ATMIRE

Title	Modelación hidráulica y diseño de defensa ribereña en el tramo comprendido entre las progresivas km 27+300 y km 27+940 del Río Rímac, en el distrito de Lurigancho–Chosica
Item Type	https://purl.org/coar/resource_type/c_7a1f
Authors	Martinelli Guerra, Liz Andrea;Quispe Guevara, Jose Ilder
Publisher	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
Rights	https://purl.org/coar/access_right/c_abf2
Download date	2026-11-27 17:59:27
Item License	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Link to Item	https://hdl.handle.net/10757/690932

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Modelación hidráulica y diseño de defensa ribereña en el tramo comprendido entre las progresivas km 27+300 y km 27+940 del Río Rímac, en el distrito de Lurigancho–Chosica

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Martinelli Guerra, Liz Andrea	0009-0007-9532-7637
Quispe Guevara, Jose Ilder	0009-0000-6780-4685

ASESOR(ES)

Ramos Orlandino, Carmela Cristhy	0000-0002-4269-2944

Lima, 18 de junio de 2026

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis, en primer lugar, a Dios, por brindarnos salud, fortaleza y perseverancia para superar cada desafío presentado a lo largo de nuestra formación profesional y durante el desarrollo de esta investigación.

A nuestros padres y familiares, quienes, con su esfuerzo, apoyo incondicional, consejos y confianza fueron el pilar fundamental que nos motivó a seguir adelante en los momentos de dificultad. Su sacrificio y dedicación hicieron posible el logro de esta importante meta.

Asimismo, dedicamos este trabajo a nuestros docentes y asesores, por compartir sus conocimientos, orientarnos durante el proceso de investigación y contribuir a nuestra formación académica y profesional.

Finalmente, nos dedicamos este logro mutuamente, por el compromiso, la responsabilidad, el trabajo en equipo y la perseverancia demostrados durante el desarrollo de la tesis. A pesar de las dificultades y retos encontrados en el camino, supimos mantenernos enfocados en un objetivo común, logrando culminar con éxito esta etapa tan importante de nuestras vidas profesionales.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestras asesoras, por su dedicación, orientación y valiosos conocimientos compartidos a lo largo de nuestra formación académica y durante el desarrollo de la presente investigación. Sus enseñanzas, recomendaciones y acompañamiento fueron fundamentales para fortalecer nuestras capacidades profesionales y alcanzar los objetivos planteados en este trabajo.

Asimismo, agradecemos a la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), por brindarnos una formación integral, así como las herramientas, recursos y oportunidades necesarias para nuestro crecimiento académico y profesional.

A todos ellos, nuestro reconocimiento y gratitud por su contribución al logro de esta importante meta.

RESUMEN

Las inundaciones constituyen uno de los desastres naturales más recurrentes en el Perú, especialmente durante eventos asociados al fenómeno El Niño, que generan desbordamientos con impactos significativos sobre población e infraestructura. En Lima, el distrito de Lurigancho-Chosica presenta alta vulnerabilidad debido a su ubicación en la cuenca del Río Rímac, la presencia de quebradas activas y la ocupación de zonas expuestas a inundaciones. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la efectividad de una defensa ribereña proyectada en el tramo comprendido entre las progresivas km 27+300 y km 27+940 del Río Rímac, orientada a reducir riesgo de inundación.

Para el desarrollo del estudio se utilizó el software HEC-RAS para la modelación hidráulica del cauce, con información hidrológica de la estación Chosica y datos del área de estudio. Se analizaron escenarios de eventos extremos y se compararon las condiciones hidráulicas del río antes y después de la implementación de la defensa ribereña mediante indicadores como área hidráulica, ancho superficial, velocidad y tirante hidráulico.

Los resultados evidenciaron que la defensa ribereña redujo el área hidráulica promedio de 137.52 m² a 93.00 m² y el ancho superficial del flujo de 92.24 m a 31.95 m, limitando la expansión lateral de la inundación. Asimismo, la velocidad promedio aumentó de 1.65 m/s a 1.90 m/s y el tirante hidráulico de 3.79 m a 3.92 m. Se concluye que la estructura mejora la capacidad hidráulica del río, reduce desbordamientos y contribuye significativamente a la disminución del riesgo de inundación en el tramo evaluado.

Palabras clave: inundación; periodo de retorno; defensa ribereña; HEC-RAS; Río Rímac; modelación hidráulica

Hydraulic Modeling and Design of Riverbank Protection Structures Along the Reach Between Chainages km 27+300 and km 27+940 of the Rímac River in the Lurigancho–Chosica District

ABSTRACT

Floods are among the most frequent natural disasters in Peru, especially during events associated with the El Niño phenomenon, which generate overflows with significant impacts on population and infrastructure. In Lima, the district of Lurigancho-Chosica is highly vulnerable due to its location within the Rímac River basin, the presence of active ravines, and the occupation of flood-prone areas. In this context, this research aimed to evaluate the effectiveness of a proposed riverbank protection structure along the reach between km 27+300 and km 27+940 of the Rímac River, intended to reduce flood risk.

For the study, HEC-RAS software was used to perform hydraulic modeling of the river channel, based on hydrological data from the Chosica gauging station and site-specific information. Extreme event scenarios were analyzed, and hydraulic conditions before and after the implementation of the riverbank protection were compared using indicators such as flow area, top width, velocity, and flow depth.

The results showed that the riverbank protection reduced the average flow area from 137.52 m^2 to 93.00 m^2 and the flow top width from 92.24 m to 31.95 m, limiting lateral flood expansion. Likewise, the average velocity increased from 1.65 m/s to 1.90 m/s, and the flow depth from 3.79 m to 3.92 m. It is concluded that the structure improves the hydraulic capacity of the river, reduces overflow events, and significantly contributes to decreasing flood risk in the evaluated reach.

Keywords: flood; return period; riverbank protection; HEC-RAS; Rímac River; hydraulic modeling

Trabajo_74033888.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%	11%	2%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	elcomercio.pe Fuente de Internet	<1%
6	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1%
8	hidrogeotecnicas.blogspot.com Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1%
10	Lujano Laura, Efrain. "Análisis regional de frecuencia para la estimación de caudales máximos en la cuenca amazónica del Perú", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1%
11	Submitted to Oklahoma State University	

TABLA DE CONTENIDOS

1 CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROYECTO 11

1.1 ANTECEDENTES 11

1.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA 12

1.3 ESTADO DEL ARTE 16

1.4 OBJETIVOS 18

1.4.1 General 18

1.4.2 Específicos 18

1.5 INDICADORES DE LOGRO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL 18

1.6 JUSTIFICACIÓN 19

1.7 LIMITACIONES 19

2 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO 20

2.1 MARCO CONCEPTUAL 20

2.1.1 Periodo de retorno 20

2.1.2 Modelamiento hidráulico 20

2.1.3 Tirante hidráulico 20

2.1.4 Velocidad del flujo 21

2.1.5 Defensas ribereñas 21

2.1.6 Muro de contención 21

2.2 ESTÁNDARES, MARCOS DE TRABAJO Y BUENAS PRÁCTICAS 21

2.3 BASES LEGALES Y MARCO NORMATIVO 22

3 CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PROYECTO 23

3.1 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN 23

3.2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN 24

3.2.1 Recopilación de información hidrométrica 24

3.2.2 Análisis hidrológico y modelación estadística de caudales 25

3.2.3 Modelamiento hidráulico mediante el software HEC RAS 29

3.2.4 Diseño de defensa ribereña en el software MathCad Prime 36

3.3 VALIDACIÓN DEL PROYECTO 48

3.4 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS 51

3.4.1 Resultados obtenidos sin la estructura de defensa ribereña 51
3.4.2 Evaluación hidráulica de la defensa ribereña propuesta a través del modelamiento 1D 53
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 59
4.1 CONCLUSIONES 59
4.2 RECOMENDACIONES 60
5 REFERENCIAS 62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Indicadores de logro del Trabajo de Suficiencia Profesional*..... 18
Tabla 2 *Caudales máximos por año (m3/s) obtenidos del ANA* 25
Tabla 3 *Variables obtenidas de la función de Gumbel*..... 28
Tabla 4 *Caudales obtenidos para 5, 10, 20, 25, 50, 100 y 500 años*..... 28
Tabla 5 *Comparación de resultados hidráulicos por progresiva*..... 55
Tabla 6 *Comparación de resultados de tirante hidráulico y profundidad de desbordamiento por progresiva* 55
Tabla 7 *Reducción porcentual de parámetros hidráulicos por progresiva*..... 56
Tabla 8 *Evaluación de desempeño hidráulico de la defensa ribereña*..... 57
Tabla 9 *Indicadores de efectividad del desempeño hidráulico de la defensa ribereña*..... 57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Zona de estudio previo a inundaciones causadas por el fenómeno El Niño (2017)* 13
Figura 2 *Zona de estudio afectada por el fenómeno El Niño (2017)* 13
Figura 3 *Ribera del Río Rímac en el 2025* 14
Figura 4 *Tramo comprendido entre las progresivas km 27+300 y km 27+940 del Río Rímac, en el distrito de Lurigancho–Chosica.* 15
Figura 5 *Árbol del problema (Causas y efectos)* 16
Figura 6 *Diseño de la solución por fases* 23
Figura 7 *Obtención de data histórica de caudales registrados en la Estación Hidrométrica de Chosica* 24
Figura 8 *Data en bruto obtenida del ANA de los caudales registrados en los últimos 30 años del cauce del Río Rímac.* 25
Figura 9 *Ajuste a la función de Gumbel para obtener los caudales de acuerdo con el periodo de retorno* 27
Figura 10 *Zona de estudio delimitada en Google Earth* 29
Figura 11 *Superficie DEM* 30
Figura 12 *Superficie del área de estudio delimitada en HEC-RAS* 30
Figura 13 *Trazado del eje y definición de márgenes del Río Rímac en HEC-RAS* 31
Figura 14 *Secciones transversales del tramo de estudio del Río Rímac en la geometría del software* 31
Figura 15 *Ribera del tramo de estudio del Río Rímac* 32
Figura 16 *Valores del coeficiente de rugosidad n* 33
Figura 17 *Sección transversal del tramo km 27+780 del Rio Rímac* 34
Figura 18 *Caudal del año 2017 ingresado para la simulación hidráulica* 34
Figura 19 *Condiciones de borde en los extremos del tramo de estudio* 35
Figura 20 *Geometría y caudal del año 2017 ingresado para la simulación hidráulica* ... 35
Figura 21 *Diseño de muro de contención en el software MathCad Prime* 36
Figura 22 *Ingreso de datos en el software MathCad Prime* 37
Figura 23 *Verificaciones de estabilidad estática en el software MathCad Prime* 38
Figura 24 *Resultados a una profundidad H en el software MathCad Prime* 39
Figura 25 *Diagramas obtenidos en el software MathCad Prime* 40
Figura 26 *Cálculo de pesos y ubicación de muro en el software MathCad Prime* 41

Figura 27 *Cálculo de pesos y ubicación de muro en el software MathCad Prime* 42
Figura 28 *Verificación por deslizamiento, volteo, capacidad portante en el software MathCad Prime* 43
Figura 29 *Verificación por deslizamiento, volteo, capacidad portante en el software MathCad Prime* 44
Figura 30 *Verificación por deslizamiento, volteo, capacidad portante en el software MathCad Prime* 45
Figura 31 *Diseño en concreto armado en el software MathCad Prime* 45
Figura 32 *Diseño en concreto armado- pantalla en el software MathCad Prime* 46
Figura 33 *Diseño en concreto armado- acero en el software MathCad Prime* 47
Figura 34 *Estado de la sección del km 27+780 del Río Rímac antes del evento de inundación de abril de 2017 (enero de 2017).* 48
Figura 35 *Área inundada observada después del evento de abril de 2017 en la sección del km 27+780 del Río Rímac, empleada para la validación del modelo hidráulico*..... 49
Figura 36 *Desbordamiento de la margen izquierda en la sección transversal correspondiente al km 27+780 del Río Rímac.* 49
Figura 37 *Delimitación del límite izquierdo del cauce principal en la sección transversal del km 27+780 del Río Rímac.* 50
Figura 38 *Desbordamiento de la margen izquierda en la sección transversal correspondiente al km 27+780 del Río Rímac sin defensa ribereña* 52
Figura 39 *Tabla de resultados obtenidos sin la estructura de defensa ribereña del tramo del Río Rímac* 52
Figura 40 *Desbordamiento de la margen izquierda en la sección transversal correspondiente al km 27+780 del Río Rímac con defensa ribereña* 53
Figura 41 *Tabla de resultados obtenidos con la estructura de defensa ribereña del tramo del Río Rímac* 54

1 CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes

El río Rímac, al igual que otros cursos de agua en zonas urbanas y semiurbanas como Chosica, presenta un riesgo constante de inundaciones que pueden generar daños significativos. Por ello, la realización de un análisis hidráulico en tramos específicos resulta fundamental, ya que permite comprender el comportamiento del flujo, identificar zonas vulnerables y plantear estrategias de mitigación, tanto estructurales como no estructurales, orientadas a proteger a la población y reducir los impactos de eventos extremos.

En este contexto, Espinoza y Gómez (2023) destacaron la necesidad de desarrollar soluciones que salvaguarden las riberas fluviales mediante el diseño de estructuras capaces de contener el caudal durante crecidas. Estas propuestas se basan en el análisis de las condiciones hidrológicas y morfológicas del río, con el fin de garantizar estructuras eficientes, duraderas y compatibles con el entorno natural, contribuyendo así a la reducción del riesgo de desbordes.

Por otro lado, Mesías y Urbano (2023) analizaron diversas alternativas de protección de riberas, como gaviones, muros de contención y enrocados, evaluando sus ventajas y desventajas en función de factores como costos, impacto ambiental y desempeño hidráulico en la cuenca del río Cañete. Este tipo de análisis permite seleccionar soluciones más adecuadas y sostenibles según las características específicas del entorno.

Asimismo, Cerna y Arredondo (2023) desarrollaron una aplicación práctica mediante el diseño de defensas ribereñas con enrocado en el río Lurín, con el objetivo de controlar el caudal y evitar inundaciones en zonas pobladas. Este estudio evidencia la importancia de aplicar criterios de ingeniería hidráulica en la gestión del riesgo, adaptando las soluciones a las condiciones locales.

Finalmente, Flores y Ríos (2023) emplearon herramientas de modelación hidráulica como el software HEC-RAS para simular el comportamiento del flujo en el río Rímac ante distintos escenarios de caudal. Este enfoque permite estimar parámetros como tirante, velocidad y extensión de inundación, así como identificar zonas críticas y evaluar la capacidad del cauce. Estos análisis resultan esenciales en zonas como Chosica, donde eventos como el fenómeno El Niño incrementan significativamente el riesgo, facilitando la propuesta de medidas efectivas para la reducción de inundaciones.

1.2 Análisis del Problema

En el Perú, las inundaciones constituyen uno de los desastres naturales más recurrentes, especialmente en la región costera, debido a la alta variabilidad climática asociada al fenómeno El Niño. Este fenómeno genera precipitaciones intensas y concentradas que incrementan significativamente los caudales de los ríos, provocando desbordes, procesos de erosión en las riberas y considerables pérdidas económicas y sociales, situación que se agrava por la limitada planificación territorial y la ocupación de zonas de alto riesgo. Un caso representativo fue El Niño Costero 2017, que afectó a más de 1,9 millones de personas a nivel nacional, siendo las regiones más impactadas Piura (30%), La Libertad (25%) y Lambayeque (8%), seguidas por Áncash, Lima y Tumbes. Asimismo, este evento ocasionó severos daños en infraestructura, con más de 65 mil viviendas colapsadas o inhabitables y más de 380 mil afectadas, además de la destrucción y afectación de cientos de instituciones educativas y establecimientos de salud, evidenciando la alta vulnerabilidad del país frente a eventos hidrometeorológicos extremos. (UNICEF, 2017).

