
13 Smagorinsky Coefficient	0.05	0.05	0.05
14 Boundary Condition Volume Check	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 Latitude for Coriolis (-90 to 90)			
16 Solver Cores	All Available	All Available	All Available
17 Matrix Solver	PARDISO (Direct)	PARDISO (Direct)	PARDISO (Direct)
18 Convergence Tolerance	0.00001	0.00001	0.00001
19 Minimum Iterations	3	3	3
20 Maximum Iterations	20	20	20
21 Restart Iteration	10	10	10
22 Relaxation Factor	1.3	1.3	1.3
23 SOR Preconditioner Iterations	20	20	20

Figura 51

Resultados del modelado en HEC RAS de tirante y velocidades máximas



3.6.10 Cálculos en HEC RAS

Se detalla las operaciones realizadas antes de colocar los datos en el software.

3.6.10.1 Tiempo de rotura y dimensión de brecha de rotura

De las ecuaciones recomendadas por el Ministerio del Ambiente de España se aplicará la siguiente ecuación (6):

$$T(h) = 4.8 * V^{0.5}(Hm^3)/H_d(m) \quad (6)$$

Sustituyendo los valores de V (volumen de embalse) y H (altura de presa sobre el cauce del río) se obtiene:

$$T(h) = \frac{4.8 * \sqrt{1.54}}{25} = 0,753 \text{ hrs}$$

Según la ecuación de Froehlich se tiene la ecuación (7) para el tiempo de rotura de la siguiente manera:

$$T(h) = 5.62 * V_w^{0.5}(Hm^3)/H_b(m) \quad (7)$$

Reemplazando los Valores de V (volumen de agua almacenado al momento de la rotura) y H_b (altura de la brecha) se obtiene:

$$T(h) = \frac{5.62 * 1.54^{0.5}}{20} = 1,10 \text{ hrs}$$

Nota: Se opto por un tiempo de rotura de 0,5 horas, dado que los valores obtenidos de 0,753 hrs. y 1,10 hrs. para evitar inestabilidades en el modelado hidráulico y para fines prácticos.

Para el ancho medio de la brecha (b), se utilizó la ecuación de la Guía Técnica para clasificación del Ministerio del Ambiente de España se aplicará la siguiente ecuación (8):

$$b(m) = 20 * [V(Hm^3)H(m)]^{0.25} \quad (8)$$

Supliendo los valores de V (volumen de embalse) y H (altura de presa sobre el cauce del río)

$$b(m) = 20 * [1.54 * 25]^{0.25} = 49,82 \text{ m}$$

Según la ecuación (9) de Froehlich, para estimar el ancho medio de brecha se considera de la manera:

$$b(m) = 22.46 * K_o * V_w^{0.32} * H_b^{0.04} \quad (9)$$

Reemplazando los Valores de K_o (coeficiente que depende de la causa que origina la rotura de la presa $K_o=1.3$ para rotura por sobrevertido y $K_o=1$ para el resto de las roturas), V_w (volumen de agua almacenado en el embalse al momento de la rotura) y H_b (altura de la brecha) se obtiene:

$$b(m) = 22.46 * 1.3 * 1.54^{0.32} * 20^{0.04} = 78,95 \text{ m}$$

3.6.10.2 Parámetros según el software HEC RAS de la brecha de rotura

La existencia de una calculadora de parámetros proporciona guías para obtener los demás datos. Si bien es cierto se colocaron datos aproximados al producirse la brecha de rotura, el software también se da la posibilidad que a través de las ecuaciones de autores con experiencia en rotura de presas se puedan estimar estos valores como se muestra a continuación en la Figura 52.

Figura 52

Calculadora con parámetros de la brecha de rotura

The screenshot shows the 'Storage Area Connection Breach Data' dialog box in HEC-RAS. The 'Breach Method' is set to 'User Entered Data'. The 'Failure Mode' is 'Overtopping'. The 'Earth Fill Type' is 'Non-homogeneous or Rock-fill'. The 'Dam Type' is 'Dam with corewall'. The 'Dam Erodibility' is 'Medium'. The 'Starting WS' is 4000. The 'Breach Formation Time (hrs)' is 0.5. The 'Breach Weir Coef' is 1.44. The 'Right Side Slope' is 1.5. The 'Left Side Slope' is 1.5. The 'Final Bottom Elevation' is 3980. The 'Final Bottom Width' is 40. The 'Center Station' is 120. The 'Piping Coefficient' is 0.3. The 'Initial Piping Elev' is empty. The 'Trigger Failure at' is 'WS Elev'. The 'Starting WS' is 4000. The 'Breach Plot' tab is selected. The 'Input Data' section includes fields for 'Top of Dam Elevation (m)', 'Breach Bottom Elevation (m)', 'Pool Elevation at Failure (m)', and 'Pool Volume at Failure (1000 m3)'. The 'Failure mode' is 'Overtopping'. The 'MacDonald' section includes 'Dam Crest Width (m)', 'Slope of US Dam Face Z1 (H:V)', and 'Slope of DS Dam Face Z2 (H:V)'. The 'Xu Zhang (and Von Thun)' section includes 'Earth Fill Type' and 'Dam Type'. The table below lists different breach methods and their parameters.

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time
MacDonald et al	Top of dam elevation not set Dam crest width not set		
Froehlich (1995)			
Froehlich (2008)			
Von Thun & Gillette			
Xu & Zhang			

* Note: the breach development time from the Xu Zhang equation includes more of the initial erosion period and post erosion than what is used in the HEC-RAS breach formation time.

Ingreso de datos

- Los parámetros a colocar son los siguientes
- Elevación de la parte superior de la presa = 4000 msnm
- Elevación del fondo de la brecha=3980 msnm
- Elevación del agua en falla=4000 msnm
- Elevación del Volumen en falla =1,93 mmc

MacDonald

- Ancho de la corona=8m
- Tipo de relleno de tierra=Non Homogeneous or Rockfill
- Talud de la cara de la presa Z1 =1.5
- Talud de la cara de la presa Z2 =1.5

Xu Zhang (and Von Thun)

- Tipo de presa=Cara de Concreto
- Erosión de la presa= baja

Comentario: Las ecuaciones propuestas son recomendaciones, esto debido a que no hay una formula precisa en la cual se tenga los datos exactos en los cuales se producirá la rotura. Pero para el modelado hidráulico se está considerando la condición más desfavorable.

En la figura 53 se observa el ingreso de datos de la presa donde el software mediante la calculadora que esta tiene calcula valores para los parámetros de la brecha de rotura.

Figura 53

Parámetros con las ecuaciones

Storage Area Connection Breach Data

SA Connection: EJE_PRESA

Breach This Structure

Breach Method: User Entered Data

Center Station: 120

Final Bottom Width: 40

Final Bottom Elevation: 3980

Left Side Slope: 1.5

Right Side Slope: 1.5

Breach Weir Coef: 1.44

Breach Formation Time (hrs): 0.5

Failure Mode: Overtopping

Piping Coefficient: 0.5

Initial Piping Elev:

Trigger Failure at: WS Elev

Starting WS: 4000

Breach Plot | Breach Progression | Simplified Physical | Physical Breaching (Di.Breach) | **Parameter Calculator** | Breach Repair

Input Data

Top of Dam Elevation (m): 4000

Breach Bottom Elevation (m): 3980

Pool Elevation at Failure (m): 4000

Pool Volume at Failure (1000 m³): 1.93

Failure mode: Overtopping

MacDonald

Dam Crest Width (m): 3

Slope of US Dam Face Z1 (H:V): 1.5

Earth Fill Type: Non-homogeneous or Rockfill

Slope of DS Dam Face Z2 (H:V): 1.5

Xu Zhang (and Von Thun)

Dam Type: Concrete-faced dam

Dam Erodibility: Low

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	-7	0.5	0.06	Select
Froehlich (1995)	-23	1.4	0.01	Select
Froehlich (2008)	-16	1	0.01	Select
Von Thun & Gillete	46	0.5	0.55	Select
Xu & Zhang	0	0.46	0.11 *	Select

* Note: the breach development time from the Xu Zhang equation includes more of the initial erosion period and post erosion than what is used in the HEC-RAS breach formation time.

OK Cancel

Comentario: Se consideraron para la simulación los valores del lado izquierdo para una mayor estabilidad al efectuar el computo de la simulación.

En la Figura 54 y Tabla 7 , se muestran el volumen empleado al nivel de la cota corona de 1.93 mm³ , este dato se utilizó para el ingreso de datos de los parámetros de las ecuaciones.