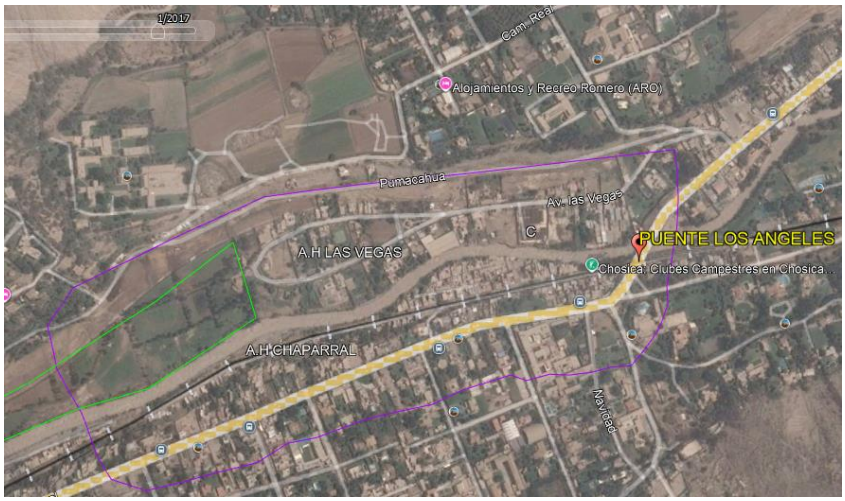
En Lima, las inundaciones están estrechamente vinculadas al comportamiento del río Rímac, principal fuente de agua de la ciudad y eje estructurante de su desarrollo urbano. Durante eventos de lluvias intensas en la cuenca alta, el incremento del caudal genera desbordes que afectan principalmente a los distritos ubicados en la parte este de la capital. La expansión urbana desordenada, la ocupación de las fajas marginales y la insuficiente capacidad de las defensas ribereñas incrementan la vulnerabilidad frente a estos eventos.

El distrito de Lurigancho-Chosica presenta una elevada exposición a inundaciones y huaicos debido a su ubicación en la cuenca media del Río Rímac y a la presencia de múltiples quebradas activas que se reactivan durante eventos extremos; en escenarios asociados al fenómeno El Niño, el incremento de los caudales y la generación de flujos de detritos intensifican los desbordes, afectando viviendas, infraestructura vial y servicios básicos, situación que se agrava por la ocupación de zonas de riesgo no mitigable y la limitada infraestructura de protección y drenaje.

A continuación, se muestra la Figura 1 del Google Earth de la zona de estudio que data de enero de 2017 previo a las inundaciones provocadas por el fenómeno El Niño, entre enero y marzo del mismo año.

Figura 1

Zona de estudio previo a inundaciones causadas por el fenómeno El Niño (2017)

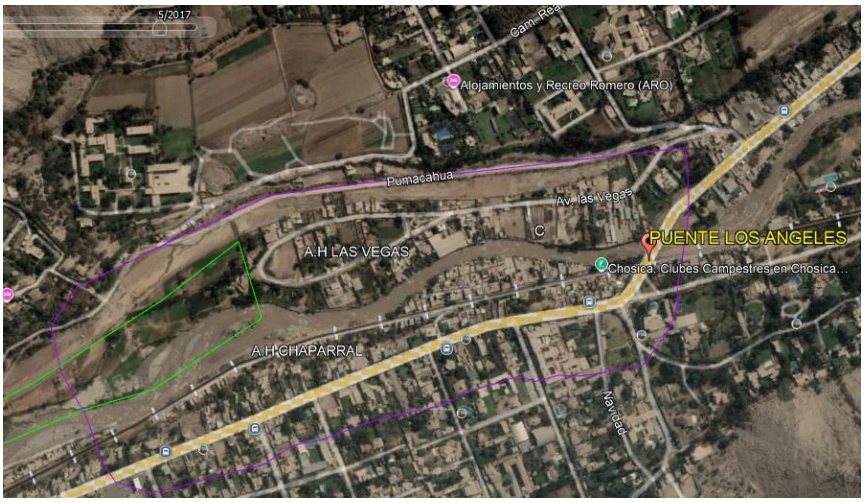


Nota. Adaptado de Google Earth

En contraste, se muestra la Figura 2 que data de mayo del 2017, donde se evidencia el desbordamiento por incremento del cauce del Río Rímac asociado a los eventos del fenómeno El Niño.

Figura 2

Zona de estudio afectada por el fenómeno El Niño (2017)



Nota. Adaptado de Google Earth

En la actualidad, según Redacción El Comercio (2025) y datos del SENAMHI (2025) el río Rímac alcanzó un caudal de 120 metros cúbicos por segundo, por lo que se emitió una alerta de umbral rojo. En este contexto, los eventos registrados han generado daños recurrentes,

resaltando la necesidad de implementar soluciones integrales como defensas ribereñas, encauzamiento de quebradas y sistemas de alerta temprana para reducir el riesgo y fortalecer la resiliencia del distrito.

Figura 3

Ribera del Río Rímac en el 2025



Nota. Adaptado de *Chosica: residentes de la ribera del río Rímac piden ayuda ante posible desborde*, por Juan Carlos Guzmán, 2025, El Comercio(https://elcomercio.pe/lima/chosica-residentes-de-la-ribera-del-rio-rimac-piden-ayuda-ante-posible-desborde-ultimas-noticia/?ref=ecr)

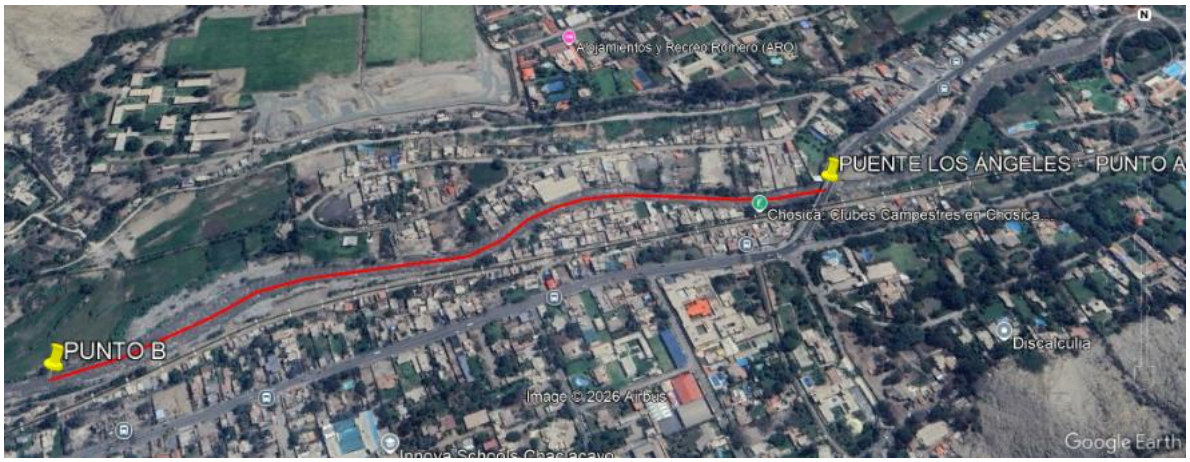
Delimitación:

Delimitación espacial

El presente estudio se desarrolla en el tramo comprendido entre las progresivas km 27+300 y km 27+940 del Río Rímac, en el distrito de Lurigancho–Chosica.

Figura 4

Tramo comprendido entre las progresivas km 27+300 y km 27+940 del Río Rímac, en el distrito de Lurigancho–Chosica.



Nota. Adaptado de Google Earth

Delimitación temporal

La investigación considera datos recopilados desde el año 2000 hasta la actualidad de la Estación Hidrológica de Chosica.

Delimitación temática

El estudio se centra en el diseño de defensas ribereñas como medida de protección de inundaciones. A continuación, se describen conceptos clave:

> Inundación: Se entiende por inundación a la ocupación temporal de áreas que, en condiciones normales, permanecen secas, debido a la acción del agua.
>
> Fenómeno El Niño: Corresponde a un evento climático caracterizado por el incremento anómalo de la temperatura de las aguas superficiales en el océano Pacífico ecuatorial. Este se origina por la interacción entre la hidrosfera y la atmósfera, generando alteraciones significativas en el equilibrio del sistema climático.

Periodo de retorno: también conocido como intervalo de recurrencia, es una medida estadística que indica la frecuencia con la que se espera que ocurra un evento específico.

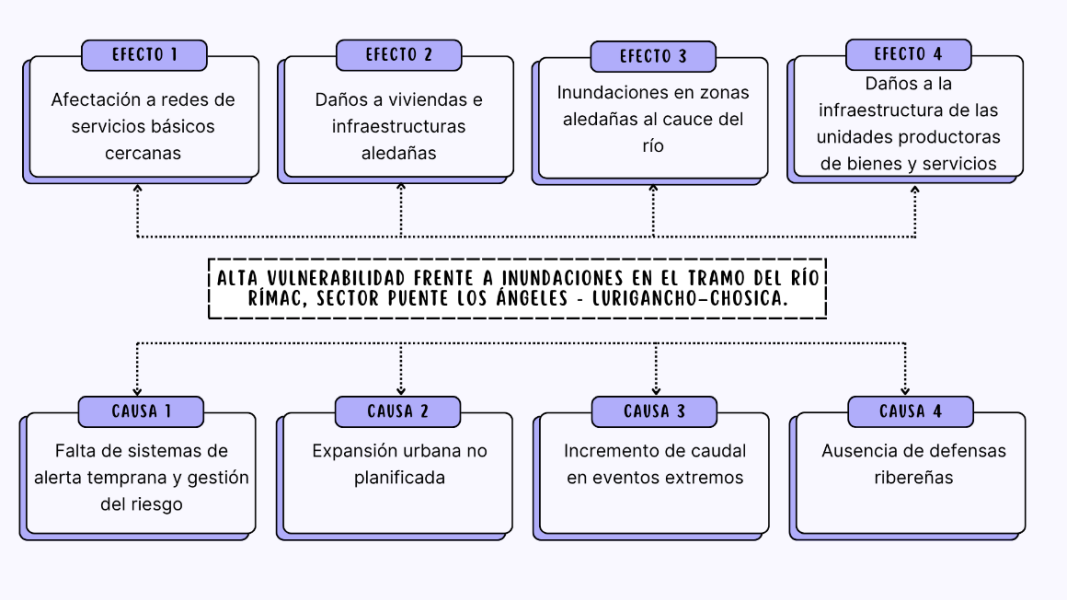
Software HEC RAS: es un software gratuito diseñado para realizar modelamiento hidráulico unidimensional (1D) y bidimensional (2D).

Defensas ribereñas: Son estructuras de ingeniería diseñadas para proteger las márgenes de los ríos frente a procesos de erosión y socavación, tales como enrocados, gaviones y muros de contención.

A continuación, en la Figura 5 se detallan las causas y efectos del problema:

Figura 5

Árbol del problema (Causas y efectos)



1.3 Estado del Arte

Diversos estudios analizaron el comportamiento de las defensas ribereñas frente a eventos hidrológicos extremos y su interacción con las condiciones hidráulicas del entorno. En la cuenca del Río Santa Eulalia, se evaluaron escenarios de inundación a partir de registros históricos de precipitación, considerando eventos extremos asociados al cambio climático mediante los softwares HEC-HMS y HEC-RAS. Los resultados evidencian que, para

periodos de retorno elevados, los niveles de agua pueden superar la capacidad de las defensas existentes, generando riesgos de inundación en zonas pobladas (Pérez et al., 2025).

Por otro lado, en el diseño de estructuras rígidas como muros de contención en voladizo, se desarrollaron estudios comparativos entre normativas internacionales como AASHTO y el Eurocódigo, aplicadas a la defensa ribereña del río Tumbes. Estas normativas presentan diferencias en el comportamiento estructural, niveles de seguridad y costos, lo que influye en la eficiencia del diseño. En este caso, el Eurocódigo muestra resultados más eficientes, recomendándose su uso en zonas de alta sismicidad por su mayor rigurosidad en seguridad estructural (Mendoza et al., 2025).

Adicionalmente, ante el cambio climático, se impulsaron enfoques basados en la naturaleza para mejorar la estabilidad y protección de las riberas. Un estudio en el río Keelung (Taiwán) evaluó soluciones como gaviones y tierra reforzada mediante imágenes satelitales y modelación hidráulica con HEC-RAS. Los resultados indican que ambas alternativas reducen la profundidad y velocidad del flujo, favoreciendo la estabilidad de las riberas, siendo los gaviones más adecuados en zonas inundables y la tierra reforzada en áreas con mayor erosión (Chang et al., 2024).

En este contexto, la modelación hidráulica con HEC-RAS se ha consolidado como una herramienta fundamental para analizar el comportamiento fluvial y evaluar el riesgo de inundaciones. Estudios como el del río Gajahwong, en Indonesia, emplearon modelos unidimensionales y la distribución de Gumbel para estimar caudales máximos, evidenciando el aumento del área inundada con mayores periodos de retorno y la necesidad de implementar medidas como terraplenes, complementadas con acciones no estructurales (Sari et al., 2025).

Finalmente, las investigaciones recientes desarrollaron los análisis bidimensionales con HEC-RAS 2D en cuencas sin estaciones de aforo, integrando datos climáticos e hidrológicos. Estos estudios estiman profundidades de hasta 2,78 m y velocidades cercanas a 3,02 m/s, además de inundaciones que pueden durar hasta 8 horas. Los resultados muestran que la combinación de lluvias intensas y expansión urbana incrementa el riesgo, resaltando la necesidad de fortalecer la planificación territorial (Al-Hussein et al., 2026).

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Diseñar una defensa ribereña para evitar inundaciones en el tramo comprendido entre las progresivas km 27+300 y km 27+940 del Río Rímac, en el distrito de Lurigancho–Chosica, mediante el análisis hidrológico e hidráulico.

1.4.2 Específicos

- Determinar los caudales de diseño en el tramo indicado analizando la información hidrológica del Río Rímac.
- Modelamiento hidráulico del tramo delimitado del cauce del Río Rímac.
- Diseñar una defensa ribereña en función de los resultados hidrológicos e hidráulicos mediante software de modelación hidráulica.

1.5 Indicadores de logro del Trabajo de Suficiencia Profesional

Tabla 1

Indicadores de logro del Trabajo de Suficiencia Profesional

Indicador	Unidad de medida	Descripción
Área hidráulica	m2	Extensión del área afectada por inundación mediante el software HEC-RAS
Tirante hidráulico	m	Determinación de profundidad del flujo de agua
Velocidad de flujo	m/s	Determinación de la velocidad de flujo para el periodo de retorno establecido
Ancho superficial de flujo	m	Determina la extensión lateral ocupada por el flujo y constituye un indicador de la magnitud de la inundación y del grado de confinamiento hidráulico del cauce

1.6 Justificación

La presente investigación se justifica en la alta vulnerabilidad del distrito de Lurigancho-Chosica frente a inundaciones ocasionadas por las crecidas del Río Rímac, las cuales han generado pérdidas humanas y materiales. En este contexto, Camacho y De la Cruz (2021) evidencian que sectores como el asentamiento humano Clorinda Málaga han sido afectados recurrentemente, siendo insuficientes las medidas adoptadas por su carácter temporal. Su estudio resalta la necesidad de implementar soluciones estructurales viables, evaluadas mediante análisis de riesgo, estudios hidrológicos e hidráulicos y modelación, considerando criterios de factibilidad y costo beneficio.

Desde el punto de vista metodológico, el uso de modelos hidráulicos es fundamental para comprender la dinámica de inundaciones y delimitar zonas de riesgo. Castro y Alcántara (2021) señalan que, mediante herramientas como HEC-RAS, modelos digitales de elevación y sistemas de información geográfica, es posible simular escenarios para distintos periodos de retorno (30, 50 y 100 años), permitiendo identificar áreas críticas con altos niveles de inundación y fortalecer la planificación del riesgo.

En este sentido, la investigación adquiere relevancia al aplicar herramientas de modelamiento hidráulico para proponer soluciones técnicas orientadas a reducir el riesgo y mejorar la resiliencia en zonas vulnerables.

1.7 Limitaciones

Una de las principales limitaciones del presente estudio está relacionada con la información batimétrica del Río Rímac, ya que no se realizarán levantamientos batimétricos directos en el tramo de análisis. Por lo que, se empleará información proveniente de estudios previos realizados en la zona de estudio y fuentes secundarias, lo cual puede generar incertidumbre en la representación de la geometría del cauce dentro del modelo hidráulico. Sin embargo, el modelamiento planteado en HECRAS, realiza una adecuada aproximación de las zonas de inundación, logrando caracterizar el proceso de inundación en la zona del proyecto.

Otra limitación importante corresponde a la estimación del coeficiente de rugosidad hidráulica del cauce y de las zonas adyacentes. Para el desarrollo del modelamiento, se utilizarán valores de rugosidad basados en bibliografía y referencias estándar.