Tabla 7

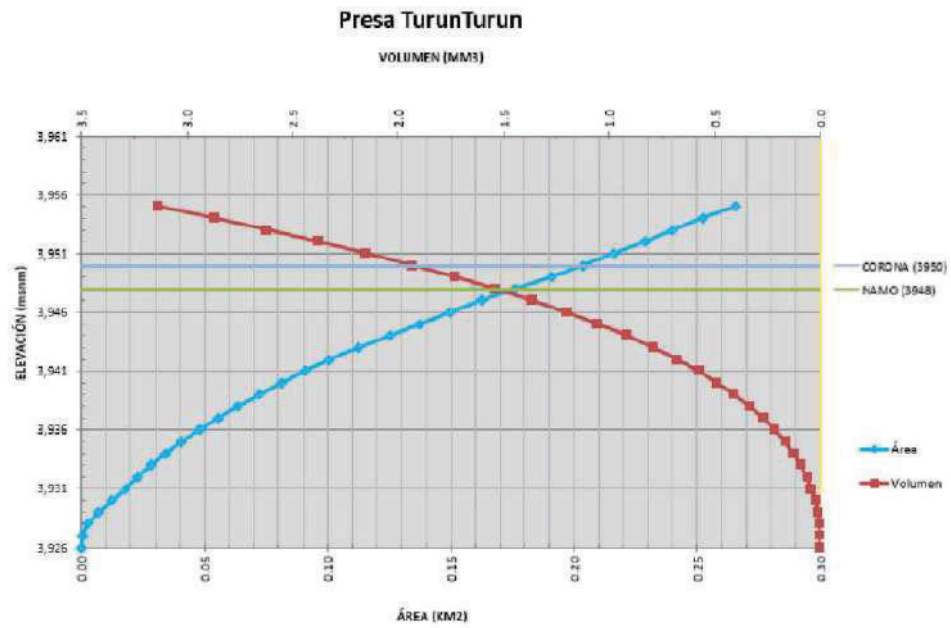
Datos de Curva Área-Volumen Presa Turunturun

Curva área-volumen-Presa Turunturun-Tacna				
Elevación	Altura (m)	Área (km ²)	Volumen Parcial (mm ³)	Volumen Acumulado (mm ³)
3926	0	0.0001	0.00	0.00
3927	1	0.001	0.00	0.00
3928	2	0.0041	0.00	0.00
3929	3	0.0099	0.01	0.01
3930	4	0.0152	0.01	0.02
3931	5	0.0202	0.02	0.04
3932	6	0.0253	0.02	0.06
3933	7	0.0311	0.03	0.09
3934	8	0.0369	0.03	0.12
3935	9	0.0441	0.04	0.16
3936	10	0.0515	0.05	0.21
3937	11	0.0593	0.06	0.27
3938	12	0.0678	0.06	0.33
3939	13	0.0765	0.07	0.40
3940	14	0.0859	0.08	0.48
3941	15	0.0952	0.09	0.57
3942	16	0.1062	0.10	0.67
3943	17	0.1187	0.11	0.78
3944	18	0.1317	0.13	0.91
3945	19	0.1432	0.14	1.05
3946	20	0.1559	0.15	1.20
3947	21	0.1687	0.16	1.36
3948	22	0.1834	0.18	1.54
3949	23	0.1984	0.19	1.73
3950	24	0.2087	0.20	1.93
3951	25	0.2234	0.22	2.15
3952	26	0.234	0.23	2.38
3953	27	0.246	0.24	2.62
3954	28	0.258	0.25	2.87
3955	29	0.273	0.27	3.14

Nota. Reproducida del expediente Técnico de la obra "Mejoramiento del servicio de agua para riego en el comité de regantes Calacala, distrito de Cairani, Provincia de Candarave, Región de Tacna"

Figura 54

Gráfico Curva Área-Volumen



Nota. Tomada del expediente Técnico de la obra “Mejoramiento del servicio de agua para riego en el comité de regantes Calacala, distrito de Cairani, Provincia de Candarave, Región de Tacna”

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Evaluación de las características geométricas de la presa Turunturun y su relevancia para su clasificación

Para la evaluación se utilizaron los datos recopilados del expediente técnico del proyecto “Mejoramiento del servicio de agua para riego en el comité de regantes Calacala, distrito de Cairani, Provincia de Candarave, Región de Tacna”, se sintetizó la información requerida para el modelado hidráulico.

Tabla 8

Cuadro resumen de Características Geométricas de la presa Turunturun

Características geométricas			
Nombre	Descripción	Resultados	Observaciones*
	Tipo	Presa de enrocado con pantalla de concreto	Presa de enrocado con pantalla de concreto
	Nivel de Corona de presa	3950 m.s.n.m.	<i>4000 msnm</i>
	Altura de presa	25,00 m	25,00 m
	Ancho de Corona	8,00 m	8,00 m
	Borde Libre	2,2 m	2,2 m
	Área de la Subcuenca Tomacucho	34,04 km ²	34,04 km ²
Presa Turunturun	Volumen del embalse (NAMO)	1,54 hm ³	1,54 hm ³
	Volumen útil del Embalse (NAMO-NAMI)	1,41 hm ³	1,41 hm ³
	Nivel del NAME	3 948,80 m.s.n.m.	<i>3997,80 m.s.n.m</i>
	Nivel del NAMO	3 948,00 m.s.n.m.	<i>3997,00 m.s.n.m</i>
	Volumen Acumulado del NAMO	1,54 mm ³	1,54 mm ³
	Nivel del NAMI	3934 m.s.n.m.	<i>3984 m.s.n.m</i>
	Nivel de Coronación	3950,00 m.s.n.m.	<i>4000 m.s.n.m.</i>
	Volumen Acumulado de la cota coronación	1,93 mm ³	1,93 mm ³

Interpretación

En la Tabla 8, se tienen las características geométricas de la presa en estudio y a su vez también se encuentran las observaciones encontradas al momento de realizar el modelamiento el cual difiere en las cotas de nivel de cota corona, nivel del NAME, nivel del NAMO y nivel del NAMI. Esto debido a la precisión de las imágenes satelitales donde se puede apreciar una diferencia entre las cotas.

A continuación, se muestra las coordenadas del eje de la presa empleadas para el modelado hidráulico:

Tabla 9

Tabla de coordenadas UTM WGS-84 del eje de la presa

Coordenadas del eje de la presa					
Lado Derecho			Lado Izquierdo		
Este (m)	Norte(m)	Cota (m.s.n.m)	Este (m)	Norte(m)	Cota (m.s.n.m)
359634,5134	8097636,9470	3966,9685	359783,1596	8097438,0970	3961,1652

Figura 55

Coordenadas del eje de la presa



Coordenadas del diseño del eje de la presa según el estudio topográfico del expediente técnico

COORDENADAS UTM WGS - 84

Nº	MARCA	Km	ESTE	NORTE	COTA	DISTANCIA AL EJE	LADO	DESCRIPCIÓN
1	EJE.A (PRESA)	0+000	359634.5134	8097636.9470	3966.9685	0.000	Estribo Derecho	Sobre cado de concreto
2	EJE.B (PRESA)	0+248	359783.1596	8097438.0970	3961.1652	0.000	Estribo Izquierdo	Sobre cado de concreto

Interpretación

Según la Tabla 9 y Figura 55, se recopiló la información del expediente técnico del proyecto referido, de las coordenadas del eje de la presa. Estas coordenadas fueron procesadas en el software ArcGIS mediante puntos y georreferenciadas bajo el sistema de coordenadas UTM WGS-84, para luego ser exportadas al HEC RAS y ser utilizado de guía para conectar las secciones agua arriba (embalse) y agua abajo (zona de inundación).

Seguidamente se muestra las coordenadas del aforo (inicio del embalse):

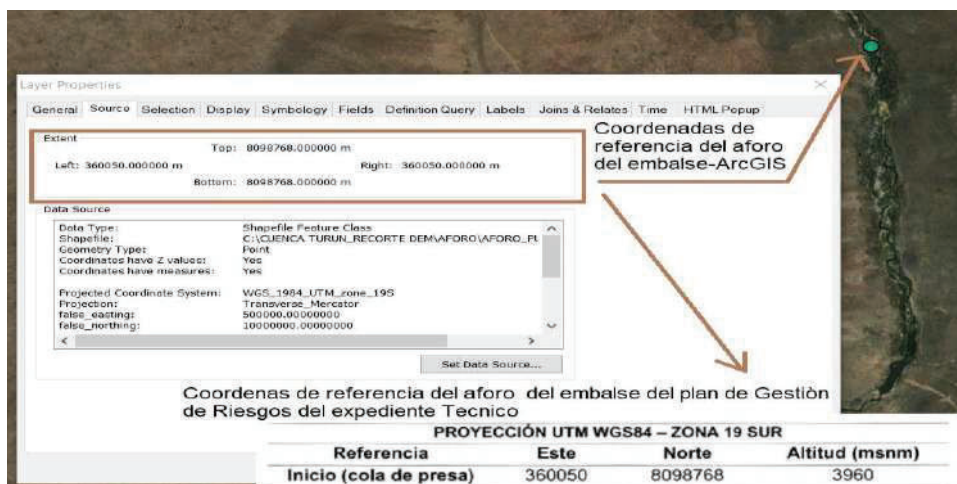
Tabla 10

Coordenadas del aforo del embalse

Proyección UTM WGS84- Zona 19 Sur - Coordenadas del aforo del embalse	
Este (m)	360050
Norte(m)	8098768
Altitud	3960 m.s.n.m.

Figura 56

Coordenadas del inicio del embalse



Interpretación

En la Tabla 10 y Figura 56 se recopiló la información del expediente técnico del proyecto referido, de las coordenadas del aforo del embalse. Estas coordenadas fueron procesadas en el software ArcGIS mediante puntos y georreferenciadas bajo el sistema de coordenadas UTM WGS-84, para luego ser exportadas al HEC RAS y ser utilizado de guía para dibujar la sección agua arriba del eje de la presa, representando esta sección el embalse.

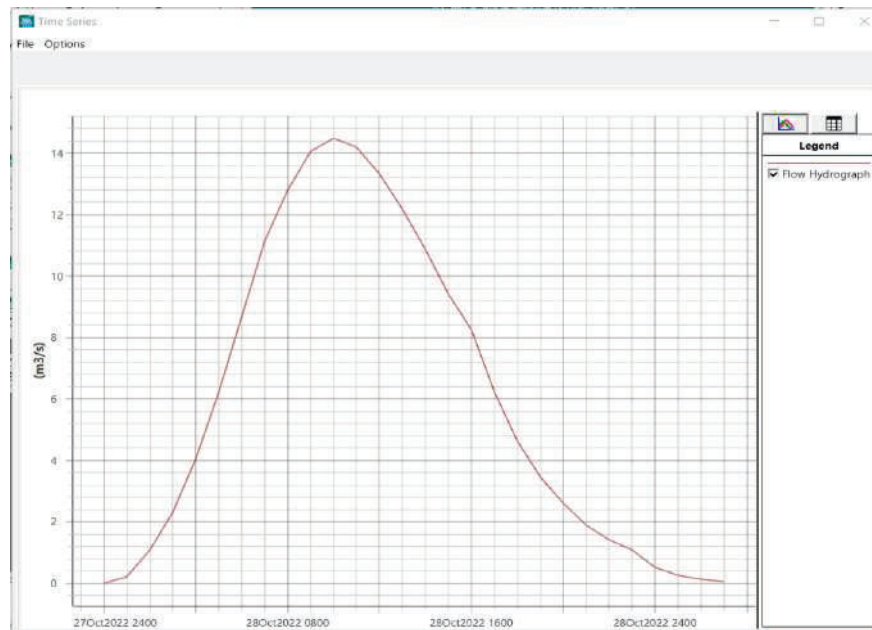
4.2 Identificación del hidrograma de entrada al embalse, para el escenario de rotura de la presa Turunturun

Se identifico los caudales del estudio hidrológico del expediente Técnico del proyecto “Mejoramiento del servicio de agua para riego en el comité de regantes Calacala, distrito de Cairani, Provincia de Candarave, Región de Tacna”. A continuación, se muestra los caudales y el tiempo de simulación empleado.

Tabla 11

Detalle de hidrograma de entrada

Fecha	Tiempo de simulación (horas)	Caudal (m³/s)
27oct2022 2400	0:00:00	0
28oct2022 0100	1:00:00	0,22
28oct2022 0200	2:00:00	1,09
28oct2022 0300	3:00:00	2,32
28oct2022 0400	4:00:00	4,06
28oct2022 0500	5:00:00	6,23
28oct2022 0600	6:00:00	8,69
28oct2022 0700	7:00:00	11,15
28oct2022 0800	8:00:00	12,8
28oct2022 0900	9:00:00	14,05
28oct2022 1000	10:00:00	14,48
28oct2022 1100	11:00:00	14,19
28oct2022 1200	12:00:00	13,32
28oct2022 1300	13:00:00	12,17
28oct2022 1400	14:00:00	10,86
28oct2022 1500	15:00:00	9,41
28oct2022 1600	16:00:00	8,25
28oct2022 1700	17:00:00	6,23
28oct2022 1800	18:00:00	4,63
28oct2022 1900	19:00:00	3,46
28oct2022 2000	20:00:00	2,61
28oct2022 2100	21:00:00	1,89
28oct2022 2200	22:00:00	1,42
28oct2022 2300	23:00:00	1,09
28oct2022 2400	24:00:00	0,52
29oct2022 0100	25:00:00	0,26
29oct2022 0200	26:00:00	0,13
29oct2022 0300	27:00:00	0,06

Figura 57*Representación del hidrograma de entrada***Interpretación**

En la Tabla 11 y Figura 57 se observa los datos ingresados del hidrograma de entrada, se consideró los caudales de diseño para un periodo de retorno de 1000 años, estos datos fueron recopilados del expediente técnico mencionado anteriormente. Al hidrograma de entrada se colocó como fecha de inicio el 27 de octubre a las 24:00 horas y con una fecha termino de 29 de octubre a las 03:00 horas del año 2022, siendo un total de 27 horas consideradas para el tiempo de simulación.

4.3 Características hidráulicas de la onda de rotura de la presa Turunturun

Las características hidráulicas de la onda de rotura son los resultados obtenidos del software HEC RAS , que comprenden el tirante y velocidad máxima obtenida de la simulación de la rotura de la presa Turunturun .Dichos valores se ven representados en el mapa de velocidad y tirante máximo (ver Anexo 1.Planos de mapas de tirantes y velocidades máximas).En los mapas se ve representados por colores los valores obtenidos en cada zona en la cual se simula la rotura comprendiendo valores para los tirantes y velocidades máximas valores de 20 m y 19,28 m/s respectivamente.

4.4 Clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial

Afecciones a núcleos de población o viviendas aisladas

Mediante la modelación hidráulica con HEC RAS, se procesó la rotura y el tránsito de la onda de crecida en un tramo de 836 km de río Condorjurisiña (desde eje de la presa) aguas abajo. Luego de estabilizar el modelo, haber verificado la condición de Courant y computado el corrido del software se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 12

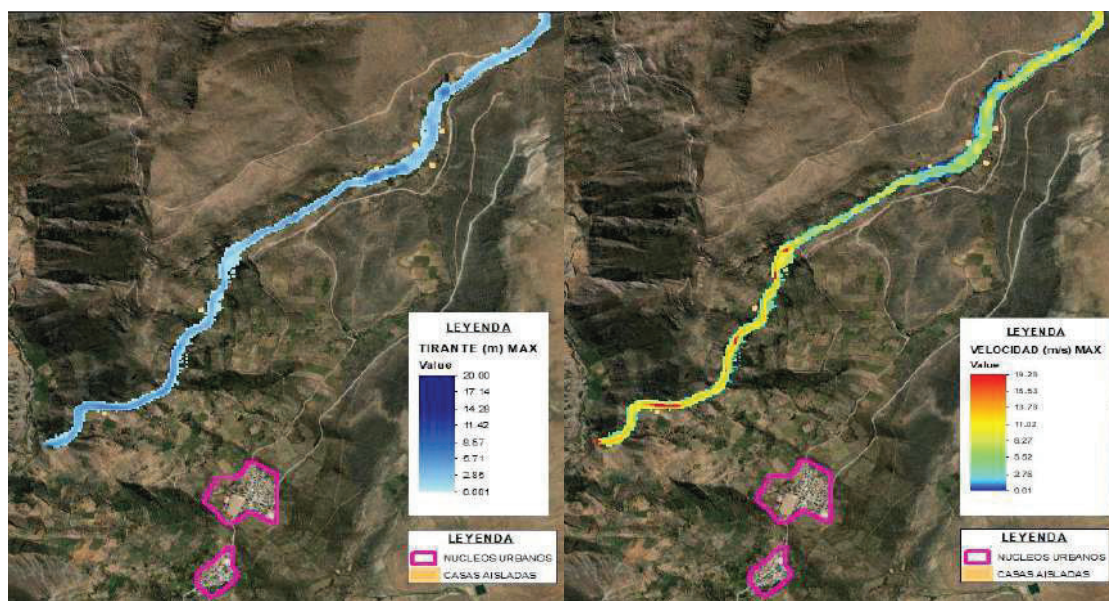
Estimación de afección a núcleos de población y viviendas aisladas

Identificación y localización de la afección potencial							Resultados del modelado hidráulico		Clasificación del daño		
Nº	Tipo de elemento afectado	Distancia a la presa	C a u c e	Margen	Coordenadas UTM		Cota	Calado máximo	Velocidad máxima	Grado de Afección	Nº de viviendas afectadas
C-		(km)			X	Y	(msnm)	(m)	(m/s)		
01	Viviendas aisladas	5,23	Rio Condorjurisiña	Izquierda	358159,83	8094015,80	3649,54	0,08	2,57	Grave	1
02		5,37		Derecha	358107,52	8093808,45	3637,96	-	-		
03		5,46		Izquierda	358023,49	8093924,34	3639,67	-	-		
04		5,60		Derecha	357820,92	8093779,87	3630,03	-	-		
05		7,04		Derecha	356872,18	8092877,30	3446,31	-	-		
06		8,03		Izquierda	356359,33	8092221,85	3240,42	0,04	5,85	Grave	1

Interpretación

Figura 58

Mapa de afecciones a núcleos de población y viviendas aisladas



Nota. Mapa de afecciones a núcleos de población y casas aisladas.

En la Tabla 12, se estima los riesgos para el escenario de rotura con avenida y con una falla por desbordamiento, el cual refleja a detalle el grado de afección resultante donde está en riesgo potencial de dos viviendas aisladas en Afección Grave, por estar en el área al cual se consideró para el modelamiento hidráulico. Según la Guía Técnica para la clasificación de Presas el grado de afección “grave” se efectuará en función del calado (m) y velocidad (m/s) de la onda en el punto de afección. Además, la guía detalla que se asignara en la categoría A cuando se produzca “afección grave” a más de cinco viviendas y categoría B cuando se produzca “Afección grave” a un número comprendido entre una y cinco viviendas. Por lo tanto, con los resultados obtenidos de la Tabla 12 se encontraría en una categoría B, por estar en una afección grave, dos viviendas. Además, en la Figura 58, se muestra a detalle las zonas donde existe un riesgo ante una potencial rotura de la presa Turunturun.