2 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Conceptual

2.1.1 Periodo de retorno

El período de retorno (T) se define como el intervalo promedio de tiempo, expresado en años, en el que un evento hidrológico extremo, como el caudal máximo de una creciente, puede ser igualado o superado al menos una vez. Este concepto tiene un carácter probabilístico, ya que el evento puede ocurrir en cualquier momento con una determinada probabilidad anual de excedencia, por lo que no sigue una periodicidad exacta. Su aplicación permite estimar la magnitud de eventos extremos y establecer el nivel de protección requerido frente a inundaciones.

En este contexto, la selección del período de retorno se relaciona con el riesgo de falla admisible y la vida útil de la estructura, permitiendo definir criterios de diseño acordes con el nivel de seguridad esperado para las obras hidráulicas.

De acuerdo con los valores recomendados para obras de drenaje, el riesgo admisible varía según el tipo de estructura. En puentes y defensas ribereñas se admite aproximadamente un 25% de riesgo; en alcantarillas de quebradas importantes, un 30%; en alcantarillas menores, un 35%; y en drenaje de plataforma y subdrenes, hasta un 40%. Estos parámetros orientan la selección del período de retorno más adecuado, garantizando un equilibrio entre seguridad hidráulica, funcionalidad y costos de diseño (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

2.1.2 Modelamiento hidráulico

El modelamiento hidráulico consiste en la simulación del comportamiento del flujo de agua en ríos o canales mediante modelos matemáticos que resuelven ecuaciones de conservación de masa y energía. Para ello, se emplean herramientas como HEC-RAS, que permiten analizar perfiles de flujo, niveles de agua y zonas inundables bajo diferentes condiciones (U.S. Army Corps of Engineers, 2023).

2.1.3 Tirante hidráulico

El tirante hidráulico es la profundidad del flujo de agua medida desde el fondo del cauce hasta la superficie libre, el cual permite evaluar la capacidad hidráulica del río y determinar posibles desbordamientos (U.S. Army Corps of Engineers, 2023).

2.1.4 Velocidad del flujo

La velocidad del flujo es la rapidez con la que el agua se desplaza en el cauce, generalmente expresada en m/s. Este parámetro es importante para evaluar procesos de erosión, transporte de sedimentos y estabilidad de estructuras hidráulicas. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

2.1.5 Defensas ribereñas

Las defensas ribereñas son estructuras hidráulicas diseñadas para proteger las márgenes de los ríos frente a procesos de erosión y desbordamiento. Estas pueden incluir enrocados, gaviones y muros de contención, cuya selección depende de las condiciones hidráulicas y geotécnicas del entorno (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

2.1.6 Muro de contención

Los muros de contención son estructuras fundamentales debido a que permiten estabilizar terrenos y prevenir deslizamientos en zonas con desniveles o condiciones geotécnicas desfavorables. Dependiendo de su función y configuración estructural, existen diversos tipos de muros de contención; entre ellos destacan los muros de gravedad, los cuales resisten los empujes laterales del terreno principalmente mediante su propio peso. Estas estructuras suelen construirse con materiales como concreto, piedra o gaviones, siendo estos últimos una alternativa rentable y ambientalmente favorable por su capacidad de drenaje y adaptación al terreno. Asimismo, los muros de gravedad presentan la ventaja de no requerir cimentaciones profundas, por lo que resultan adecuados para alturas moderadas y terrenos con buena capacidad portante, contribuyendo a la estabilidad y protección de las obras civiles. (Maccaferi, s.f.)

2.2 Estándares, Marcos de trabajo y buenas prácticas

En la actualidad, los estudios hidrológicos e hidráulicos orientados a la gestión del riesgo de inundaciones se desarrollan bajo estándares técnicos que integran modelación numérica, análisis estadístico y herramientas geoespaciales. En este contexto, el uso del software HEC-RAS continúa siendo una práctica ampliamente aceptada para la simulación del comportamiento hidráulico de ríos, permitiendo estimar niveles de agua, velocidades de flujo y delimitación de zonas inundables (U.S. Army Corps of Engineers, 2023).

A nivel hidrológico, las buenas prácticas recomiendan la aplicación de modelos probabilísticos para el análisis de caudales extremos, considerando distribuciones

estadísticas como Gumbel o Log-Pearson tipo III, así como la validación de resultados mediante series históricas confiables (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011). Estas metodologías permiten estimar caudales de diseño asociados a distintos periodos de retorno, fundamentales para el dimensionamiento de obras hidráulicas.

Asimismo, el uso de Sistemas de Información Geográfica mediante herramientas como QGIS facilita el procesamiento de modelos digitales de elevación (DEM), la generación de mapas de inundación y el análisis espacial de resultados, contribuyendo a una mejor interpretación del comportamiento del cauce. (U.S. Army Corps of Engineers, 2023)

Finalmente, las buenas prácticas actuales incorporan criterios de sostenibilidad y adaptación al cambio climático, promoviendo el análisis de múltiples escenarios hidráulicos y la implementación de soluciones resilientes, como defensas ribereñas que reduzcan la energía del flujo y minimicen impactos ambientales.

2.3 Bases Legales y Marco Normativo

El presente estudio se desarrolla considerando el marco normativo vigente en el Perú relacionado con la gestión de recursos hídricos, la reducción del riesgo de desastres y el diseño de infraestructura hidráulica. En ese sentido, se toma como referencia la Ley de Recursos Hídricos, Ley N.° 29338, que regula el uso sostenible del agua y la gestión de cuencas hidrográficas, así como las disposiciones emitidas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), entidad encargada de la administración de los recursos hídricos.

Asimismo, se considera la Ley N.° 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), y los lineamientos técnicos establecidos por CENEPRED, orientados a la prevención y reducción del riesgo de inundaciones. También se incorporan criterios del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) en lo referente al diseño de obras de protección ribereña.

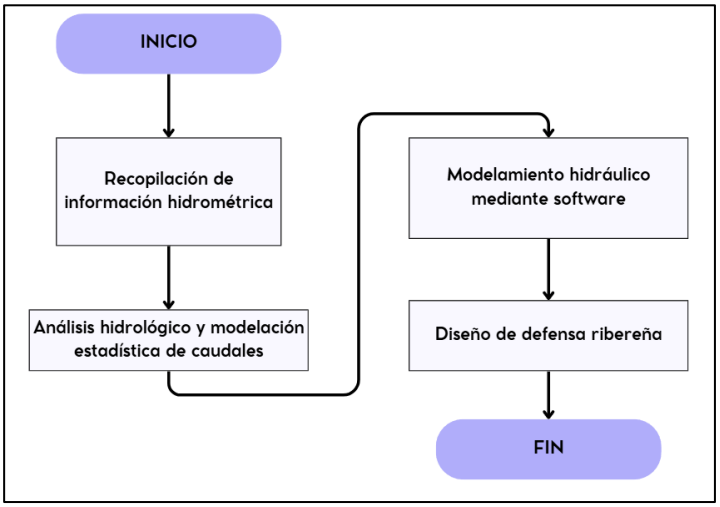
3 CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Diseño de la Solución

La metodología de la presente investigación se desarrolla mediante una secuencia de fases orientadas al análisis hidrológico e hidráulico del río Rímac, con el propósito de evaluar el comportamiento del cauce frente a eventos extremos y plantear una propuesta de defensa ribereña técnicamente viable. Para ello, se emplean registros hidrométricos históricos, análisis estadísticos de caudales y herramientas de modelación hidráulica que permiten simular las condiciones actuales del río y analizar el efecto de la implementación de una estructura de protección. Asimismo, el desarrollo metodológico integra criterios de ingeniería hidráulica y estructural para garantizar resultados confiables en la evaluación de la propuesta planteada.

Figura 6

Diseño de la solución por fases



Fase 1: Recopilación de información hidrométrica

Se obtienen datos históricos de caudales del Río Rímac de la estación hidrométrica de Chosica (SENAMHI) cuyas coordenadas geográficas son 11° 55’ 48.5” de latitud sur y 76°41’23.8” de longitud oeste, correspondientes a un periodo de 30 años, lo que permite contar con una base representativa para el análisis de eventos extremos.

Fase 2: Análisis hidrológico y modelación estadística de caudales

Se modela el caudal como variable aleatoria continua, evaluando la distribución probabilística y determinación del periodo de retorno para 100 años.

Fase 3: Modelamiento hidráulico mediante software

Se desarrolla la simulación hidráulica del tramo de estudio mediante el software HEC-RAS, incorporando la geometría del cauce, parámetros hidráulicos y condiciones de flujo.

Fase 4: Diseño de defensa ribereña

Se efectúa el diseño de la defensa ribereña utilizando el software Mathcad, considerando criterios de estabilidad, resistencia estructural y condiciones hidráulicas del tramo analizado, a fin de garantizar la protección de la ribera frente a procesos de inundación y socavación.

3.2 Desarrollo de la Solución

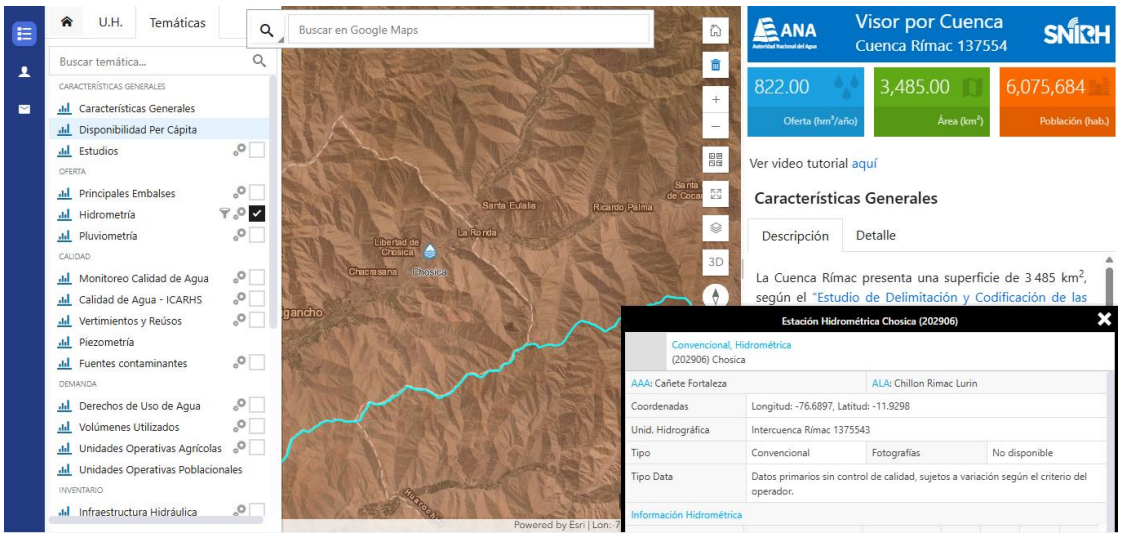
3.2.1 Recopilación de información hidrométrica

Previo al modelado el software HEC-RAS, se calculó el periodo de retorno. Para ello, se recolectó data de los últimos 30 años de la Estación Hidrométrica Chosica que pertenece a la red de monitoreo hidrológico del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

La data se ubica la página web del ANA, como se muestra en la Figura 7 adjunta:

Figura 7

Obtención de data histórica de caudales registrados en la Estación Hidrométrica de Chosica



La descarga de esta información permite identificar los caudales registrados como se evidencia en la siguiente imagen en la estación de Chosica correspondientes al cauce del Río Rímac en los últimos 30 años que es el periodo de interés para la presente investigación.

Figura 8

Data en bruto obtenida del ANA de los caudales registrados en los últimos 30 años del cauce del Río Rímac.

Estación:	Chosica (Código: 202906)
Variable:	Caudal Promedio Diario (m³/s)
Operador:	Servicio Nacional Meteorología E Hidrología
WGS 84 Geográficas:	ud: -11.929828 / Longitud: -76.689728 / Altitud(msnm)
Tipo:	Convencional / Hidrométrica
Ámbito Político:	Dpto: Lima / Prov: Lima / Dist.: Lurigancho
mbito Administrativo:	AAA: Cañete Fortaleza / ALA: Chillon Rimac Lurin
Unidad Hidrográfica:	Cuenca Rímac
Nombre de la Fuente:	Río: Rímac

Los datos descargados corresponden a información primaria sin control de calidad, la misma que está sujeta a variación según el criterio del operador de la estación.

FECHA	HORA	VALOR (m³/s)
30/04/2026	00:00	41.0800
29/04/2026	00:00	44.6700
28/04/2026	00:00	44.3700
27/04/2026	00:00	44.6700
26/04/2026	00:00	44.3700
25/04/2026	00:00	43.1700
24/04/2026	00:00	44.0700
23/04/2026	00:00	38.3100
22/04/2026	00:00	42.8500
21/04/2026	00:00	41.6800
20/04/2026	00:00	49.0100
19/04/2026	00:00	51.7000
18/04/2026	00:00	51.5500
17/04/2026	00:00	49.9000
02/02/2026	00:00	64.9000
01/02/2026	00:00	43.3100
31/01/2026	00:00	30.3000
30/01/2026	00:00	28.6600
29/01/2026	00:00	26.7100
28/01/2026	00:00	25.3700
27/01/2026	00:00	28.2100
26/01/2026	00:00	28.9600
25/01/2026	00:00	33.4600

3.2.2 Análisis hidrológico y modelación estadística de caudales

En la Tabla 2 se filtró la data obtenida del ANA para obtener los caudales máximos por año.

Tabla 2

Caudales máximos por año (m3/s) obtenidos del ANA

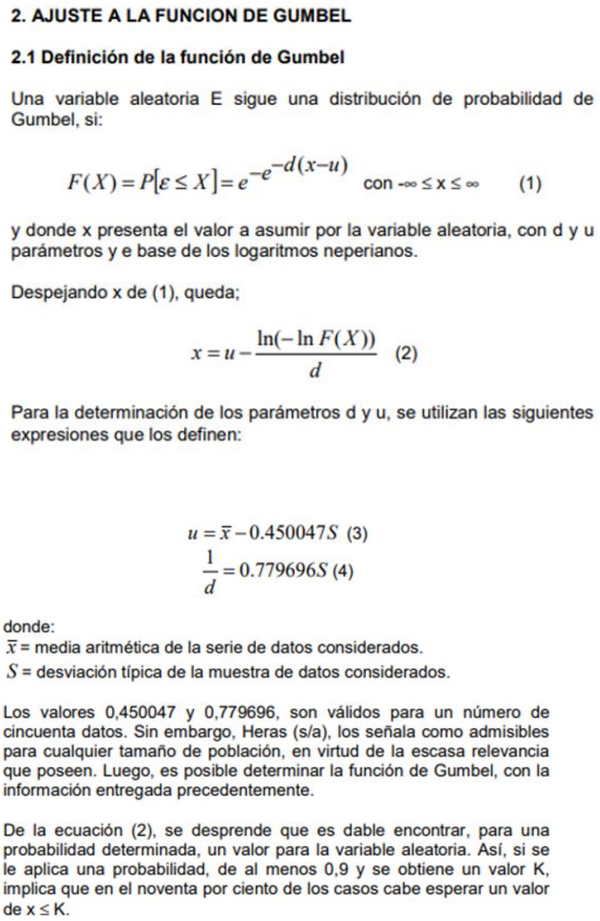
AÑO	CAUDAL MÁXIMO (m3/s)
1996	108.9300
1997	77.3700
1998	120.6100
1999	125.4900

2000	108.5800
2001	108.6500
2002	76.0802
2003	128.6075
2004	77.9458
2005	68.6720
2006	91.6073
2007	107.4747
2008	83.2408
2009	118.7861
2010	84.9600
2011	83.4000
2012	104.6080
2013	131.0000
2014	96.9930
2015	92.3860
2016	79.7000
2017	126.5029
2018	66.1048
2019	62.6018
2020	63.3000
2021	88.8000
2022	70.7000
2023	86.9000
2024	62.7300
2025	29.4100

Luego se utilizó la función de Gumbel para obtener los caudales de los periodos de retorno. Se adjunta la ecuación matemática en la Figura 9.

Figura 9

Ajuste a la función de Gumbel para obtener los caudales de acuerdo con el periodo de retorno



2. AJUSTE A LA FUNCION DE GUMBEL

2.1 Definición de la función de Gumbel

Una variable aleatoria E sigue una distribución de probabilidad de Gumbel, si:

$$F(X) = P[\varepsilon \leq X] = e^{-e^{-d(x-u)}} \quad \text{con } -\infty \leq x \leq \infty \qquad (1)$$

y donde x presenta el valor a asumir por la variable aleatoria, con d y u parámetros y e base de los logaritmos neperianos.