Afecciones de daños materiales

Figura 59

Mapa de afecciones daños materiales

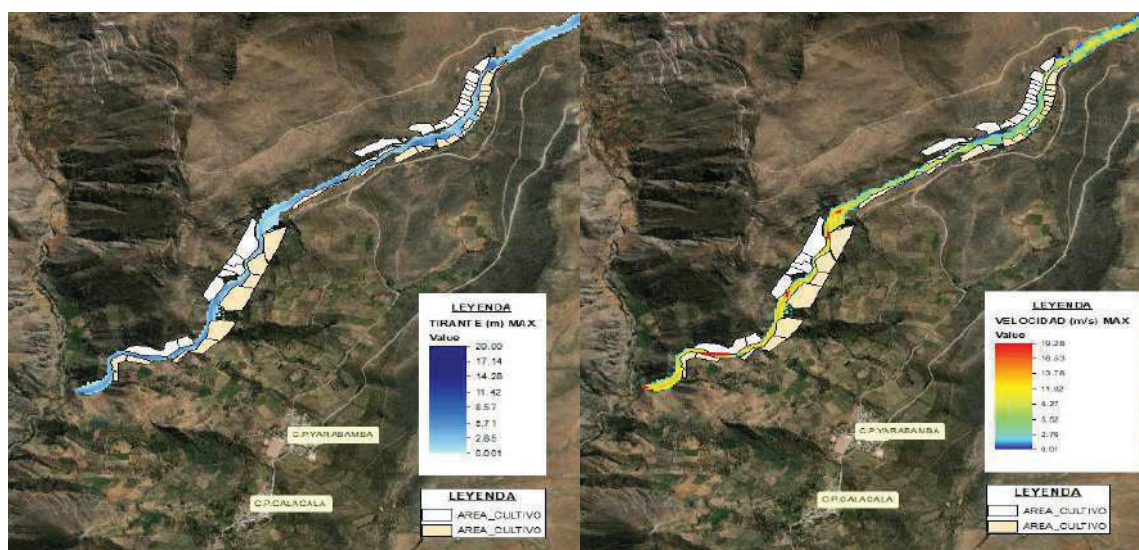


Tabla 13

Estimación de afecciones de daños materiales

N°	ID	Identificación y localización de la afección potencial				Resultados del modelado hidráulico				Clasificación del daño				
		Tipo de elemento afectado	Distancia a la presa (km)	Cauce	Margen	Coordenadas UTM X	Y	Cota (msnm)	Calado máximo (m)	Velocidad máxima (m/s)	Grado de Afección	N° de instalaciones afectadas	Superficie de cultivo afectada	Daños potenciales
1	ZC - 01	Zona de cultivo	4.83		Izquierdo	358207.84	8094251.31	3636.01	6.34	3.51	Grave	1	0.22	Importantes
2	ZC - 02	Zona de cultivo	4.94		Izquierdo	358158.05	8094174.27	3652.31	3.0	6.71	Grave	1	0.40	Importantes
3	ZC - 03	Zona de cultivo	4.95		Izquierdo	358151.70	8094113.31	3647.80	3.05	3.14	Grave	1	0.21	Importantes
4	ZC - 04	Zona de cultivo	4.99		Izquierdo	358140.27	8094072.07	3645.82	4.32	5.97	Grave	1	0.23	Importantes
5	ZC - 05	Zona de cultivo	5.05		Izquierdo	358156.46	8094053.50	3644.29	3.3	3.98	Grave	1	0.20	Importantes
6	ZC - 06	Zona de cultivo	5.08		Izquierdo	358157.73	8093997.74	3644.49	4.04	4.4	Grave	1	0.13	Importantes
7	ZC - 07	Zona de cultivo	5.11		Izquierdo	358151.58	8093985.99	3642.48	3.51	5.70	Grave	1	0.14	Importantes
8	ZC - 08	Zona de cultivo	5.15		Izquierdo	358116.14	8093955.51	3641.02	2.92	6.25	Grave	1	0.12	Importantes
9	ZC - 09	Zona de cultivo	5.24		Izquierdo	358060.16	8093864.39	3632.55	2.81	6.89	Grave	1	0.24	Importantes
10	ZC - 10	Zona de cultivo	5.34		Izquierdo	358040.53	8093805.06	3631.95	1.57	4.33	Grave	1	0.07	Importantes
11	ZC - 11	Zona de cultivo	5.38		Izquierdo	357980.00	8093762.51	3628.88	3.48	4.37	Grave	1	0.26	Importantes
12	ZC - 12	Zona de cultivo	5.43		Izquierdo	357923.17	8093734.57	3628.00	2.58	5.04	Grave	1	0.28	Importantes
13	ZC - 13	Zona de cultivo	5.52		Izquierdo	357826.86	8093694.99	3628.41	2.36	1.08	Grave	1	0.29	Importantes
14	ZC - 14	Zona de cultivo	5.65		Izquierdo	357741.35	8093652.06	3629.37	4.42	3.71	Grave	1	0.71	Importantes
15	ZC - 15	Zona de cultivo	5.85		Izquierdo	357558.43	8093549.95	3604.48	3.81	4.06	Grave	1	0.19	Importantes
16	ZC - 16	Zona de cultivo	6.24		Izquierdo	357277.55	8093387.47	3582.05	3.34	6.38	Grave	1	0.72	Importantes
17	ZC - 17	Zona de cultivo	6.67		Izquierdo	357051.06	8093043.09	3484.62	0.6	7.32	Grave	1	1.63	Importantes
18	ZC - 18	Zona de cultivo	6.82		Izquierdo	356974.86	8092891.96	3445.85	0.21	6.32	Grave	1	1.16	Importantes
19	ZC - 19	Zona de cultivo	6.97		Izquierdo	356943.11	8092778.72	3427.16	1.23	10.07	Grave	1	0.68	Importantes
20	ZC - 20	Zona de cultivo	7.15		Izquierdo	356871.15	8092655.95	3416.14	3.61	4.76	Grave	1	2.04	Importantes
21	ZC - 21	Zona de cultivo	7.46		Izquierdo	356774.84	8092444.07	3349.90	2.17	12.4	Grave	1	1.51	Importantes
22	ZC - 22	Zona de cultivo	7.55		Izquierdo	356693.56	8092325.96	3320.63	3.38	11.77	Grave	1	0.73	Importantes
23	ZC - 23	Zona de cultivo	7.88		Izquierdo	356573.01	8092260.19	3294.98	1.75	5.98	Grave	1	0.25	Importantes
24	ZC - 24	Zona de cultivo	7.92		Izquierdo	356555.84	8092236.69	3235.03	3.86	11.18	Grave	1	0.42	Importantes
25	ZC - 25	Zona de cultivo	8.04	Rio Condorjurisifa	Izquierdo	356244.51	8092234.05	3210.63	4.66	9.55	Grave	1	0.50	Importantes
26	ZC - 26	Zona de cultivo	8.19		Izquierdo	356240.70	8092123.13	3208.44	2.75	7.07	Grave	1	0.15	Importantes
1	ZC - 27	Zona de cultivo	4.85		Derecho	358134.29	8094269.90	3658.27	6.02	3.06	Grave	1	0.47	Importantes
2	ZC - 28	Zona de cultivo	4.94		Derecho	358081.37	8094186.82	3654.98	1.39	3.2	Grave	1	0.42	Importantes
3	ZC - 29	Zona de cultivo	4.98		Derecho	358072.90	8094143.95	3653.90	1.41	4.43	Grave	1	0.18	Importantes
4	ZC - 30	Zona de cultivo	5.03		Derecho	358063.91	8094112.20	3652.17	1.5	1.87	Grave	1	0.20	Importantes
5	ZC - 31	Zona de cultivo	5.05		Derecho	358053.99	8094077.41	3650.86	1.52	1.26	Grave	1	0.20	Importantes
6	ZC - 32	Zona de cultivo	5.08		Derecho	358046.37	8094048.20	3650.87	0.88	1.28	Grave	1	0.18	Importantes
7	ZC - 33	Zona de cultivo	5.12		Derecho	358041.29	8094013.91	3647.70	0.25	1.69	Grave	1	0.22	Importantes
8	ZC - 34	Zona de cultivo	5.18		Derecho	358033.24	8093978.35	3646.50	0.16	1.49	Grave	1	0.33	Importantes
9	ZC - 35	Zona de cultivo	6.23		Derecho	358015.07	8093902.82	3645.36	0.2	1.73	Grave	1	0.22	Importantes
10	ZC - 36	Zona de cultivo	6.29		Derecho	357974.43	8093807.05	3643.47	-	-	No Grave	1	0.42	moderados
11	ZC - 37	Zona de cultivo	6.39		Derecho	357916.43	8093853.07	3643.35	-	-	No Grave	1	0.31	moderados
12	ZC - 38	Zona de cultivo	6.45		Derecho	357891.26	8093835.07	3641.88	-	-	No Grave	1	0.76	moderados
13	ZC - 39	Zona de cultivo	6.61		Derecho	357720.55	8093755.80	3635.26	-	-	No Grave	1	0.19	moderados
14	ZC - 40	Zona de cultivo	6.7		Derecho	357637.43	8093678.33	3616.94	-	-	No Grave	1	0.09	moderados
15	ZC - 41	Zona de cultivo	5.76		Derecho	357608.22	8093719.82	3634.32	2.73	4.38	Grave	1	0.11	Importantes
16	ZC - 42	Zona de cultivo	5.8		Derecho	357570.12	8093624.57	3608.88	2.67	3.99	Grave	1	0.06	Importantes
17	ZC - 43	Zona de cultivo	5.84		Derecho	357529.06	8093602.55	3606.43	1.46	1.08	Grave	1	1.15	Importantes
18	ZC - 44	Zona de cultivo	6.78		Derecho	356919.35	8093036.56	3478.83	1.87	3.59	Grave	1	1.93	Importantes
19	ZC - 45	Zona de cultivo	6.86		Derecho	356855.85	8092924.80	3461.23	-	-	No Grave	1	0.50	moderados
20	ZC - 46	Zona de cultivo	6.95		Derecho	356869.39	8092868.07	3444.41	0.17	2.71	Grave	1	0.56	Importantes
21	ZC - 47	Zona de cultivo	7.01		Derecho	356805.04	8092834.20	3446.75	-	-	No Grave	1	0.34	moderados
22	ZC - 48	Zona de cultivo	7.16		Derecho	356747.47	8092781.75	3403.87	1.48	6.48	Grave	1	1.05	Importantes
23	ZC - 49	Zona de cultivo	7.61		Derecho	356596.23	8092368.76	3313.01	2.48	6.77	Grave	1	0.50	Importantes
24	ZC - 50	Zona de cultivo	7.79		Derecho	356480.65	8092288.75	3272.43	4.35	13.27	Grave	1	1.59	Importantes

Interpretacion

En la Tabla 13 se realizó una estimación de las afecciones de daños materiales, ocasionadas por la simulación de la onda de rotura de la presa, en la tabla se aprecia el grado de afección a las zonas de cultivo que se encuentran tanto al margen derecho como al margen izquierdo del cauce del río Condorjurisña. A si mismo se utilizó los valores máximos de calado (tirante) y velocidad obtenidos de la simulación para los posibles puntos de afección, luego se tomaron coordenadas de dichos puntos para obtener los valores de calado y velocidad para evaluar su afección. Conjuntamente se consideró las áreas de zonas de cultivo en las cuales, ante la rotura de la presa agua abajo afectaría de manera significativa a los regantes de los centros poblados Yarabamba y Calacala. Mediante la valorización de afecciones de la Guía Técnica Española se utilizó como prototipo de dicha guía los modelos de tabla para el análisis de afecciones aguas abajo. De acuerdo a los grados de afección en los cuales se produzca el daño a materiales este se puede categorizar en A, B o C. Pero el criterio mediante el cual se hace el uso para clasificarlo es la indicación que refiere que si a diez o más instalaciones/ propiedades se ven en un grado de afección grave y si es a más de una hectárea de regadío se clasifica en B. La estimación de la afección se produce en 43 zonas de regadío con un área acumulada a 5,71 hectáreas.

En la Figura 59 se representa las zonas de cultivo que se encuentran alrededor de la rotura de la presa Turunturun.

Afecciones a servicios esenciales

De acuerdo al concepto de que los servicios esenciales son indispensables para el desarrollo de actividades humanas y económicas según la Guía Española mencionada anteriormente. Debido a que la población cercana a la presa son los centros poblados de C.P. Yarabamba y el C.P. Calacala encontrándose en un rango del eje de la presa de 6,37 y 6,89 km respectivamente. Con una población de 203 viviendas y 108 viviendas para los centros poblados de Yarabamba y Calacala respectivamente. En el área donde se produce la simulación aguas abajo no representa daño a los servicios esenciales como son Abastecimiento y saneamiento, suministro de energía, sistema sanitario, sistema de comunicaciones e infraestructura de transporte. Esto porque el área de simulación aguas abajo al producirse la rotura de la presa en la simulación desborda sobre el cauce del río Condorjurisña y sobre sus alrededores, de esta manera no afectando a los dos centros poblados que se encuentran a una mayor altitud del cauce del río.

Afecciones de daños medioambientales

A propósito de los daños medioambientales, dado el caso que en el área de estudio no se encuentra algún patrimonio histórico -artístico o cultural no existe afecciones medioambientales para un patrimonio histórico. Pero como existe una afección de daños materiales por consiguiente también existe afecciones de daños medioambientales aguas debajo de la presa Turunturun. La clasificación por lo tanto se encuentra en una categoría B.

Resumen de la clasificación de la Presa Turunturun según su riesgo potencial.

A continuación, se muestra una tabla resumen de la clasificación de la presa Turunturun, para realizar la clasificación se empleó la Guía técnica para la clasificación de presas de España y las Normas y Reglamento de seguridad de presas en el Perú.

Tabla 14

Resumen clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial

Rotura de la presa Turunturun	Importancia				
	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Núcleos de Urbanos o viviendas aisladas		Si			
Afecciones Daños materiales				Si	
Servicios esenciales	Si				
Aspectos medioambientales			Si		

Interpretación

Según (Autoridad Nacional del Agua, 2017) en el artículo 8 clasificación de las presas, inciso 8.1.2 en función de su riesgo potencial, clasificando por el funcionamiento incorrecto o rotura de la presa, en base de las posibles consecuencias que afecten a los núcleos urbanos, servicios esenciales, daños materiales y medioambientales.

En efecto al emplear la Clasificación de presas de acuerdo a la normativa peruana y de acuerdo con los resultados de la Tabla 14 de clasificación de presas en función del riesgo potencial y analizar los resultados mostrados en la Tabla 14, entonces la clasificación de la presa Turunturun en función de su riesgo potencial está clasificada en una categoría B.

CAPÍTULO V: DISCUSION

En la hipótesis específica 1, se propuso que: "Las características geométricas de la presa Turunturun son altamente relevantes para su clasificación", el expediente técnico "Mejoramiento del servicio de agua para riego en el comité de regantes Calacala ,distrito de Cairani ,Provincia de Candarave ,Región de Tacna" de la presa Turunturun contaba con la información de la información que se necesitaba en este caso, por lo cual se empezó a recopilar los datos de las características geométricas de la presa, también se recopiló los datos de las coordenadas del eje de la presa y del aforo del embalse, que el primero se utilizó para conectar las secciones agua arriba (embalse) y agua abajo (zona de inundación) y el segundo para que sirva de guía al momento de dibujar la sección agua arriba del eje de la presa, todo este conjunto de datos nos sirvieron para el modelamiento hidráulico de la presa; se encontraron algunas observaciones en cuanto a cotas y esto debido a la precisión de la imágenes satelitales las cuales fueron resueltas. Por lo que se vio que las características geométricas de la presa son de mucha importancia para el desarrollo de la tesis y así poder clasificar a la presa.

Según (Rodriguez, 2018) en su tesis "Análisis de rompimiento de presas aplicado al embalse el quillay, río Combarbalá" acento que, para presas con alturas de embalse del orden de Quillay, que se recomienda utilizar el parámetro de la velocidad máxima de erosión vertical y así poder estimar los parámetros de falla, por lo que se ve que las características de las presas son muy importantes no solo para modelarlas sino también para clasificarlas.

Con respecto a la hipótesis específica 2, se planteó que: "El escenario de rotura se produce cuando el NAME está al nivel de la cota Corona de la presa y se produce el fallo", en el modelamiento de la presa Turunturun en el software HEC RAS el escenario de rotura si se dio cuando el NAME y la cota corona están al mismo nivel y esto porque el NAME (Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias) se le conoce como nivel más alto que puede alcanzar el agua en la presa o lo que se puede almacenar, mientras que la cota corona está a nivel de la altura máxima de la presa por lo que si ambas están a mismo nivel es que por desbordamiento se produce la falla lo que ocasiona el escenario de rotura, es por ello que entre la cota corona y el NAME hay un espacio que se le denomina borde libre que tiene el propósito de contener el oleaje que se pueda producir por el viento.

Por otro lado según (Gómez & Peralta, 2021) en su investigación: “Modelamiento hidráulico bidimensional para el análisis de la potencial rotura de la presa las delicias ubicado en el distrito de Oyotún - Chiclayo – Lambayeque” concluyo que el punto más vulnerable es la sección del eje de la presa sería el que está a la mitad del largo o mejor dicho en el centro de la longitud de dicha presa por lo que esa área al verse afectada ocasionaría el fallo de dicha presa.

En cuanto a la hipótesis específica 3, en la cual se propuso que: “Las características hidráulicas de la onda de rotura de la presa Turunturun son Velocidad Máxima y Tirante” para la obtención de dichos resultados se modelo en el software HEC RAS la presa y así puesto a una simulación conocido también como escenario de rotura es que tuvo como resultado las características hidráulicas de la onda de rotura lo cual comprende al tirante y la velocidad máxima y todo esto representado en mapas los cuales se ven los valores obtenidos en cada zona en la cual se simula la rotura.

(Cuervo, 2012), en la tesis titulada “Comparación de los modelos hidráulicos unidimensional (Hec-ras) y bidimensional (Iber) en el análisis del rompimiento de presas de materiales sueltos”. Obtuvo no solo los datos de velocidades y tirantes sino también del caudal pico resultante de rotura y a su vez el tiempo total de falla de la de la misma.

CONCLUSIONES

En esta tesis se realizó una clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial , distrito de Cairani , provincia de Candarave ,Tacna - 2022 mediante un modelado hidráulico en el software HEC-RAS donde al colocar la presa Turunturun ante un escenario de rotura con avenida y a una falla por desbordamiento e insertando las condiciones de contorno como son el hidrograma de entrada y pendientes ,parámetros de la brecha de rotura y un tiempo computacional este nos dio como resultado tirantes y velocidades a lo largo de la geometría diseñada aguas debajo de la presa , en este sentido con dichos resultados para las zonas ,se procesó los resultados y se identificó las zonas de inundación ,paso siguientes se realizó la clasificación del modelado el cual resulto en un riesgo potencial de categoría B.

Las características geométricas tanto de la presa resultaron significativamente relevantes para su clasificación, esto debido a que el software registra estos datos para generar los parámetros de la brecha de rotura. A si mismo el escenario de rotura se produjo cuando el NAME (Nivel de agua máxima extraordinaria) se encontró a nivel de la Cota corona de la presa.

Las características hidráulicas de la onda de rotura al finalizar con la simulación resultaron Tirantes y velocidades máximas en las cuales de acuerdo al punto de afección se estimaron los tirantes y velocidades para los puntos, dando por consiguiente un mayor alcance para la realización de la clasificación de la presa Turunturun.

RECOMENDACIONES

Que las entidades públicas tales como el Gobierno Regional de Tacna y la institución pública Proyecto Especial Tacna consideren realizar estudios ante un escenario de rotura de la presa Turunturun y un análisis sobre daños y consecuencias ante una potencial rotura de presas nuevas o en construcción.

Es primordial realizar un levantamiento batimétrico al área de estudio, fotogrametría o dado el caso del empleo de drones para obtener mayor precisión en los resultados, dado que el estudio elaborado se efectuó en base de imágenes satelitales.

Se recomienda validar los resultados del estudio con otros métodos donde se puedan comparar los resultados o con la utilización de diferentes modelos hidráulicos como lo son los softwares de Iber, basement, entre otros.

Se recomienda el uso del modelamiento bidimensional del software HEC-RAS, ya que proporciona herramientas para obtener resultados con mayor precisión ante una simulación de una rotura de presa.

La generación de mapas de inundación para cada presa a construirse en el Perú, como son los mapas de Tirante y Velocidades máximas y así pronosticar mediante los mapas las distancias en caso de afecciones a núcleos urbanos, servicios esenciales, daños materiales o aspectos medioambientales y a su elaborar planes de evacuación dado sea el caso o planes para un control para estimar riesgos.

Considerar que los datos que se insertan al software HEC RAS no son absolutos, sino que, mediante los resultados, se calibran de tal manera que los datos de ingreso son importantes ya que son particularidades que el software necesita, datos como son los hidrogramas de entrada que son reseñas de los caudales a considerar de un estudio hidrológico; también la obtención de las pendientes ya que el software presenta inestabilidad antes un cambio brusco de pendientes. Las características de la presa y el embalse deben de ser considerados como datos fidedignos para el modelado ya que permite generar la brecha de rotura.