Despejando x de (1), queda;

$$x = u - \frac{\ln(-\ln F(X))}{d} \quad (2)$$

Para la determinación de los parámetros d y u, se utilizan las siguientes expresiones que los definen:

$$u = \bar{x} - 0.450047S \quad (3)$$

$$\frac{1}{d} = 0.779696S \quad (4)$$

donde:
$\bar{x}$ = media aritmética de la serie de datos considerados.
S = desviación típica de la muestra de datos considerados.

Los valores 0,450047 y 0,779696, son válidos para un número de cincuenta datos. Sin embargo, Heras (s/a), los señala como admisibles para cualquier tamaño de población, en virtud de la escasa relevancia que poseen. Luego, es posible determinar la función de Gumbel, con la información entregada precedentemente.

De la ecuación (2), se desprende que es dable encontrar, para una probabilidad determinada, un valor para la variable aleatoria. Así, si se le aplica una probabilidad, de al menos 0,9 y se obtiene un valor K, implica que en el noventa por ciento de los casos cabe esperar un valor de $x \leq K$.

Nota. La imagen muestra cómo obtener el periodo de retorno a través de la Ley teórica de probabilidad de Gumbel. Adaptado de “Leyes de distribución de procesos hidrológicos”, por Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos (https://www.cuhs.utalca.cl/ex-ctha/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/a_modulo_leyes.pdf).

Del procedimiento anterior, se obtuvieron los siguientes resultados en la Tabla 3 y Tabla 4:

Tabla 3

Variables obtenidas de la función de Gumbel

Variables de Gumbel	
x	91.0714
s	24.3034802
u	80.133655
d	0.05277232

Tabla 4

Caudales obtenidos para 5, 10, 20, 25, 50, 100 y 500 años

Años	Q (m3/s)
5	108.556507
10	122.7766
20	136.416854
25	140.743724
50	154.072764
100	**167.303384**
500	197.877327

Asimismo, la selección de los periodos de retorno para el presente estudio se realizó en concordancia con los lineamientos técnicos y normativos vigentes en el Perú, considerando criterios de seguridad hidráulica, nivel de riesgo y las características del área de estudio.

En ese sentido, la Autoridad Nacional del Agua (ANA), como ente rector en la gestión de los recursos hídricos, estableció que el diseño de obras hidráulicas de protección debía considerar eventos hidrológicos representativos asociados a periodos de retorno no menores a 100 años, especialmente en zonas con alta exposición a inundaciones.

Asimismo, en el marco del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), las metodologías promovidas por el CENEPRED recomendaron evaluar

múltiples escenarios de peligro, incorporando eventos frecuentes, intermedios y extremos, con la finalidad de estimar adecuadamente el nivel de riesgo y la vulnerabilidad del territorio.

Por su parte, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), en proyectos de infraestructura hidráulica y urbana, adoptó comúnmente periodos de retorno de 50 a 100 años para diseño, así como periodos mayores (hasta 500 años) para la verificación de condiciones extremas y el análisis de seguridad.

En función de lo expuesto previamente y considerando que el área de estudio se encontraba ubicada en el distrito de Lurigancho–Chosica, una zona urbana con antecedentes recurrentes de inundaciones y desbordes fluviales, se adoptó un periodo de retorno de 100 años para el desarrollo del análisis hidrológico e hidráulico. En consecuencia, el caudal de diseño empleado en el modelamiento mediante el software HEC-RAS correspondió a 167.30 m³/s.

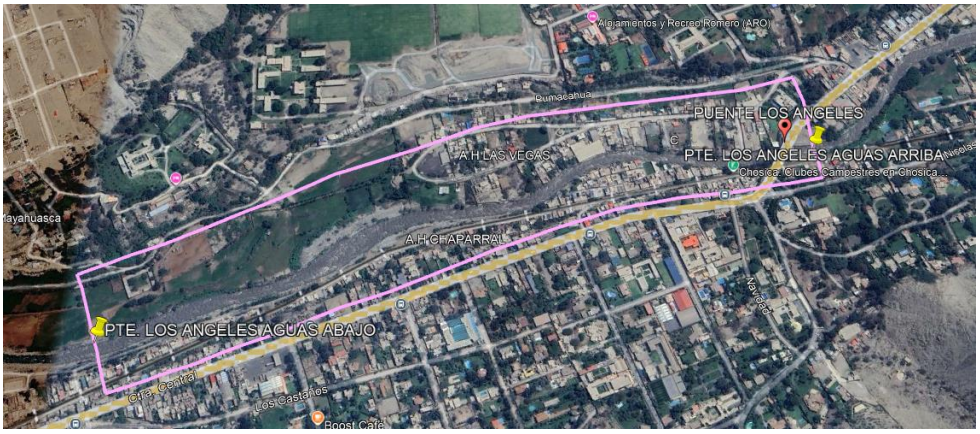
Asimismo, se consideró como escenario de validación el caudal registrado durante el año 2017, asociado al fenómeno El Niño Costero, equivalente a 126.50 m³/s, debido a los significativos impactos ocasionados por dicho evento hidrológico en la zona de estudio.

3.2.3 Modelamiento hidráulico mediante el software HEC RAS

Para el modelamiento hidráulico, se delimitó la cuenca a partir de un archivo DEM. Para ello, a través de Google Earth se delimitó el área de estudio haciendo uso de la herramienta polígono, como se muestra en la Figura 10.

Figura 10

Zona de estudio delimitada en Google Earth

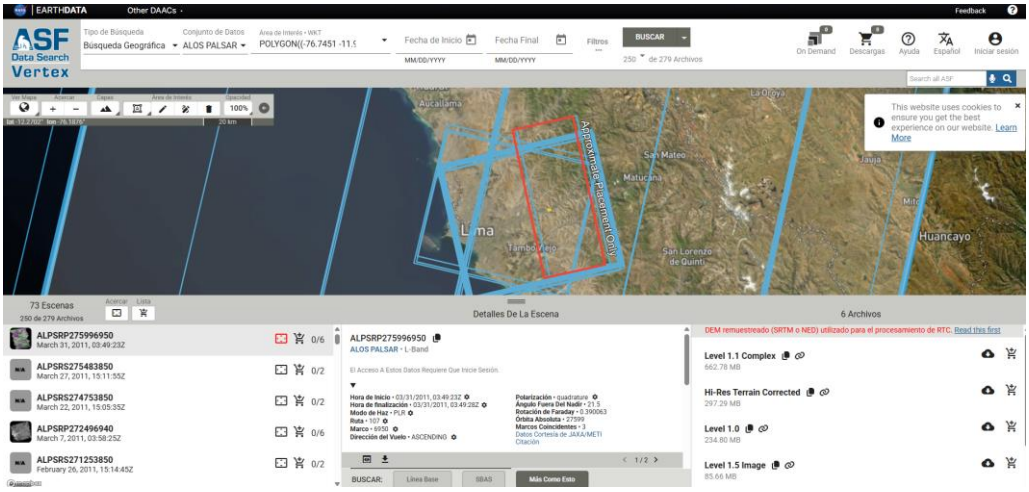


Nota. Adaptado de Google Earth

Una vez delimitada el área de estudio en Google Earth, se exportó el archivo correspondiente y se cargó en la plataforma ALOS PALSAR para la obtención del Modelo Digital de Elevación (DEM). Luego, se seleccionó el archivo que cubre la totalidad del área de estudio y presenta la mayor extensión espacial, como se observa en la Figura 11.

Figura 11

Superficie DEM

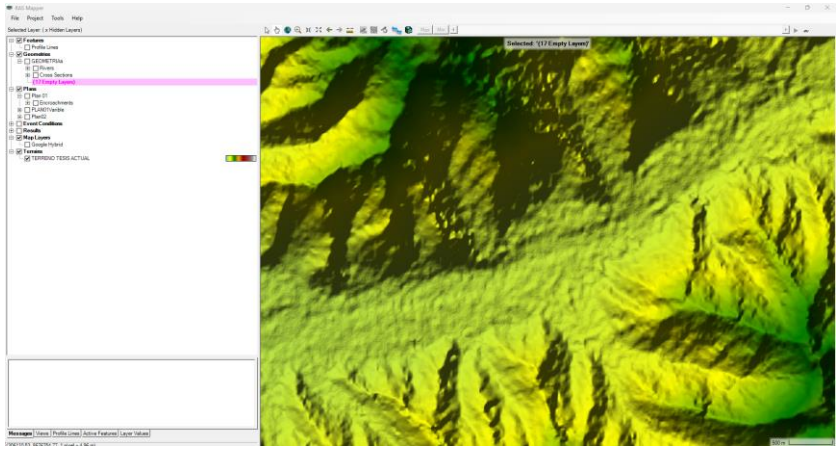


Nota. Extraído de EARTHDATA

Posteriormente, el archivo DEM obtenido fue importado al software HEC-RAS, con la finalidad de generar la superficie topográfica que servirá como base para el modelamiento hidráulico del tramo en estudio. A continuación, la Figura 12 muestra que se ingresó el archivo DEM (Modelo Digital de Elevación) en el software HEC-RAS.

Figura 12

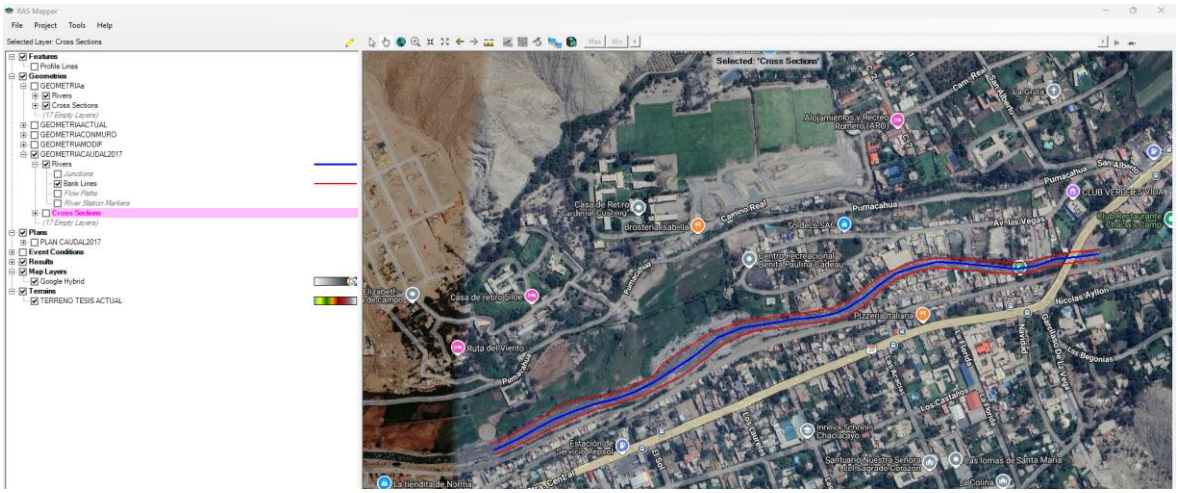
Superficie del área de estudio delimitada en HEC-RAS



A continuación, se procedió a la definición del eje principal del Río Rímac mediante la herramienta River Reach del software HEC-RAS. Asimismo, se delimitaron las márgenes izquierda y derecha del cauce utilizando la herramienta Bank Lines, lo que permitió diferenciar el canal principal de las zonas de márgenes, como se muestra en la Figura 13.

Figura 13

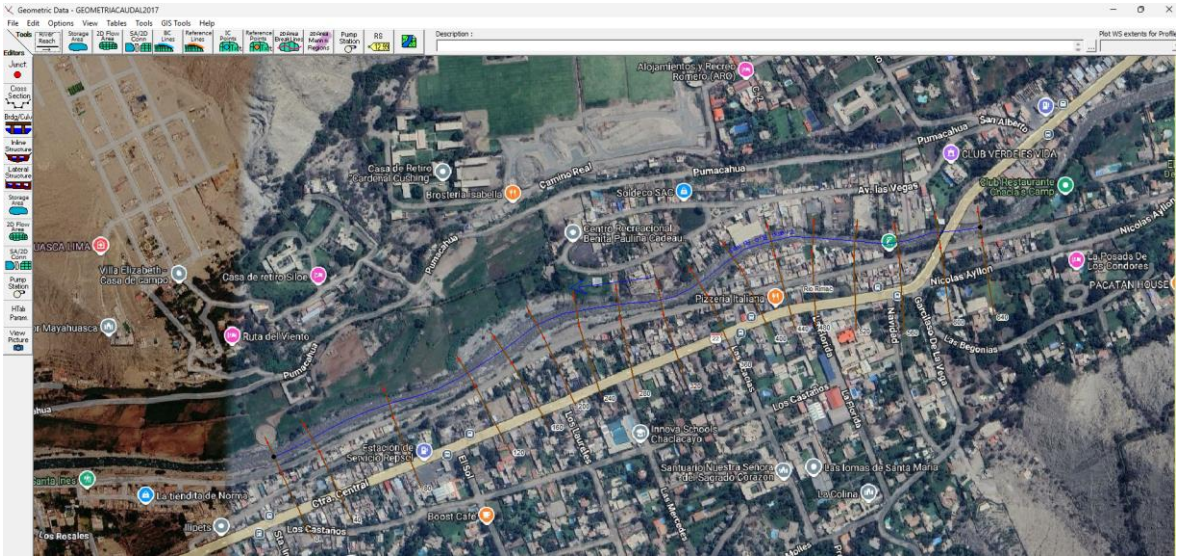
Trazado del eje y definición de márgenes del Río Rímac en HEC-RAS



Posteriormente, se generaron las secciones transversales a lo largo del tramo de estudio mediante la herramienta Cross Sections, las cuales permiten representar la geometría del cauce y constituyen un elemento fundamental para el análisis hidráulico del flujo. En la Figura 14, se observan las secciones transversales del tramo de estudio.

Figura 14

Secciones transversales del tramo de estudio del Río Rímac en la geometría del software



Para la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning (n), se realizó una inspección visual del tramo de estudio mediante el análisis de fotografías de campo de la ribera del río Rímac.

Figura 15

Ribera del tramo de estudio del Río Rímac



En la Figura 15 se observa que el cauce está conformado principalmente por material granular de tamaño grueso, presencia de rocas dispersas y cobertura vegetal tanto en el fondo como en los márgenes del río. Estas características incrementan la resistencia al flujo y, por consiguiente, la rugosidad hidráulica del cauce.

Figura 16

Valores del coeficiente de rugosidad n

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n_0	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n_2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n_3	0.000
	Menor		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	m_5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

De la figura anterior según Cowan, el coeficiente de rugosidad "n" depende de 6 factores, cuya formula es la siguiente:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

Donde:

- n0: Valor básico correspondiente al material que compone el perímetro mojado en un canal recto
- n1: Corrección por irregularidades en la superficie de la sección mojada
- n2: Corrección por variaciones en la forma y tamaño de la sección transversal
- n3: Corrección por obstrucciones
- n4: Factor de corrección por vegetación y condiciones de flujo
- m5: Corrección por cantidad de meandros

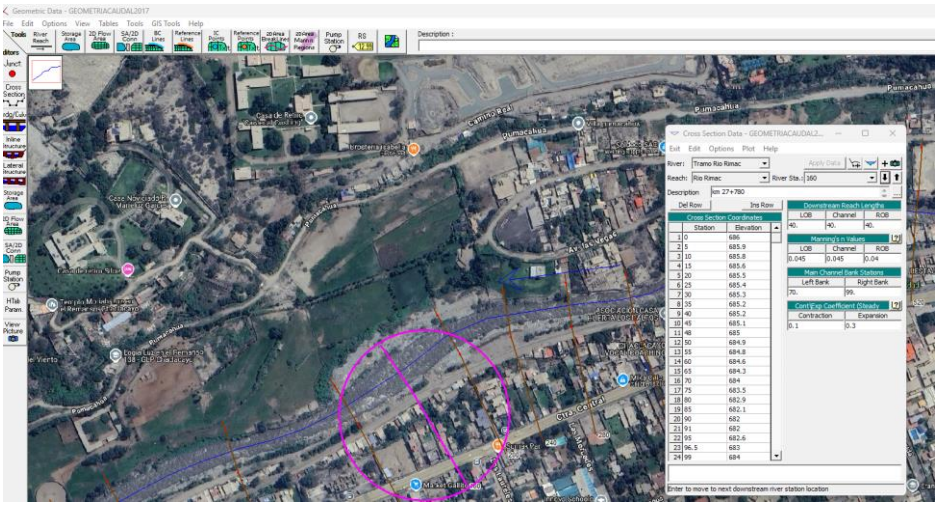
Para la presente investigación se adopto a partir de las condiciones geomorfológicas observadas en el área de estudio los siguientes valores:

- Margen izquierdo: n0=0.020, n1=0.000, n2=0.005, n3=0.015, n4=0.005 y m5=1.0
- Cauce principal: n0=0.028, n1=0.000, n2=0.005, n3=0.012, n4=0.000 y m5=1.0
- Margen derecho: n0=0.020, n1=0.000, n2=0.005, n3=0.010, n4=0.005 y m5=1.0

Además, se ingresó la sección transversal del tramo de estudio del Río Rímac, tomando como referencia a secciones generadas en la zona de estudio en otras investigaciones y escaladas a la topografía del terreno.