Ya que en la presente investigación se resaltó el análisis de la parte hidráulica de la presa para su clasificación, es que también se recomienda a los futuros tesisistas que desarrollen un análisis con relación al riesgo sísmico de la presa Turunturun, puesto que al ser una estructura que está expuesta a eventos de esta naturaleza, esta debe de estar diseñada para resistir sin colapsar y para una reparación pronta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, L. (2014). *Adaptación del planeamiento de una presa de enrocado con cara de concreto según condiciones reales de obra*[Tesis de Grado,Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5622>
- Amador, Á. (16 de Febrero de 2016). *MÁS QUE INGENIERÍA*. <https://masqueingenieria.com/blog/tipos-de-presas-y-su-clasificacion/>
- Armas, R., & Horta, E. (1987). *PRESAS DE TIERRA*. Habana: ISPJAE.
- Autoridad Nacional del Agua. (2017). *Normas y Reglamento de seguridad de presas en el Peru*.
- Barrera Zuñiga, R., & Garcia Oriduña, D. (20 de Febrero de 2015). *Procesamiento, interpretación y análisis de imágenes satelitales en la banda de los 400 a 700 nanómetros para aplicaciones de percepción remota*. Distrito Federal: INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.
- Bustamante, Y. A. (2013). *Modelamiento numérico de una onda de avenida generada por la rotura de una presa de tierra y su estimación de riesgo-aplicación a la presa Yuracmayo*[Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, Universidad Nacional Mayor]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/14704>
- Caro, A. (02 de Diciembre de 2014). *Slidshare*. <https://es.slideshare.net/PeruminOficial/1610-davidgilbert>
- Castañeda, A. (s.f.). Modelación de la Brecha de Rotura. En *Propuesta para la confección de Planes de Emergencia por Rotura de Presas en la Provincia de Córdoba*. https://www.academia.edu/6719713/Determinaci%C3%B3n_de_la_Brecha
- Chalco, A. J. (2018). *Análisis comparativo de simulación de crecidas para estimar los riesgos por la rotura de represas – Microcuenca Palermo, El Carmen, Churcampa – Huancavelica*[Tesis de pregrado,Universidad Nacional del Centro del Peru]. Repositorio institucional, Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5082>
- Chávez, C. P., & Cusma, M. A. (2018). *Analisis del riesgo hidrológico en una presa existente-Presa Surasaca*[Tesis grado,Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio institucional, Lima, Perú. <https://doi.org/10.19083/tesis/625119>
- Chow, V. t. (1959). *Hidráulica de canales abiertos*. MCGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A.
- Cuervo, A. (2012). *Comparación de los modelos hidráulicos unidimensional (HEC-RAS) y bidimensional (IBER) en el análisis del rompimiento de presas de materiales sueltos*[Tesis de maestria,Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/2099.1/14736>

- Dirección General del Agua. (2021). Metodología. En *Guía técnica para la clasificación de presas*.
- Engineers, U. A. (2016). *User's Manual HEC-RAS River Analysis System*. Estados Unidos.
- Felicísimo, A. (1994). *Modelos Digitales del Terreno*. PENTALFA.
- Fernández, M. (07 de Octubre de 2019). *AERODINÁMICA F1*. <https://www.aerodinamicaf1.com/2019/10/flujo-laminar-y-turbulento/>
- Formación, G. T. (2023). *CURSOSGIS.COM*. <https://www.cursosgis.com/modelo-basico-hec-ras-2d/>
- Gómez, J. E., & Peralta, K. E. (2021). *Modelamiento hidráulico bidimensional para el análisis de la potencial rotura de la presa las delicias ubicado en el distrito de Oyotún – Chiclayo – Lambayeque*[Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio institucional, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/9930>
- Guarniz, C. (2014). *Comparación de los modelos Hidráulicos Unidimensional (HEC-RAS) y Bidimensional (IBER) en el Análisis de Rotura en Presas de Materiales Sueltos; y Aplicación a la Presa Palo Redondo*[Tesis de grado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/634>
- Hernández, T., & Guardado, R. (2010). *INGEMMET*. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CPG15-237.pdf>
- ICOLD. (04 de Marzo de 2020). *Plataforma digital única del Estado Peruano*. <https://www.gob.pe/institucion/igp/noticias/85424-que-sabemos-sobre-las-roturas-de->
- Ministerio de Ambiente. (1996). *Guía Técnica de Clasificación de presas en función de su riesgo potencial*.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2012). *Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje*.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico. (2021). *GUÍA TÉCNICA PARA LA CLASIFICACIÓN DE PRESAS*. Madrid.
- Murillo, R. (2012). Presas de tierra y sus fallas. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C*, 1.
- Palavecino, A. E. (18 de Diciembre de 2015). *Modelación Bidimensional del flujo generado por la rotura de una presa de tierra, utilizando el programa Iber* [Tesis de maestría, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio institucional, Ecuador. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/12598>
- Ponce, V., Taher-shamsi, A., & Shetty, A. (2003). Propagación de ondas de avenida debido a una ruptura de presa. *Journal of Hydraulic Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2003\)129:10\(777\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:10(777))
- Recreation, D. o. (2023). *DCR*. <https://www.dcr.virginia.gov/dam-safety-and-floodplains/ds-education-dam-failures>

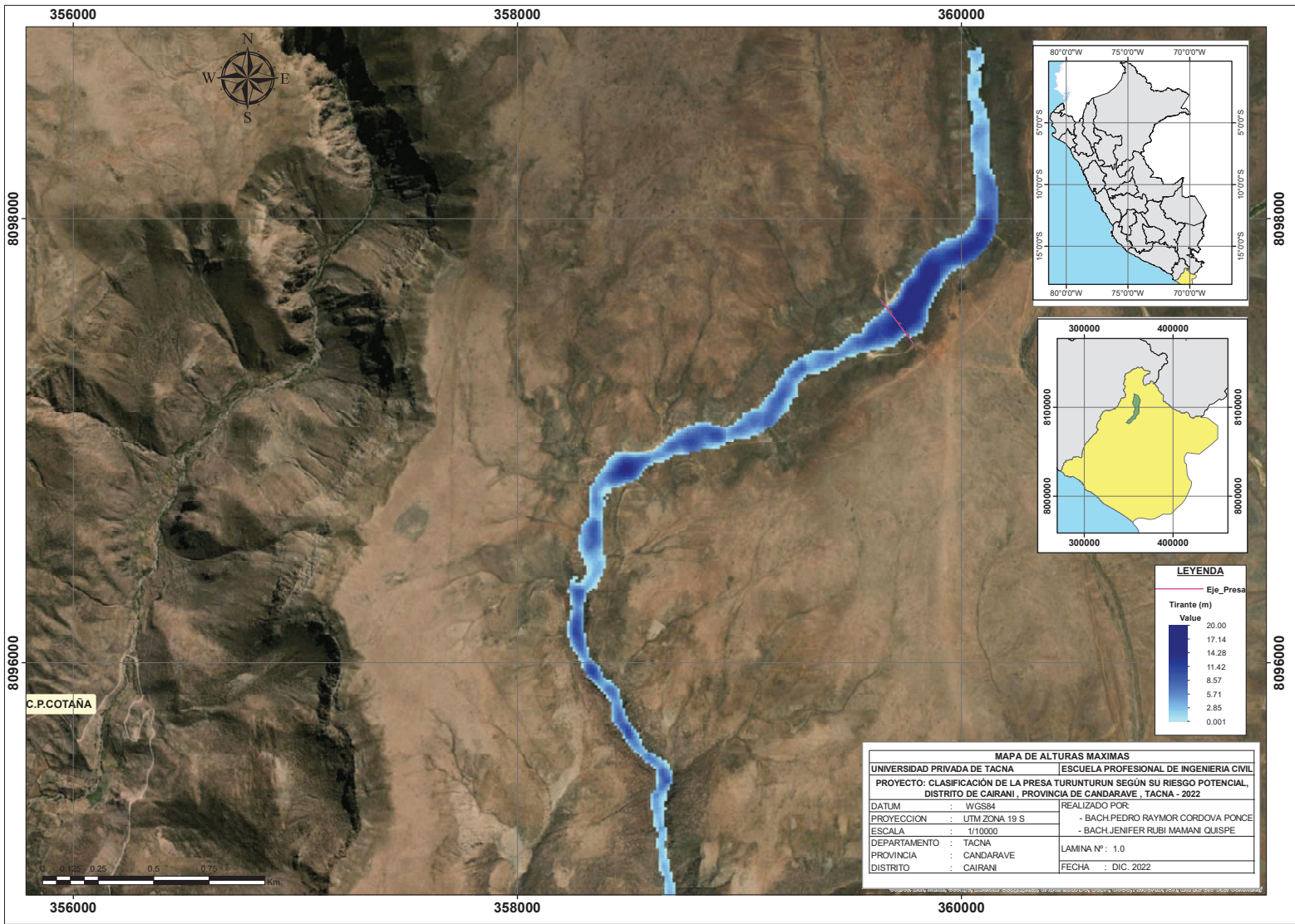
- RHydro Ingenieros. (Marzo de 2018). *RHydro Ingenieros*. RHydro Ingenieros: <https://rhydroingenieros.com/blog/2018/3/19/modelamiento-hidraulico-de-una-presa-en-hec-ras>
- Robles, S. (10 de Mayo de 2018). *Slideshare*. <https://es.slideshare.net/SusanRoblesMendoza/flujo-laminar-y-flujo-turbulento>
- Rodríguez, F. (Octubre de 2018). *Análisis de rompimiento de presas aplicado al embalse el Quillay, Río Combarbalá*. Valparaíso: UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA.
- Rodríguez, F. (Octubre de 2018). *Análisis de rompimiento de presas aplicado al embalse el Quillay, río Combarbalá [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Federico Santa María]*. Repositorio institucional, Valparaíso, Chile. <http://hdl.handle.net/11673/42594>
- Sandoval Erazo, W. (23 de 07 de 2018). *Presas de Tierra y Enrocamiento*. Retrieved 13 de enero de 2023, from ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/326560958_Capitulo_5_Presas_de_Tierra_y_Enrocamiento
- Sandoval, W. (01 de Junio de 2017). *Presas de Tierra y enrocamiento*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34187.49442>
- Santaella Valencia, L. E., & Morales, L. Y. (2001). Conceptos básicos en presas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 11(1), 27-34. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.1351>
- Sanz-Ramos, M., Olivares Cerpa, G., & Bladé i Castellet, E. (13 de 12 de 2019). Metodología para el análisis de rotura de presas con aterramiento mediante simulación con fondo móvil. *Revista Iberoamericana del Agua*, 6(2), 138-147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/23863781.2019.1705198>
- SERNAGEOMIN. (2023). *SERNAGEOMIN*. <https://www.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-sobre-relaves/>
- Téllez, C. (2012). *Criterios de análisis de falla en bordes de protección en ríos [Tesis de maestría, Universidad Nacional de México]*. Repositorio Institucional. https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000681353
- Urquiza, Y., Galban, L., Napoles, N., & Chuy, T. (15 de Diciembre de 2016). *GIGET*. <https://www.redalyc.org/journal/1813/181351125005/html/>
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Yerén, A. (05 de Diciembre de 2017). *SCRIBD*. <https://es.scribd.com/document/366420437/Caudales-de-Diseno#>
- Zucarelli, G., & Morresi, M. d. (1999). *Flujo de canales abiertos: Caracterización en cursos de la provincia de santa fe, república argentina*. http://ponce.sdsu.edu/zucarelli_morresi.pdf