Figura 17

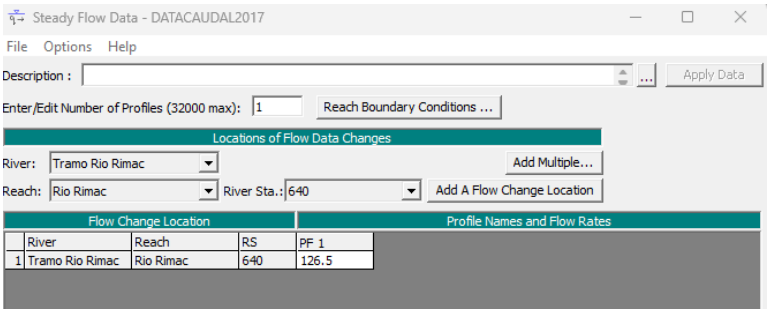
Sección transversal del tramo km 27+780 del Río Rímac



Posteriormente, se ingresó el caudal correspondiente al caudal del año 2017, año de ocurrencia del fenómeno El Niño, equivalente a 126.5 m³/s, el cual fue utilizado como condición de flujo para la simulación hidráulica en HEC RAS, como se observa en la Figura 17.

Figura 18

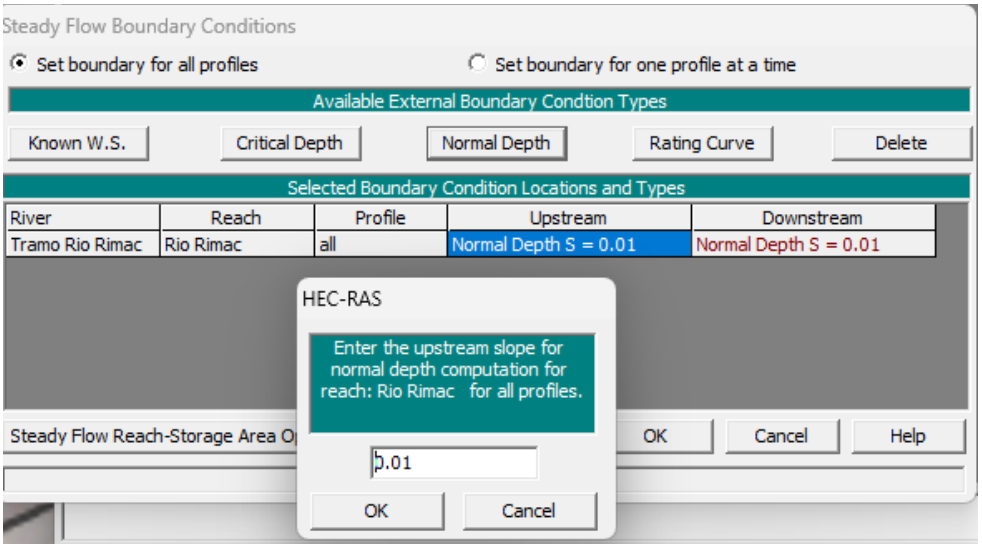
Caudal del año 2017 ingresado para la simulación hidráulica



Además, se establecieron las condiciones de borde en los extremos del tramo modelado, adoptándose una pendiente de energía del 1 % (0.01), debido a las características topográficas y a la configuración del terreno en la zona de estudio.

Figura 19

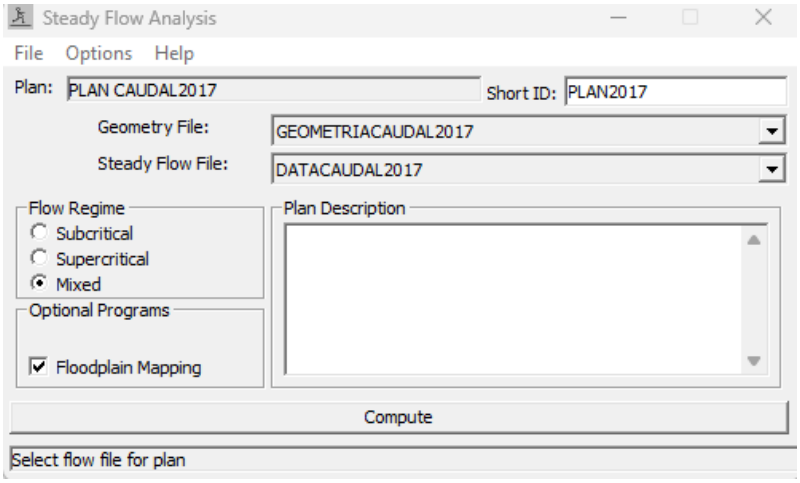
Condiciones de borde en los extremos del tramo de estudio



Finalmente, se obtuvieron los resultados correspondientes al escenario del año 2017 mediante la utilización de la herramienta Steady Flow Analysis del software HEC-RAS, la cual permitió evaluar el comportamiento hidráulico del río frente a eventos de avenida, así como analizar la capacidad hidráulica del cauce para conducir el caudal considerado en la simulación.

Figura 20

Geometría y caudal del año 2017 ingresado para la simulación hidráulica



3.2.4 Diseño de defensa ribereña en el software MathCad Prime

A continuación, se anexan las imágenes generadas a partir de los cálculos realizados en el software Mathcad para el diseño del muro de contención. Se adopta una altura h=4.5m del muro de contención desde el fondo del cimiento hasta la corona. Este valor ha sido adoptado en función a recomendaciones de propuestas de sistemas de defensas ribereñas en la zona de interés como es el caso del "Estudio a nivel de perfil del proyecto: Instalación los servicios de protección del Río Rímac, distritos de Lurigancho, Chaclacayo y Ate, provincia de Lima, departamento de Lima".

Figura 21

Diseño de muro de contención en el software MathCad Prime

DISEÑO DE MURO DE CONTENCIÓN H = 4.50 m

DIMENSIONES ESTABLECIDAS

$b := 0.4\ m$ Longitud de borde libre

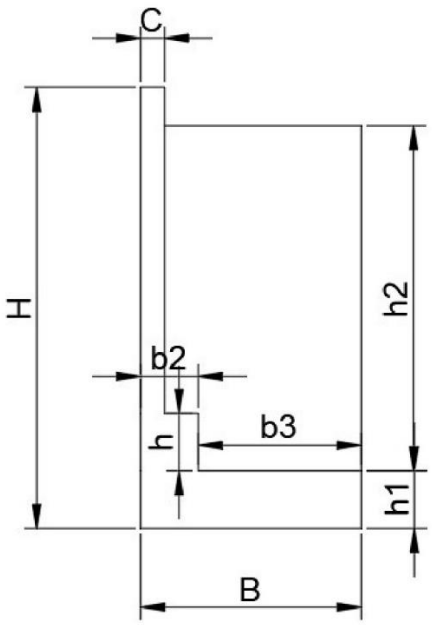
$H := 4.50\ m$ Altura del muro

$0.2 \le C \le 0.4$

$C := 0.25\ m$ Ancho de pantalla

DISEÑO ESTABLECIDO PARA EL RANGO DE ALTURAS
desde : H1=4.50 m
hasta : H2=4.99 m

PRE DIMENSIONAMIENTO



Ancho de zapata

$B_{z1} := 0.4\ H = 1.8\ m$

$B_{z2} := 0.7\ H = 3.15\ m$

$usar \quad B := 2.3\ m$

Peralte de Zapata

$H_{z1} := \frac{H}{12} + 0.1\ m = 0.48\ m$

$H_{z2} := \frac{H}{10} + 0.1\ m = 0.55\ m$

Se optara por criterio:

$usar \quad h_1 := 0.6\ m$

Calculo de b2

$usar \quad b_2 := 0.6\ m$

Calculo de h

$usar \quad h := 0.7\ m$

Talón

$b_3 := B - b_2 = 1.7\ m$

Figura 22

Ingreso de datos en el software MathCad Prime

I. INGRESO DE DATOS

1.1. Propiedades de los Materiales

Variables *Resultados*

$\gamma_s := 2.16 \frac{tonnef}{m^3}$ Peso especifico material de relleno

$\gamma_c := 2.40 \frac{tonnef}{m^3}$ Peso especifico material de muro de contención

$\phi := 36\ deg$ Angulo de fricción interna material de relleno

$\mu := 0.60$ Coeficiente de fricción zapata - suelo de fundación

$\sigma_t := 7.79 \frac{kgf}{cm^2}$ Capacidad portante del suelo de fundación

1.2. Geometría de Muro

$H = 4.5\ m$ $b_1 := 0\ m$ $b_3 = 1.7\ m$

$t_1 := 0\ m$ $t_2 := C = 0.25\ m$ $t_3 := b_2 - t_1 - t_2 = 0.35\ m$

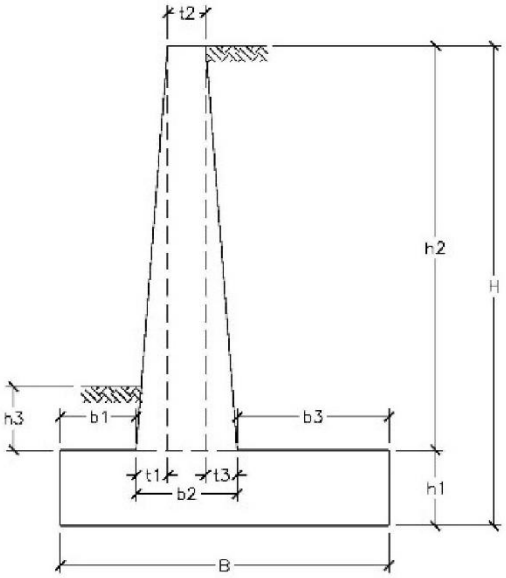
$D := 1.5\ m$ $W := 1.00\ m$

$h_1 = 0.6\ m$ $h_3 := D - h_1 = 0.9\ m$

$b_2 = 0.6\ m$

$h_2 := H - h_1 - b = 3.5\ m$

$B := b_1 + b_2 + b_3 = 2.3\ m$



1.3. Cargas

$q_{sc} := 1.3 \frac{tonnef}{m^2}$ Sobre carga sobre relleno de muro

$p_{baranda} := 0.15 \frac{tonnef}{m}$ Peso baranda de madera

1.4. Parámetros de diseño en concreto armado

$f'_c := 210 \frac{kgf}{cm^2}$ Resistencia a la compresión del concreto

$f_y := 4200 \frac{kgf}{cm^2}$ Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo

Figura 23

Verificaciones de estabilidad estática en el software MathCad Prime

II. VERIFICACIONES DE ESTABILIDAD ESTÁTICA

2.1. Presión activa de tierra

$K_a := \tan\left(45° - \frac{\phi}{2}\right)^2 = 0.26$ $\quad z := 0, 0.1\ m .. H$

$\sigma_a(z) := \gamma_s \cdot z \cdot K_a$ Presión activa a una profundidad (z)

$E_a(z) := \frac{1}{2}\sigma_a(z) \cdot z \cdot W$ Empuje activo resultante a una profundidad (z)

$M_a(z) := E_a(z) \cdot \frac{z}{3}$ Momento activo resultante a una profundidad (z)

2.2. Presión horizontal debido a sobre carga

$\sigma_{h.sc}(z) := q_{sc} \cdot K_a$ Presión horizontal por sobre carga una profundidad (z)

$E_{h.sc}(z) := \sigma_{h.sc}(z) \cdot z \cdot W$ Empuje horizontal por sobre carga a una profundidad (z)

$M_{h.sc}(z) := E_{h.sc}(z) \cdot \frac{z}{2}$ Momento por sobre carga a una profundidad (z)

2.3. Presión pasiva de tierra

$K_p := \tan\left(45° + \frac{\phi}{2}\right)^2 = 3.852$

Presión pasiva a una profundidad (z)

$\sigma_p(z) := \text{if}\left(z \le H - (h_1 + h_3), 0\ Pa, \gamma_s \cdot \left(z - \left(H - (h_1 + h_3)\right)\right) \cdot K_p\right)$

Empuje pasivo resultante a una profundidad (z)

$E_p(z) := \text{if}\left(z \le H - (h_1 + h_3), 0\ N, \frac{1}{2}\sigma_p(z) \cdot \left(z - \left(H - (h_1 + h_3)\right)\right) \cdot W\right)$

Momento pasivo resultante a una profundidad (z)

$M_p(z) := \text{if}\left(z \le H - (h_1 + h_3), 0\ N \cdot m, E_p(z) \cdot \frac{\left(z - \left(H - (h_1 + h_3)\right)\right)}{3}\right)$

Figura 24

Resultados a una profundidad H en el software MathCad Prime

2.4. Resultados a una profundidad H:

Presión activa de tierra

$$\sigma_a(H) = 2.52\ \frac{tonnef}{m^2}$$

$$E_a(H) = 55.68\ kN$$

$$M_a(H) = 8.52\ tonnef \cdot m$$

Presión horizontal debido a sobre carga

$$\sigma_{h.sc}(h_1 + h_2) = 0.34\ \frac{tonnef}{m^2}$$

$$E_{h.sc}(h_1 + h_2) = 13.57\ kN$$

$$M_{h.sc}(h_1 + h_2) = 2.84\ tonnef \cdot m$$

Presión pasiva de tierra

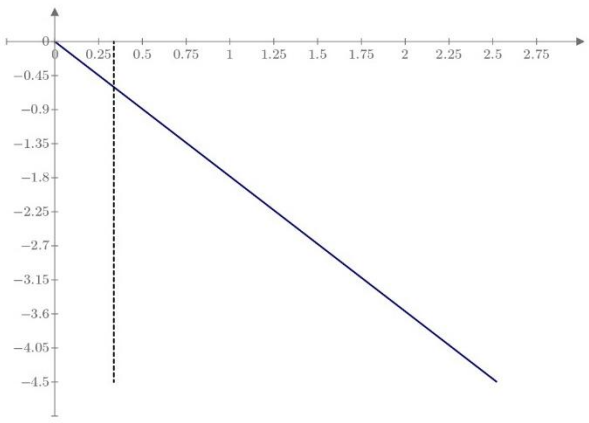
$$\sigma_p(H) = 12.48\ \frac{tonnef}{m^2}$$

$$E_p(H) = 9.36\ tonnef$$

$$M_p(H) = 4.68\ tonnef \cdot m$$

2.5. Diagramas

Esfuerzos Horizontales vs Profundidad (z)



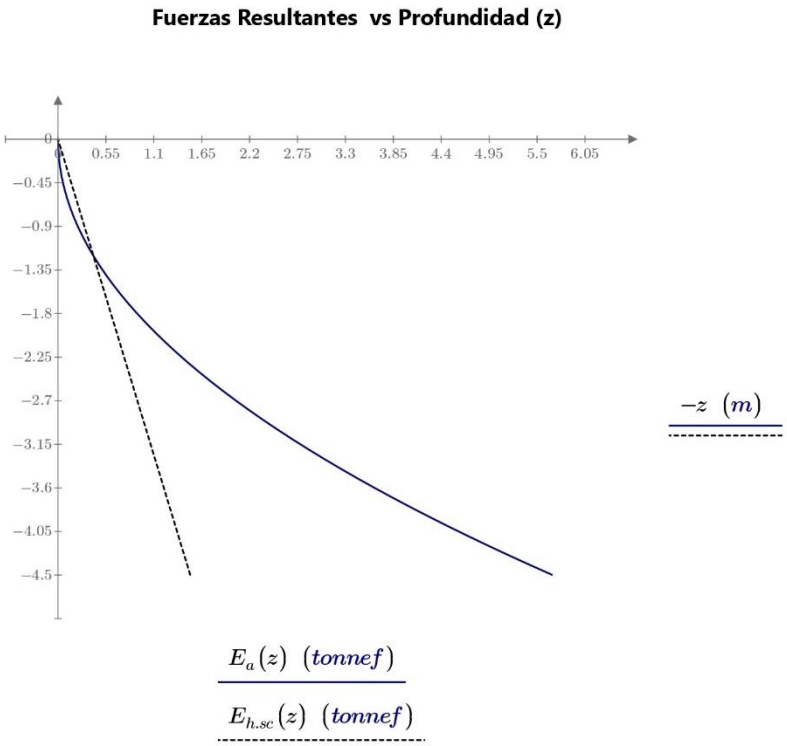
$-z\ \ (m)$

$\sigma_a(z)\ \left(\frac{tonnef}{m^2}\right)$

$\sigma_{h.sc}(z)\ \left(\frac{tonnef}{m^2}\right)$

Figura 25

Diagramas obtenidos en el software MathCad Prime



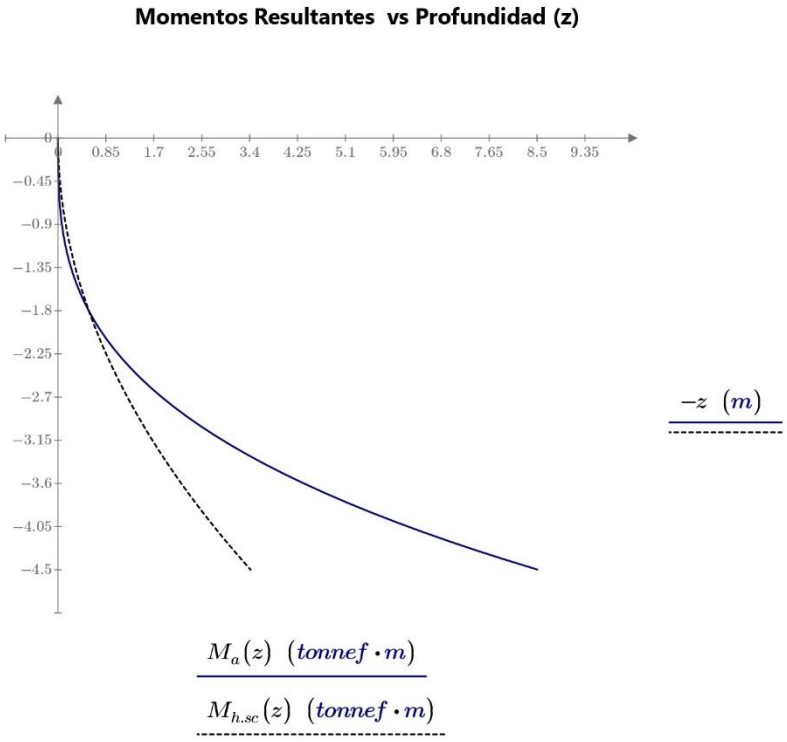


Figura 26

Cálculo de pesos y ubicación de muro en el software MathCad Prime

2.6. Calculo de pesos y ubicación de centro de gravedad de muro y relleno

$ORIGIN := 1$

$$Coord.M := \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ B & 0 \\ B & h_1 \\ b_2 & h_1 \\ b_2 & h+h_1 \\ C & h+h_1 \\ C & H \\ 0 & H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 2.3 & 0 \\ 2.3 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 \\ 0.6 & 1.3 \\ 0.25 & 1.3 \\ 0.25 & 4.5 \\ 0 & 4.5 \end{bmatrix} m \qquad Coord.R := \begin{bmatrix} b_2 & h_1 \\ B & h_1 \\ B & h_1+h_2 \\ C & h_1+h_2 \\ C & h+h_1 \\ b_2 & h+h_1 \end{bmatrix}$$

$$X_M := \text{submatrix}(Coord.M, 1, 8, 1, 1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.3 \\ 2.3 \\ 0.6 \\ 0.6 \\ 0.25 \\ 0.25 \\ 0 \end{bmatrix} m \qquad Z_M := \text{submatrix}(Coord.M, 1, 8, 2, 2) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.6 \\ 0.6 \\ 1.3 \\ 1.3 \\ 4.5 \\ 4.5 \end{bmatrix} m$$

$$X_R := \text{submatrix}(Coord.R, 1, 6, 1, 1) = \begin{bmatrix} 0.6 \\ 2.3 \\ 2.3 \\ 0.25 \\ 0.25 \\ 0.6 \end{bmatrix} m \qquad Z_R := \text{submatrix}(Coord.R, 1, 6, 2, 2) = \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.6 \\ 4.1 \\ 4.1 \\ 1.3 \\ 1.3 \end{bmatrix} m$$

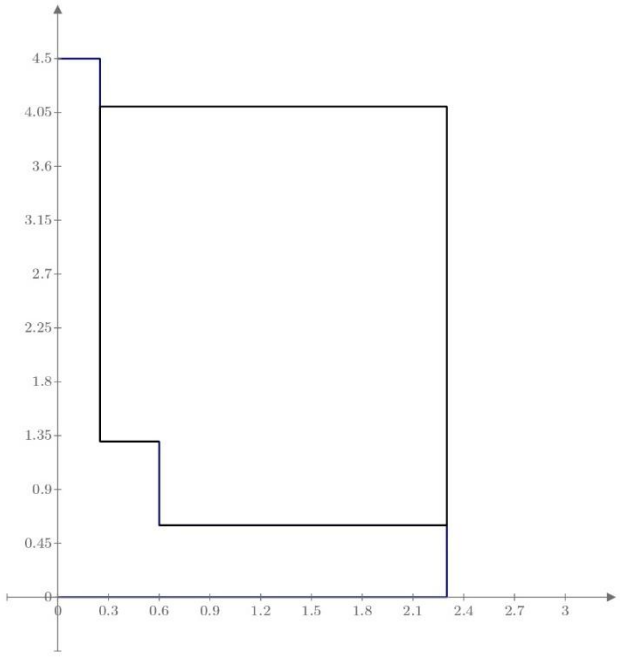


Figura 27

Cálculo de pesos y ubicación de muro en el software MathCad Prime

$$Muro := \left\| \begin{array}{l} m1 \leftarrow Coord.M \\ m1_{\text{rows}(Coord.M)+1,1} \leftarrow Coord.M_{1,1} \\ m1_{\text{rows}(Coord.M)+1,2} \leftarrow Coord.M_{1,2} \\ \text{for } k \in 1..\text{rows}(Coord.M) \\ \quad \left\| \begin{array}{l} m2_k \leftarrow \dfrac{m1_{k,1} \cdot m1_{k+1,2} - m1_{k+1,1} \cdot m1_{k,2}}{2} \\ m3_k \leftarrow \left(m1_{k,1} + m1_{k+1,1}\right) \cdot \left(m1_{k,1} \cdot m1_{k+1,2} - m1_{k+1,1} \cdot m1_{k,2}\right) \\ m4_k \leftarrow \left(m1_{k,2} + m1_{k+1,2}\right) \cdot \left(m1_{k,1} \cdot m1_{k+1,2} - m1_{k+1,1} \cdot m1_{k,2}\right) \end{array} \right. \\ area \leftarrow \sum(m2) \\ cx \leftarrow \dfrac{1}{6 \cdot area} \cdot \sum(m3) \\ cz \leftarrow \dfrac{1}{6 \cdot area} \cdot \sum(m4) \\ R_1 \leftarrow area \\ R_2 \leftarrow cx \\ R_3 \leftarrow cz \\ R \end{array} \right. = \begin{bmatrix} 2.6\ m^2 \\ 0.697\ m \\ 1.205\ m \end{bmatrix}$$

$$Relleno := \left\| \begin{array}{l} m1 \leftarrow Coord.R \\ m1_{\text{rows}(Coord.R)+1,1} \leftarrow Coord.R_{1,1} \\ m1_{\text{rows}(Coord.R)+1,2} \leftarrow Coord.R_{1,2} \\ \text{for } k \in 1..\text{rows}(Coord.R) \\ \quad \left\| \begin{array}{l} m2_k \leftarrow \dfrac{m1_{k,1} \cdot m1_{k+1,2} - m1_{k+1,1} \cdot m1_{k,2}}{2} \\ m3_k \leftarrow \left(m1_{k,1} + m1_{k+1,1}\right) \cdot \left(m1_{k,1} \cdot m1_{k+1,2} - m1_{k+1,1} \cdot m1_{k,2}\right) \\ m4_k \leftarrow \left(m1_{k,2} + m1_{k+1,2}\right) \cdot \left(m1_{k,1} \cdot m1_{k+1,2} - m1_{k+1,1} \cdot m1_{k,2}\right) \end{array} \right. \\ area \leftarrow \sum(m2) \\ cx \leftarrow \dfrac{1}{6 \cdot area} \cdot \sum(m3) \\ cz \leftarrow \dfrac{1}{6 \cdot area} \cdot \sum(m4) \\ R_1 \leftarrow area \\ R_2 \leftarrow cx \\ R_3 \leftarrow cz \\ R \end{array} \right. = \begin{bmatrix} 6.93\ m^2 \\ 1.305\ m \\ 2.399\ m \end{bmatrix}$$

$A_M := Muro_1 = 2.6\ m^2$ $\qquad$ $A_R := Relleno_1 = 6.93\ m^2$

$X_{cg.M} := Muro_2 = 0.697\ m$ $\qquad$ $X_{cg.R} := Relleno_2 = 1.305\ m$

$Z_{cg.M} := Muro_3 = 1.205\ m$ $\qquad$ $Z_{cg.R} := Relleno_3 = 2.399\ m$

Figura 28

Verificación por deslizamiento, volteo, capacidad portante en el software MathCad Prime

2.7. Verificación por Deslizamiento

$P_{muro} := \gamma_c \cdot A_M \cdot W = 61.19\ kN$ $\quad P_{sc} := q_{sc} \cdot (B - C) \cdot W = 26.13\ kN$

$P_{relleno} := \gamma_s \cdot A_R \cdot W = 146.79\ kN$

$P_{baranda} := p_{baranda} \cdot W = 1.47\ kN$ $\quad E_a(h_2) = 33.68\ kN$

$P_{normal} := P_{muro} + P_{relleno} + P_{baranda} + P_{sc} = 235.59\ kN$ $\quad E_{h.sc}(h_2) = 11.58\ kN$

$E_h := E_a(h_2) + E_{h.sc}(h_2) = 45.27\ kN$

$E_{p.toe} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_s \cdot (D)^2 \cdot K_p \cdot W = 91.79\ kN$

$P_{normal} \cdot \mu + E_{p.toe} = 233.15\ kN$ $\quad \tan(\phi) = 0.73$

$P_{normal} \cdot \mu = 141.36\ kN \quad E_{p.toe} = 91.79\ kN$

$FS_{sliding} := \frac{P_{normal} \cdot \mu + E_{p.toe}}{E_h} = 5.15$ $\quad \text{if}\left(FS_{sliding} \geq 1.50, \text{“OK”}, \text{“Revisar”}\right) = \text{“OK”}$

2.8. Verificación por Volteo

$M_{muro} := P_{muro} \cdot X_{cg.M} = 42.67\ kN \cdot m$ $\quad M_{sc} := P_{sc} \cdot \left(C + \frac{B - C}{2}\right) = 33.32\ kN \cdot m$

$M_{relleno} := P_{relleno} \cdot X_{cg.R} = 191.57\ kN \cdot m$

$M_{baranda} := P_{baranda} \cdot \left(b_1 + t_1 + \frac{t_2}{2}\right) = 0.18\ kN \cdot m$

$M_r := M_{muro} + M_{relleno} + M_{baranda} + M_{sc} = 267.75\ kN \cdot m$

$M_v := M_a(h_2) + M_{h.sc}(h_2) = 59.57\ kN \cdot m$

$FS_{overturning} := \frac{M_r}{M_v} = 4.49$ $\quad \text{if}\left(FS_{overturning} \geq 2.00, \text{“OK”}, \text{“Revisar”}\right) = \text{“OK”}$

2.8. Verificación por Capacidad Portante

2.8.1 Fuerzas transmitidas al nivel de la cimentación

(*) Nota: Se suma la contribución del peso del relleno delantero y el peso de la SC.

$P_{relleno.d} := \gamma_s \cdot b_1 \cdot h_3 \cdot W = 0\ tonnef$ $\quad P_{v.sc} := q_{sc} \cdot (t_3 + b_3) \cdot W = 2.67\ tonnef$

$P_{footing} := P_{normal} + P_{relleno.d} + P_{v.sc} = 26.69\ tonnef$

Figura 29

Verificación por deslizamiento, volteo, capacidad portante en el software MathCad Prime

$$M_R := M_r + P_{relleno.d} \cdot \frac{b_1}{2} + P_{v.sc} \cdot \left(b_1 + t_1 + t_2 + \frac{t_3 + b_3}{2} \right) = 30.7 \ tonnef \cdot m$$

$$e_{footing} := \frac{B}{2} - \frac{M_R - M_v}{P_{footing}} = 0.23 \ m \qquad \frac{B}{6} = 0.38 \ m$$

2.8.2 Distribución de presiones a lo largo de la zapata

$$\sigma_{toe} := \frac{P_{footing}}{B \cdot W} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_{footing}}{B} \right) = 1.85 \ \frac{kgf}{cm^2} \qquad \sigma_{heel} := \frac{P_{footing}}{B \cdot W} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_{footing}}{B} \right) = 0.47 \ \frac{kgf}{cm^2}$$

$$x := 0 \ m, 0.1 \ m .. B$$

$$\sigma(x) := \begin{cases} \text{if } |e_{footing}| \le \frac{B}{6} \\ \quad \sigma_{toe} - \frac{(\sigma_{toe} - \sigma_{heel})}{B} \cdot x \\ \text{else if } x \le 3 \cdot \left(\frac{B}{2} - e_{footing} \right) \\ \quad \frac{2 \cdot P_{footing}}{3 \cdot W \cdot \left(\frac{B}{2} - e_{footing} \right)} - \frac{2 \cdot P_{footing}}{9 \cdot W \cdot \left(\frac{B}{2} - e_{footing} \right)^2} x \\ \text{else} \\ \quad 0 \ \frac{kgf}{cm^2} \end{cases}$$

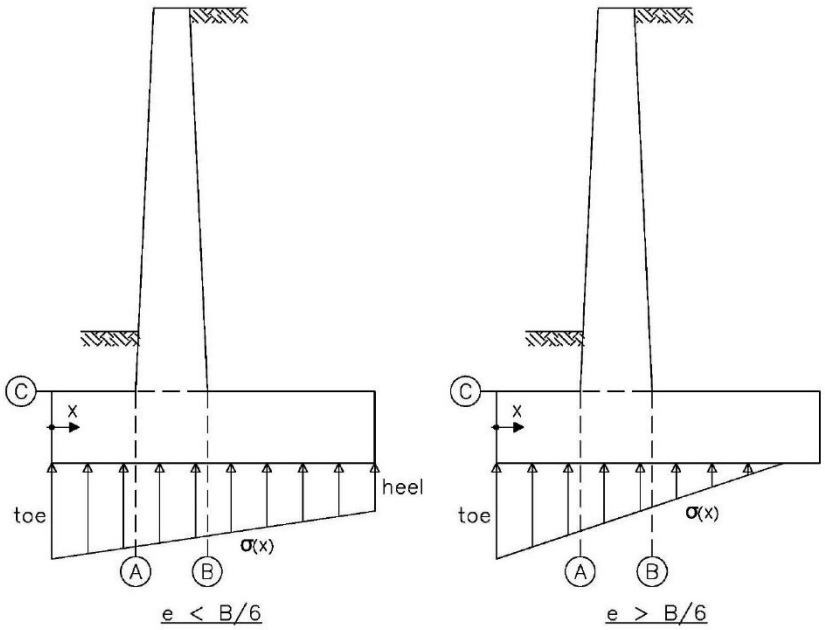
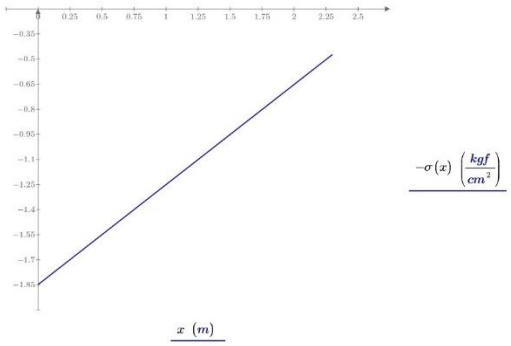


Figura 30

Verificación por deslizamiento, volteo, capacidad portante en el software MathCad Prime