ANEXOS

Anexo 2. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Métodos
<p>Problema principal ¿Cuál es la clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial, distrito de Cairani, provincia de Candarave, Tacna?</p> <p>Problemas específicos a) ¿De qué manera las características geométricas de la presa Turunturun son relevantes para la clasificación según su riesgo potencial? b) ¿Cuál es el hidrograma de entrada al embalse para el escenario de rotura de la presa Turunturun? c) ¿Cuáles son las características hidráulicas de la onda de rotura de la presa Turunturun?</p>	<p>Objetivo principal Realizar la clasificación de la presa Turunturun según su riesgo potencial, distrito de Cairani, provincia de Candarave, Tacna.</p> <p>Objetivos específicos a) Evaluar las características geométricas de la presa Turunturun y su relevancia para su clasificación. b) Identificar el hidrograma de entrada al embalse, para el escenario de rotura de la presa Turunturun. c) Estimar las características hidráulicas de la onda de rotura de la presa Turunturun.</p>	<p>Hipótesis principal La clasificación de la represa Turunturun es de categoría B.</p> <p>Hipótesis específicas a) Las características geométricas de la presa Turunturun son altamente relevantes para su clasificación. b) El escenario de rotura se produce cuando el NAME está al nivel de la cota Corona de la presa y se produce el fallo. c) Las características hidráulicas de la onda de rotura de la presa Turunturun son Velocidad Máxima y Tirante.</p>	<p>Dependiente: Clasificación de la represa</p> <p>Independiente: Riesgo Potencial</p>	<p>Dependiente - Daños a núcleos de población o viviendas aisladas, servicios esenciales, materiales, medioambientales -overtopping o piping -Con avenida, sin avenida o solo avenida.</p> <p>Independiente - Categorías de riesgo (A, B, C) - Tirantes máximo (m) -Velocidades máximas (m/s)</p>	<p>Tipo de investigación: Correlacional- Aplicada</p> <p>Diseño de investigación: No experimental</p> <p>Población -</p> <p>Muestra Presa Turunturun(estudiada)</p> <p>Materiales e instrumentos - Imágenes Satelitales -Datos del expediente Técnico. - Norma y reglamentos de seguridad de presa en el Perú. -Guía Técnica de Clasificación de Presas de España - Equipos de computación.</p>

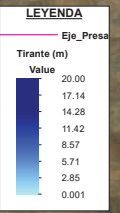
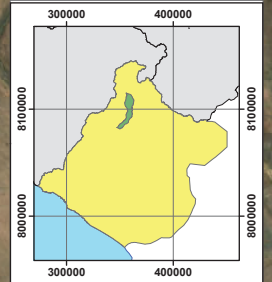
Anexo 3. Planos de mapas de tirantes y velocidades máximas



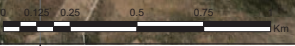
8096000
8096000
8096000

356000
358000
360000
356000
358000
360000

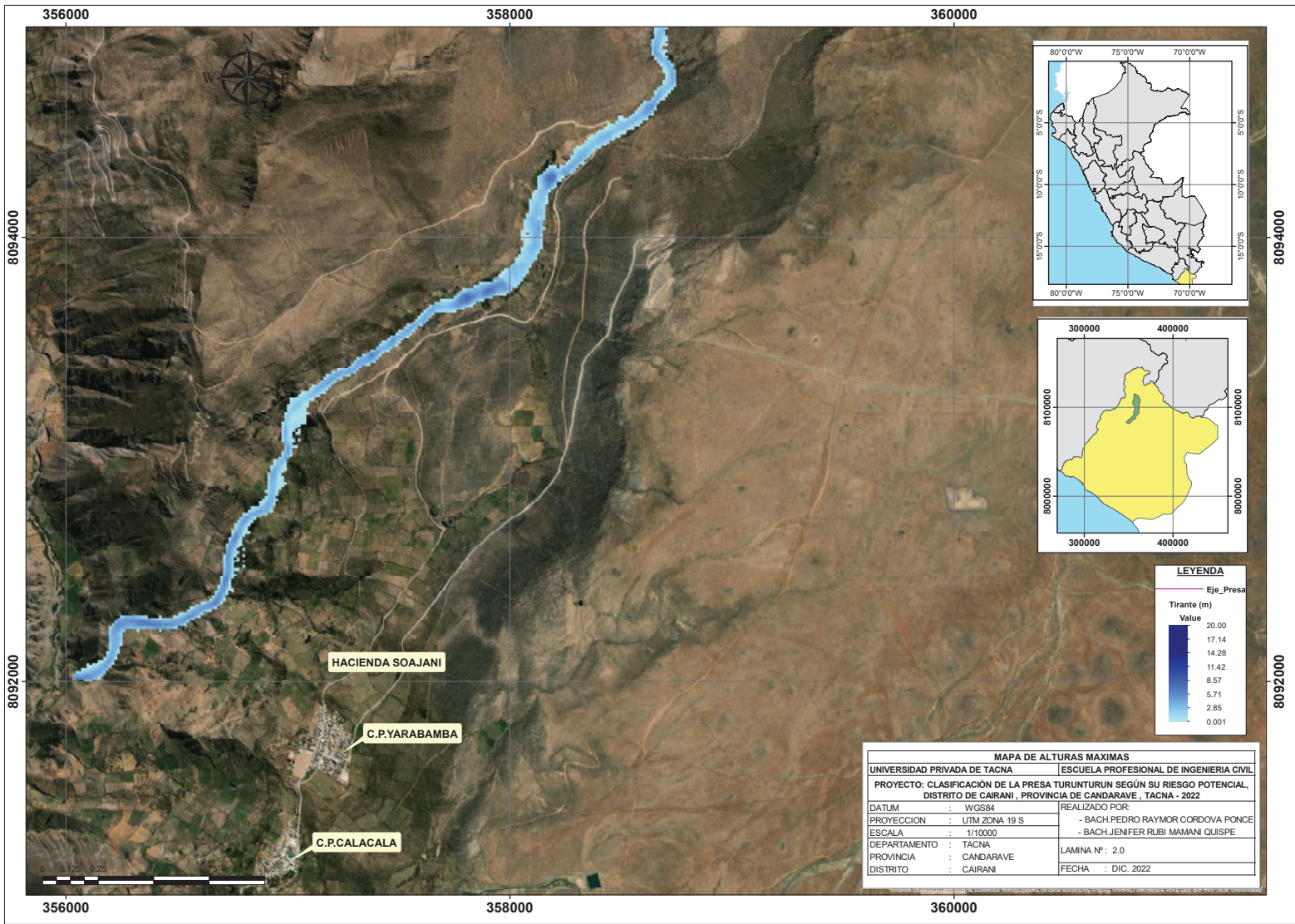
8096000
8096000
8096000



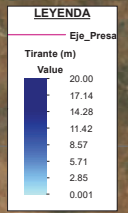
MAPA DE ALTURAS MAXIMAS	
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
PROYECTO: CLASIFICACIÓN DE LA PRESA TURUNTURUN SEGÚN SU RIESGO POTENCIAL, DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, TACNA - 2022	
DATUM : WGS84	REALIZADO POR:
PROYECCION : UTM ZONA 19 S	- BACH. PEDRO RAYMOR CORDOVA PONCE
ESCALA : 1/10000	- BACH. JENIFER RUBI MAMANI QUISPE
DEPARTAMENTO : TACNA	LAMINA Nº : 1.0
PROVINCIA : CANDARAVE	FECHA : DIC. 2022
DISTRITO : CAIRANI	