Esfuerzo en Punta (toe)

$\sigma(0\ m) = 1.85\ \frac{kgf}{cm^2}$

Esfuerzo en Talón (heel)

$\sigma(B) = 0.47\ \frac{kgf}{cm^2}$

Figura 31

Diseño en concreto armado en el software MathCad Prime

IV. DISEÑO EN CONCRETO ARMADO - AASHTO LRFD

4.1. Zapata - Talón

4.1.1 Estado Limite de Resistencia

ACERO TRANSVERSAL

$$M_u := \left(\frac{b_3^{\,2} \cdot W}{2} \cdot \left(1.25 \cdot h_1 \cdot \gamma_c + 1.35 \cdot h_2 \cdot \gamma_s + 1.75\ q_{sc}\right)\right) - \int_{b_1+b_2}^{B} \sigma(x)\ (x - b_1 - b_2)\ W\,dx = 8.91\ tonnef \cdot m$$

$A_s := (2 \cdot 1.27)\ cm^2 \cdot \frac{1\ m}{0.25\ m}$ ϕ 1/2" @ 0.25 m $A_s = 10.16\ cm^2$

$b := W = 1\ m$ $d := h_1 - 8\ cm = 0.52\ m$ $\varphi := 0.90$

$a := \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} = 2.39\ cm$ $M_n := A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 21.68\ tonnef \cdot m$ $\varphi \cdot M_n = 19.51\ tonnef \cdot m$

$f_r := 0.24 \sqrt{\frac{f'_c}{ksi}} \cdot ksi = 29.16\ \frac{kgf}{cm^2}$ $S := \frac{W \cdot h_1^{\,2}}{6} = 0.06\ m^3$ $M_{cr} := f_r \cdot S = 17.5\ tonnef \cdot m$

$1.20\ M_{cr} = 21\ tonnef \cdot m$ $\frac{4}{3} M_u = 11.88\ tonnef \cdot m$

$M_d := \max\left(min\left(1.20\ M_{cr}, \frac{4}{3} M_u\right), M_u\right)$ $\text{if}\left(\varphi \cdot M_n > M_d, \text{“OK”}, \text{“Revisar”}\right) = \text{“OK”}$

$M_d = 11.88\ tonnef \cdot m$

ACERO LONGITUDINAL

$r := 4\ cm$

$dz := h_1 - 2 \cdot r - \frac{\frac{1}{2}\ in}{2} = 0.51\ m$

$AST := 0.0018 \cdot W \cdot dz = 9.25\ cm^2$

Inferior $s_m := 36 \cdot \frac{1}{2}\ in = 0.46\ m$ *usar* $ALi := \frac{2 \cdot 1.27\ cm^2}{0.25} = 10.16\ cm^2$

ϕ 1/2" @ 0.25 m

$\text{if}\left(AST \le ALi, \text{“OK”}, \text{“No cumple”}\right) = \text{“OK”}$

Figura 32

Diseño en concreto armado- pantalla en el software MathCad Prime

4.2. Pantalla

4.2.1 Estado Limite de Resistencia

$\phi := 0.9$ $\quad fc := 210$ $\quad fy := 4200$

$\beta := 0.85$ $\quad r := 4\ cm$ $\quad t2 := C = 0.25\ m$

Cuantía y acero mínimo $\quad d := t2 - 2 \cdot r = 0.17\ m$

$$\rho min := 0.7 \cdot \frac{\sqrt[2]{fc}}{fy} = 0.00242 \qquad Asmin := \rho min \cdot b \cdot d = 4.11\ cm^2$$

Cuantía y acero balanceado

$$\rho b := \beta \cdot 0.85 \cdot \frac{fc}{fy} \cdot \left(\frac{6000}{6000 + fy}\right) = 0.02125 \qquad Asb := \rho b \cdot b \cdot d = 36.13\ cm^2$$

Cuantía y acero máximo

$$\rho max := 0.75 \cdot \rho b = 0.01594 \qquad Asmax := \rho max \cdot b \cdot d = 27.09\ cm^2$$

ACERO VERTICAL INTERIOR

$Mu := 1.50\ M_a(h_2) + 1.75\ M_{h.sc}(h_2) = 9.63\ tonnef \cdot m$

$As := (1.98)\ cm^2 \cdot \frac{1\ m}{0.25\ m}$ $\quad \phi$ 5/8" @ 0.25 m $\quad A_s = 7.92\ cm^2$

$b := W = 1\ m$ $\quad d := b_2 - 8\ cm = 0.52\ m$ $\quad \varphi := 0.90$

$$a := \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} = 1.86\ cm \qquad Mn := A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) = 16.99\ tonnef \cdot m \qquad \varphi \cdot M_n = 15.29\ tonnef \cdot m$$

$$fr := 0.24 \sqrt{\frac{f'_c}{ksi}} \cdot ksi = 29.16\ \frac{kgf}{cm^2} \qquad S := \frac{W \cdot {b_2}^2}{6} = 0.06\ m^3 \qquad Mcr := f_r \cdot S = 17.5\ tonnef \cdot m$$

$1.20\ M_{cr} = 21\ tonnef \cdot m$ $\quad \frac{4}{3} M_u = 12.84\ tonnef \cdot m$

$$Md := \max\left(min\left(1.20\ M_{cr}, \frac{4}{3} M_u\right), M_u\right) \qquad \text{if}\left(\varphi \cdot M_n > M_d, \text{“OK”}, \text{“Revisar”}\right) = \text{“OK”}$$

$M_d = 12.84\ tonnef \cdot m$

$$\text{if}\left(Asmin \le A_s \le Asmax, \text{“OK”}, \text{“No cumple”}\right) = \text{“OK”}$$

Figura 33

Diseño en concreto armado- acero en el software MathCad Prime

ACERO LONGITUDINAL

$\rho t1 := 0.0020$ $\quad \phi \le \frac{5}{8}\ in$ y $fy \ge 4200\ \frac{kgf}{cm^2}$

$\rho t2 := 0.0025$ Otro casos zonas de alto R.S $\quad Ast := \rho t1 \cdot b \cdot \left(\frac{C}{2} + \frac{t2}{2}\right) = 5\ cm^2$

Interior $\quad \frac{2}{3} \cdot Ast = 3.333\ cm^2$ $\quad usar \quad ALi := \frac{1.27\ cm^2}{0.25} = 5.08\ cm^2$

ϕ 1/2" @ 0.25 m

$H = 4.5\ m$ Altura de pantalla

$n3 := \text{round}\left(\frac{H - r \cdot 2}{0.25\ m} + 1\right) = 19$

$\text{if}\left(\frac{2}{3} \cdot Ast \le ALi \le Asmax, \text{“OK”}, \text{“No cumple”}\right) = \text{“OK”}$

Exterior $\quad \frac{1}{3} \cdot Ast = 1.667\ cm^2$ $\quad usar \quad ALe := \frac{1.27\ cm^2}{0.6} = 2.12\ cm^2$

ϕ 1/2" @ 0.60 m

$H = 4.5\ m$ Altura de pantalla

$n4 := \text{round}\left(\frac{H - r \cdot 2}{0.60\ m} + 1\right) = 8$

$\text{if}\left(\frac{1}{3} \cdot Ast \le ALe \le Asmax, \text{“OK”}, \text{“No cumple”}\right) = \text{“OK”}$

ACERO VERTICAL EXTERIOR

$s := 36 \cdot \frac{5}{8}\ in = 0.572\ m$ $\quad usar \quad Asm := \frac{2 \cdot 1.98\ cm^2}{0.6} = 6.6\ cm^2$

ϕ 5/8" @ 0.60 m

$ap := 5\ m$ Ancho de pantalla

$n5 := \text{round}\left(\frac{ap - r \cdot 2}{0.60\ m} + 1\right) = 9$

$\text{if}\left(Asmin \le Asm \le Asmax, \text{“OK”}, \text{“No cumple”}\right) = \text{“OK”}$

ACERO EN GRADA

Transversal $\quad s_m := 36 \cdot \frac{5}{8}\ in = 0.57\ m$ $\quad usar \quad Atg := \frac{1.98\ cm^2}{0.30} = 6.6\ cm^2$

ϕ 5/8" @ 0.30 m

$\text{if}\left(Asmin \le Atg \le Asmax, \text{“OK”}, \text{“No cumple”}\right) = \text{“OK”}$

Longitudinal $\quad s_m := 36 \cdot \frac{1}{2}\ in = 0.46\ m$ $\quad usar \quad Alg := \frac{1.27\ cm^2}{0.30} = 4.23\ cm^2$

ϕ 1/2" @ 0.30 m

$\text{if}\left(Asmin \le Alg \le Asmax, \text{“OK”}, \text{“No cumple”}\right) = \text{“OK”}$

Refuerzo $\quad s_m := 36 \cdot \frac{5}{8}\ in = 0.57\ m$ $\quad usar \quad Arg := \frac{1.98\ cm^2}{0.30} = 6.6\ cm^2$

ϕ 5/8" @ 0.30 m

$\text{if}\left(Asmin \le Arg \le Asmax, \text{“OK”}, \text{“No cumple”}\right) = \text{“OK”}$

3.3 Validación del Proyecto

La validación del modelo hidráulico se realizó mediante la comparación entre la extensión de inundación observada en imágenes satelitales de Google Earth correspondientes a un período previo y posterior al fenómeno El Niño Costero de 2017, y los resultados obtenidos en la simulación hidráulica desarrollada en HEC-RAS. Cabe precisar que la simulación fue ejecutada utilizando como condición de entrada el caudal máximo registrado durante el año 2017 en la estación hidrométrica Chosica de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), equivalente a 126.50 m^3/s, representativo de las condiciones que ocasionaron el desborde del cauce en el sector de estudio.

Luego de ejecutar el modelamiento hidráulico unidimensional (1D), se seleccionó una sección transversal representativa del tramo de estudio (km 27+780) en la que se evidencia el desborde del cauce del Río Rímac para el caudal de validación. En esta sección se analizaron los principales parámetros hidráulicos obtenidos por el modelo, tales como el ancho de inundación, el cual permitió caracterizar el comportamiento hidráulico del cauce durante el evento ocurrido en el año 2017.

Figura 34

Estado de la sección del km 27+780 del Río Rímac antes del evento de inundación de abril de 2017 (enero de 2017).



Figura 35

Área inundada observada después del evento de abril de 2017 en la sección del km 27+780 del Río Rímac, empleada para la validación del modelo hidráulico.

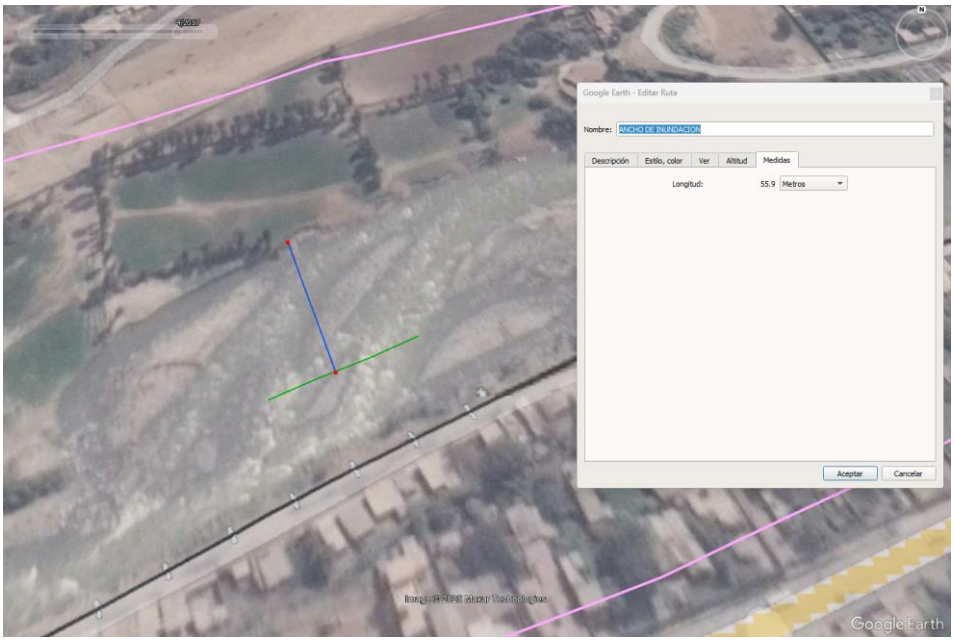


Figura 36

Desbordamiento de la margen izquierda en la sección transversal correspondiente al km 27+780 del Río Rímac.

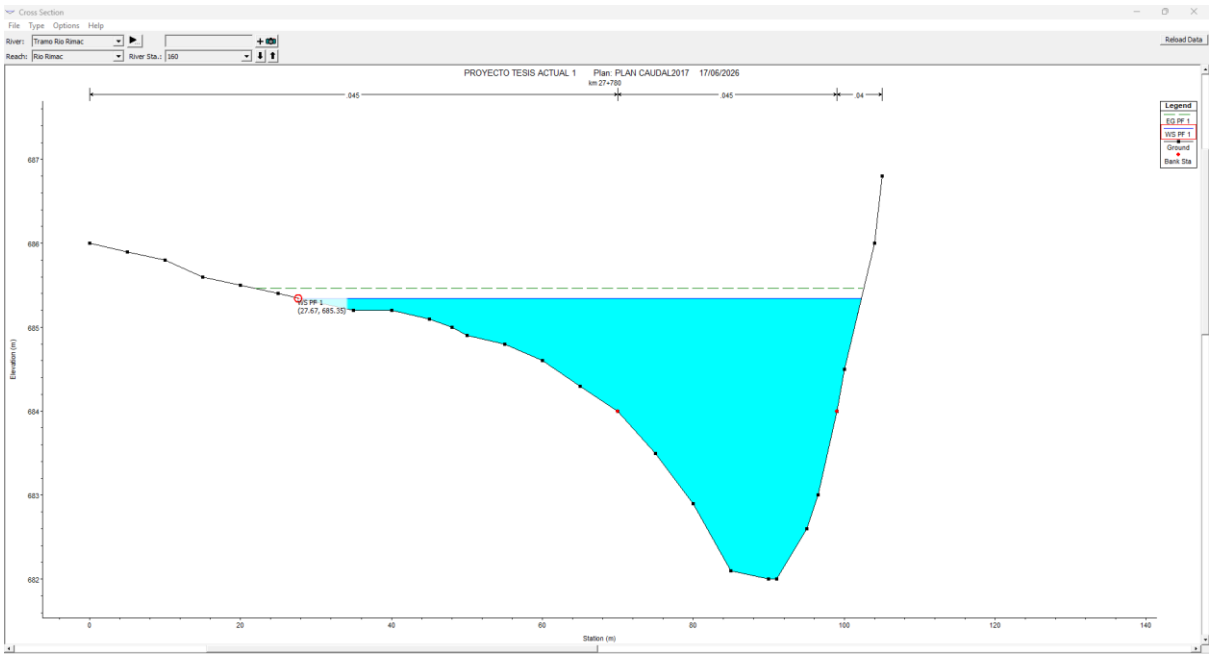
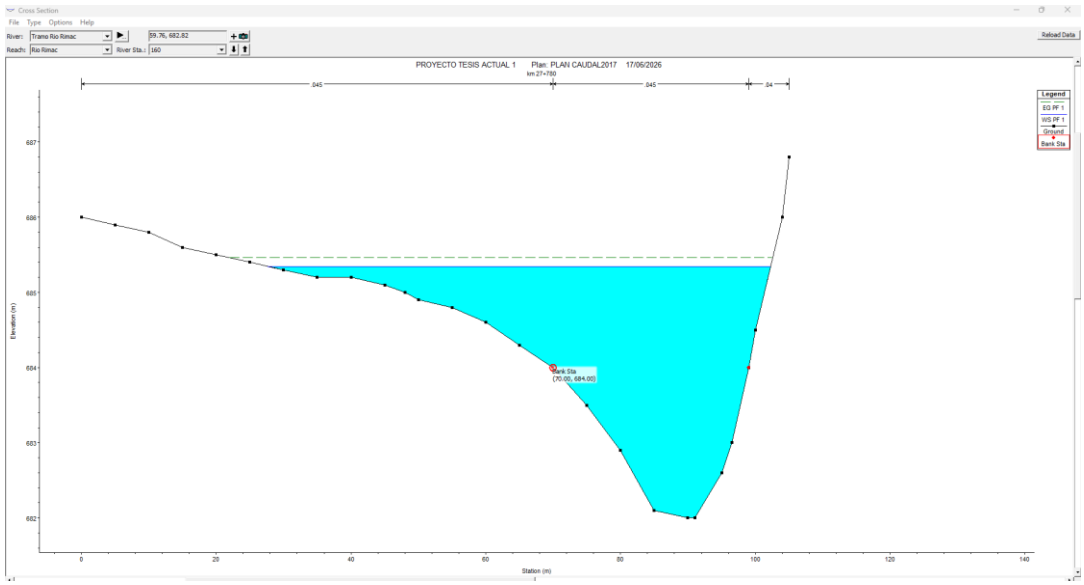


Figura 37

Delimitación del límite izquierdo del cauce principal en la sección transversal del km 27+780 del Río Rímac.