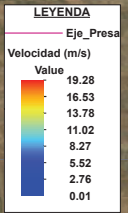
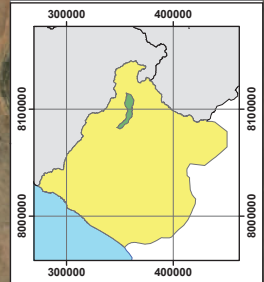
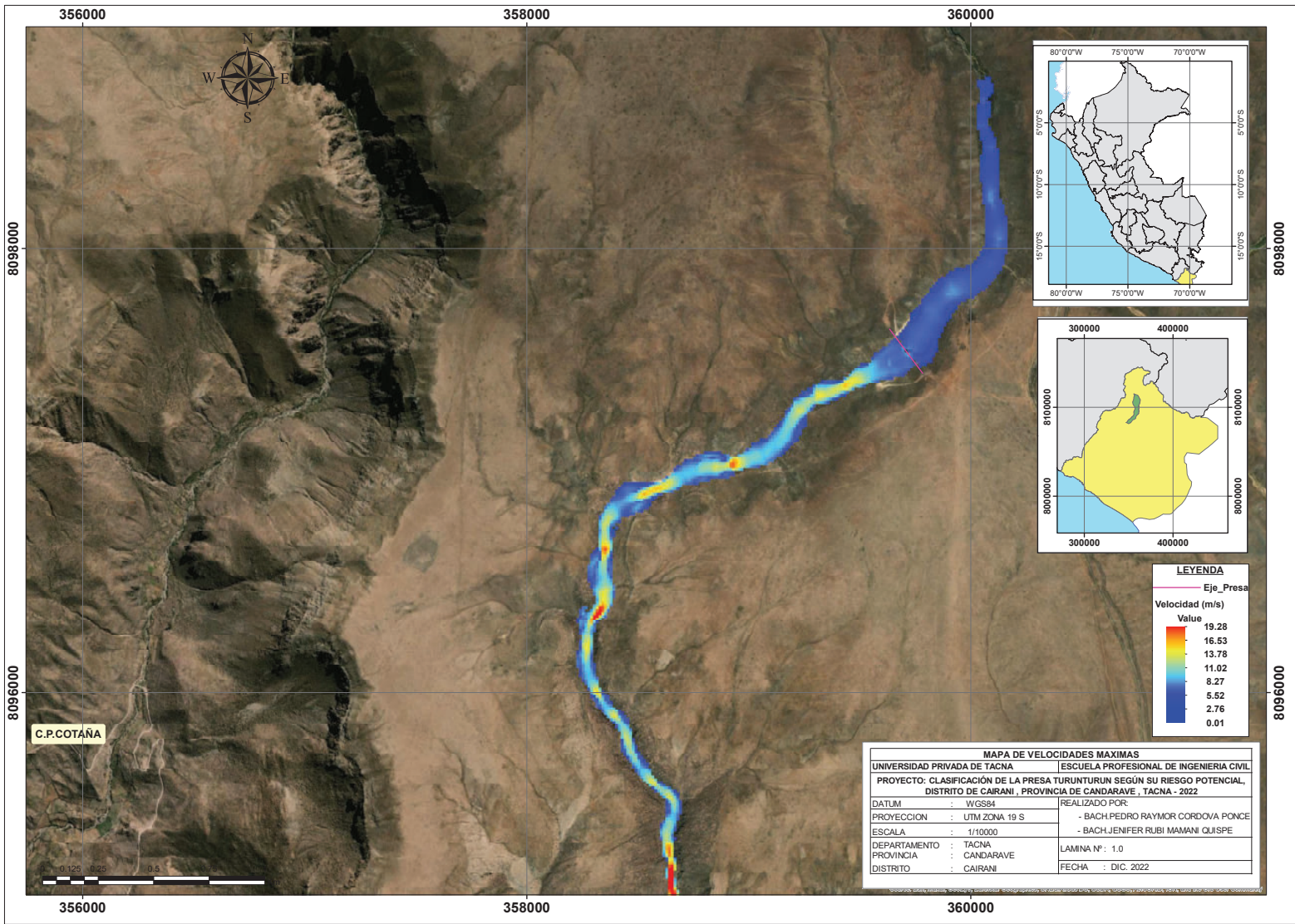


C.P. COTANA

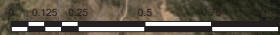


MAPA DE ALTURAS MAXIMAS	
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
PROYECTO: CLASIFICACIÓN DE LA PRESA TURUNTURUN SEGÚN SU RIESGO POTENCIAL, DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, TACNA - 2022	
DATUM : WGS84	REALIZADO POR:
PROYECCION : UTM ZONA 19 S	- BACH PEDRO RAYMOR CORDOVA PONCE
ESCALA : 1/10000	- BACH JENIFER RUBI MAMANI QUISPE
DEPARTAMENTO : TACNA	LAMINA Nº : 2.0
PROVINCIA : CANDARAVE	FECHA : DIC. 2022
DISTRITO : CAIRANI	

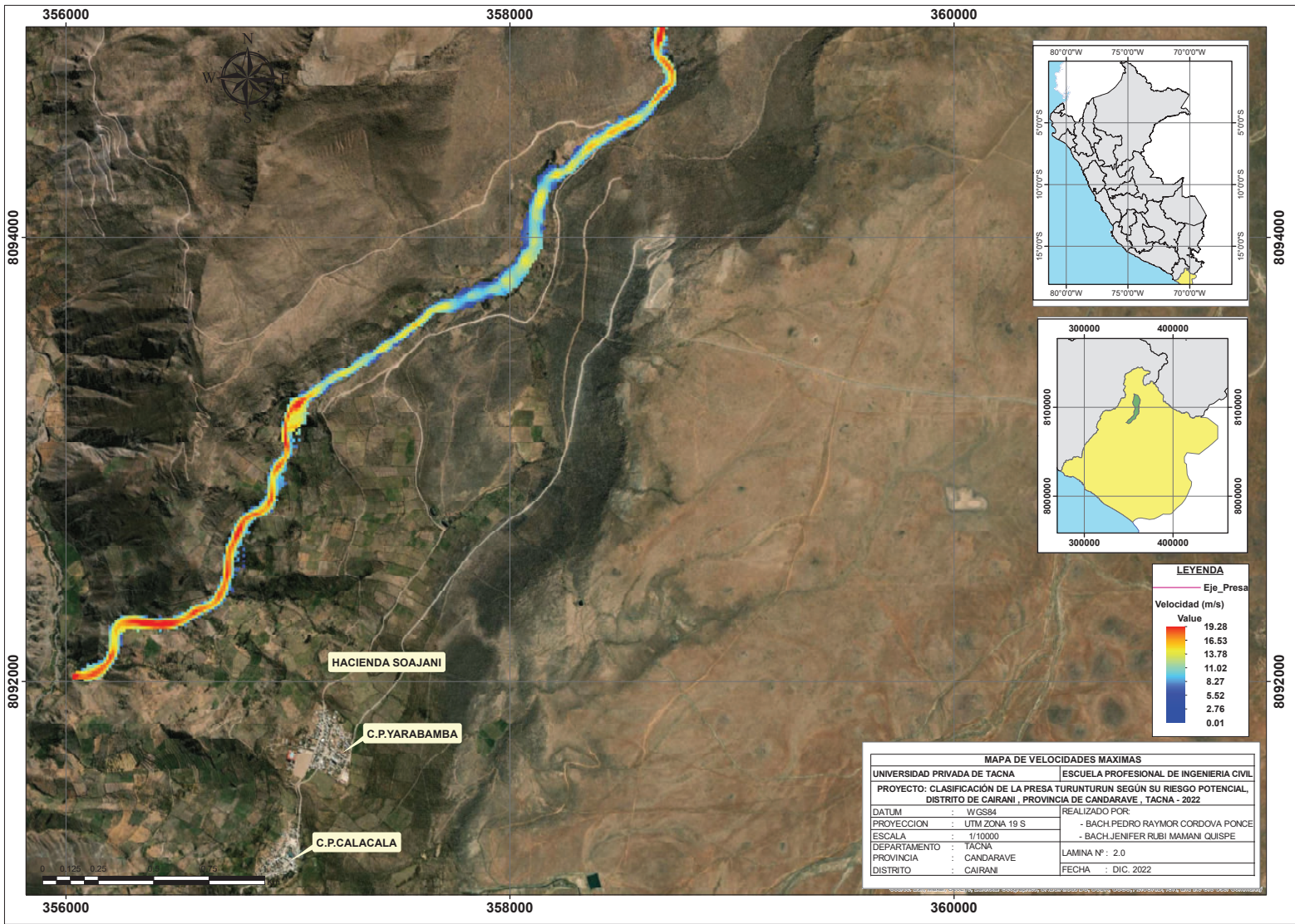




MAPA DE VELOCIDADES MAXIMAS	
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
PROYECTO: CLASIFICACION DE LA PRESA TURUNTURUN SEGUN SU RIESGO POTENCIAL, DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, TACNA - 2022	
DATUM : WGS84	REALIZADO POR :
PROYECCION : UTM ZONA 19 S	- BACH. PEDRO RAYMOR CORDOVA PONCE
ESCALA : 1/100000	- BACH. JENIFER RUBI MAMANI QUISPE
DEPARTAMENTO : TACNA	LAMINA N° : 1.0
PROVINCIA : CANDARAVE	FECHA : DIC. 2022
DISTRITO : CAIRANI	



C.P. COTÁÑA



MAPA DE VELOCIDADES MAXIMAS	
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
PROYECTO: CLASIFICACIÓN DE LA PRESA TURUNTURUN SEGÚN SU RIESGO POTENCIAL, DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, TACNA - 2022	
DATUM : WGS84	REALIZADO POR:
PROYECCION : UTM ZONA 19 S	- BACH PEDRO RAYMOR CORDOVA PONCE
ESCALA : 1/10000	- BACH JENIFER RUBI MAMANI QUISPE
DEPARTAMENTO : TACNA	LAMINA N° : 2.0
PROVINCIA : CANDARAVE	FECHA : DIC. 2022
DISTRITO : CAIRANI	

LEYENDA	
	Eje_Presa
Velocidad (m/s)	
Value	
19.28	
16.53	
13.78	
11.02	
8.27	
5.52	
2.76	
0.01	