La interpretación de la imagen satelital permitió determinar que la inundación alcanzó una extensión lateral aproximada de 55.90 m respecto al límite ordinario del río previo al evento. Por su parte, la simulación hidráulica reprodujo una extensión de inundación de 42.33 m, presentando una diferencia de 13.57 m, equivalente aproximadamente al 24.3 %. Asimismo, la evidencia observada en la imagen satelital permite estimar un tirante de inundación aproximado a 2.00 m, mientras que la simulación en HEC-RAS obtuvo un tirante máximo de 1.35 m, registrándose una diferencia de 0.65 m.

Las diferencias identificadas se consideran razonables para fines de validación, debido a las incertidumbres inherentes a la interpretación visual de imágenes satelitales y a las posibles variaciones de las condiciones topográficas existentes entre la ocurrencia del evento y la información topográfica utilizada para la construcción del modelo hidráulico. Asimismo, estas diferencias pueden estar asociadas a procesos naturales de erosión, socavación, sedimentación y reconfiguración morfológica del cauce ocurridos durante eventos hidrológicos extraordinarios.

Debe considerarse además que no se dispone de información batimétrica detallada del cauce ni de levantamientos topográficos realizados inmediatamente antes o después del evento de

2017, por lo que la geometría adoptada en el modelo constituye una aproximación técnicamente aceptable de las condiciones reales del tramo evaluado.

En términos generales, la correspondencia obtenida entre la extensión del desbordamiento observada en las imágenes satelitales y la simulada mediante HEC-RAS evidencia que el modelo reproduce adecuadamente el comportamiento hidráulico observado durante el fenómeno El Niño Costero de 2017, otorgando un nivel satisfactorio de confiabilidad para la evaluación de las condiciones de inundación en el tramo de estudio.

3.4 Interpretación de los Resultados

Con la finalidad de evaluar el comportamiento hidráulico del Río Rímac en su condición actual, se desarrolló un modelamiento hidráulico unidimensional (1D) mediante el software HEC-RAS, empleando secciones transversales representativas del cauce dentro del ámbito de intervención. El análisis fue realizado considerando un caudal de diseño de 167.30 m^3/s, correspondiente a un periodo de retorno de 100 años (T = 100 años), a fin de representar un escenario de avenida extraordinaria con potencial de afectación sobre las áreas adyacentes al río.

3.4.1 Resultados obtenidos sin la estructura de defensa ribereña

En la Figura 38 se presenta la sección transversal ubicada en el km 27+780 del Río Rímac para el escenario con defensa ribereña. En dicha sección se observa que el nivel de agua supera la capacidad hidráulica del cauce, generando desborde e inundación en las áreas adyacentes.

En la Figura 39 se presentan los resultados finales de la simulación hidráulica para el conjunto de secciones transversales evaluadas en el tramo de estudio del Río Rímac. Los resultados permiten analizar el comportamiento del flujo a lo largo del cauce.

Figura 38

Desbordamiento de la margen izquierda en la sección transversal correspondiente al km 27+780 del Río Rímac sin defensa ribereña

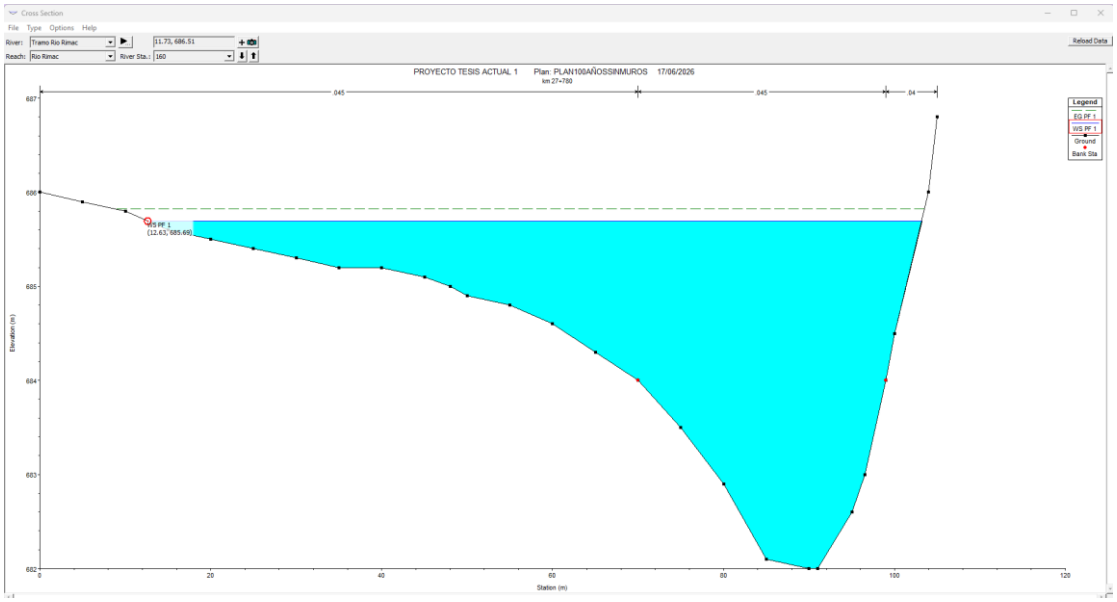


Figura 39

Tabla de resultados obtenidos sin la estructura de defensa ribereña del tramo del Río Rímac

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: PLAN100AÑOSSINMUROS River: Tramo Rio Rimac Reach: Rio Rimac Profile: PF 1

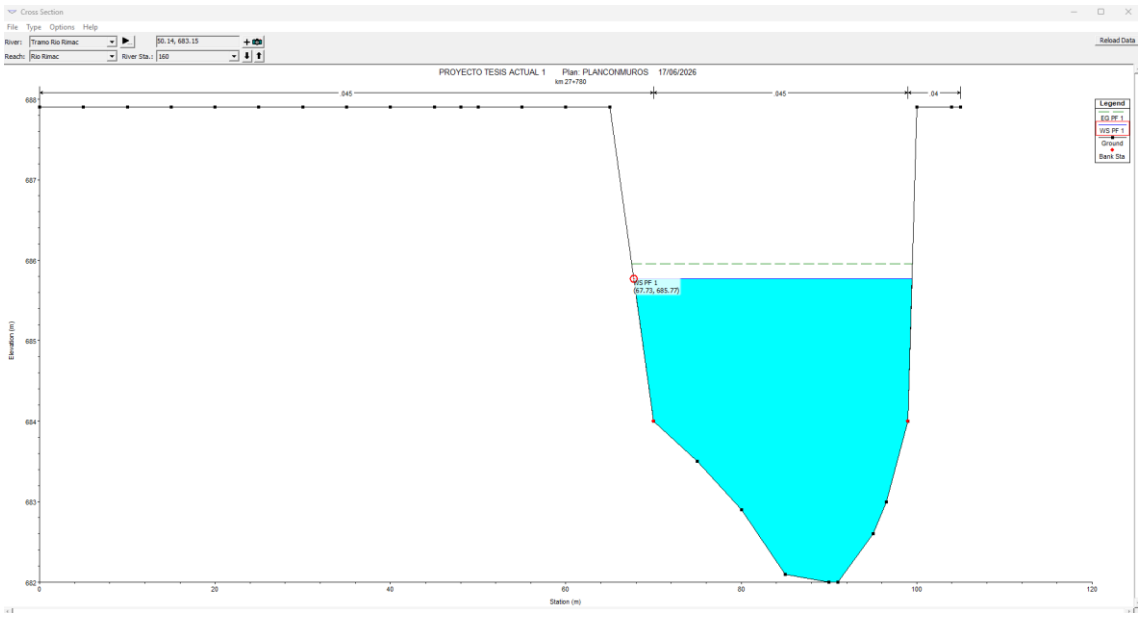
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Rio Rimac	640	PF 1	167.30	682.00	686.20	684.35	686.27	0.000638	1.25	175.26	104.25	0.22
Rio Rimac	600	PF 1	167.30	682.00	686.18		686.24	0.000668	1.28	172.27	104.22	0.22
Rio Rimac	560	PF 1	167.30	682.00	686.14		686.21	0.000701	1.30	169.10	104.18	0.23
Rio Rimac	520	PF 1	167.30	682.00	686.11		686.18	0.000738	1.32	165.77	104.14	0.23
Rio Rimac	480	PF 1	167.30	682.00	686.08		686.15	0.000780	1.35	162.22	104.10	0.24
Rio Rimac	440	PF 1	167.30	682.00	686.04		686.12	0.000817	1.38	158.97	104.05	0.24
Rio Rimac	400	PF 1	167.30	682.00	686.00		686.09	0.000883	1.42	154.42	104.00	0.25
Rio Rimac	360	PF 1	167.30	682.00	685.96		686.05	0.000940	1.45	150.19	102.03	0.26
Rio Rimac	320	PF 1	167.30	682.00	685.92		686.01	0.001005	1.48	145.74	99.71	0.27
Rio Rimac	280	PF 1	167.30	682.00	685.87		685.97	0.001080	1.52	141.04	97.19	0.28
Rio Rimac	240	PF 1	167.30	682.00	685.82		685.92	0.001169	1.57	136.07	94.46	0.29
Rio Rimac	200	PF 1	167.30	682.00	685.76		685.87	0.001283	1.62	130.65	92.38	0.30
Rio Rimac	160	PF 1	167.30	682.00	685.69		685.82	0.001431	1.69	124.61	90.55	0.32
Rio Rimac	120	PF 1	167.30	682.00	685.62		685.76	0.001627	1.77	117.77	88.44	0.34
Rio Rimac	80	PF 1	167.30	682.00	685.42		685.60	0.002264	1.98	101.12	78.40	0.39
Rio Rimac	40	PF 1	167.30	682.00	685.08		685.36	0.003924	2.38	78.42	56.11	0.50
Rio Rimac	0	PF 1	167.30	682.00	684.58	684.35	685.10	0.010005	3.21	54.24	39.85	0.77

3.4.2 Evaluación hidráulica de la defensa ribereña propuesta a través del modelamiento 1D

La Figura 40 muestra la misma sección transversal del km 27+780 del Río Rímac, donde se aprecian los muros de defensa ribereña incorporados en el modelo hidráulico.

Figura 40

Desbordamiento de la margen izquierda en la sección transversal correspondiente al km 27+780 del Río Rímac con defensa ribereña



En la Figura 40 se presentan los resultados finales de la simulación hidráulica para el conjunto de secciones transversales evaluadas en el tramo de estudio del Río Rímac. Estos resultados permiten analizar el comportamiento del flujo a lo largo del cauce y evaluar la efectividad de la defensa ribereña propuesta frente al caudal de diseño considerado.

Figura 41

Tabla de resultados obtenidos con la estructura de defensa ribereña del tramo del Río Rímac

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: PLAN CON MUROS River: Tramo Rio Rimac Reach: Rio Rimac Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Rio Rimac	640	PF 1	167.30	682.00	686.44	684.32	686.56	0.000912	1.57	109.54	32.75	0.26
Rio Rimac	600	PF 1	167.30	682.00	686.40		686.52	0.000948	1.59	108.22	32.68	0.27
Rio Rimac	560	PF 1	167.30	682.00	686.35		686.48	0.000987	1.61	106.85	32.62	0.27
Rio Rimac	520	PF 1	167.30	682.00	686.31		686.44	0.001030	1.63	105.42	32.55	0.28
Rio Rimac	480	PF 1	167.30	682.00	686.26		686.40	0.001077	1.65	103.92	32.48	0.28
Rio Rimac	440	PF 1	167.30	682.00	686.21		686.36	0.001131	1.67	102.34	32.41	0.29
Rio Rimac	400	PF 1	167.30	682.00	686.16		686.31	0.001191	1.70	100.68	32.33	0.30
Rio Rimac	360	PF 1	167.30	682.00	686.11		686.26	0.001259	1.73	98.93	32.24	0.30
Rio Rimac	320	PF 1	167.30	682.00	686.05		686.21	0.001337	1.76	97.06	32.16	0.31
Rio Rimac	280	PF 1	167.30	682.00	685.99		686.15	0.001428	1.80	95.06	32.06	0.32
Rio Rimac	240	PF 1	167.30	682.00	685.92		686.09	0.001536	1.84	92.91	31.96	0.33
Rio Rimac	200	PF 1	167.30	682.00	685.85		686.03	0.001666	1.88	90.57	31.84	0.35
Rio Rimac	160	PF 1	167.30	682.00	685.77		685.96	0.001826	1.94	88.00	31.72	0.36
Rio Rimac	120	PF 1	167.30	682.00	685.68		685.88	0.002030	2.00	85.11	31.58	0.38
Rio Rimac	80	PF 1	167.30	682.00	685.45		685.69	0.002687	2.18	77.97	31.23	0.43
Rio Rimac	40	PF 1	167.30	682.00	685.08		685.41	0.004468	2.54	66.56	30.66	0.54
Rio Rimac	0	PF 1	167.30	682.00	684.60	684.32	685.13	0.010005	3.24	51.92	29.92	0.77

Con el propósito de evaluar la efectividad de la defensa ribereña propuesta para el tramo comprendido aguas abajo del Puente Los Ángeles, se compararon los resultados obtenidos mediante la modelación hidráulica en HEC-RAS para los escenarios sin intervención y con la implementación de la estructura de protección. Para ello, se analizaron indicadores representativos del comportamiento del flujo, tales como el área hidráulica promedio (m2), el ancho superficial del flujo promedio (m), la velocidad de flujo promedio (m2/s) y el tirante hidráulico promedio (m). Estos parámetros permiten determinar el grado de confinamiento del caudal dentro del cauce, la reducción de la expansión lateral de la inundación y la capacidad de la estructura para conducir de manera segura el caudal de diseño asociado al periodo de retorno considerado.

Tabla 5

Comparación de resultados hidráulicos por progresiva

Progresiva (m)	W.S. Elev Sin Defensa (m)	W.S. Elev Con Defensa (m)	Área hidráulica sin Defensa (m²)	Área hidráulica con Defensa (m²)	Ancho superficial de flujo sin Defensa (m)	Ancho superficial de flujo con Defensa (m)	Velocidad de flujo sin Defensa (m/s)	Velocidad de flujo con Defensa (m/s)
0	684.58	684.60	54.24	51.92	39.85	29.92	3.21	3.24
40	685.08	685.08	78.42	66.56	56.11	30.66	2.38	2.54
80	685.42	685.45	101.12	77.97	78.40	31.23	1.98	2.18
120	685.62	685.68	117.77	85.11	88.44	31.58	1.77	2.00
160	685.69	685.77	124.61	88.00	90.55	31.72	1.69	1.94
200	685.76	685.85	130.65	90.57	92.38	31.84	1.62	1.88
240	685.82	685.92	136.07	92.91	94.46	31.96	1.57	1.84
280	685.87	685.99	141.04	95.06	97.19	32.06	1.52	1.80
320	685.92	686.05	145.74	97.06	99.71	32.16	1.48	1.76
360	685.96	686.11	150.19	98.93	102.03	32.24	1.45	1.73
400	686.00	686.16	154.42	100.68	104.00	32.33	1.42	1.70
440	686.04	686.21	158.97	102.34	104.05	32.41	1.38	1.67
480	686.08	686.26	162.22	103.92	104.10	32.48	1.35	1.65
520	686.11	686.31	165.77	105.42	104.14	32.55	1.32	1.63
560	686.14	686.35	169.10	106.85	104.18	32.62	1.30	1.61
600	686.18	686.40	172.27	108.22	104.22	32.68	1.28	1.59
640	686.20	686.44	175.26	109.54	104.25	32.75	1.25	1.57

Tabla 6

Comparación de resultados de tirante hidráulico y profundidad de desbordamiento por progresiva

Progresiva (m)	W.S. Elev Sin Defensa (m)	Tirante hidráulico Sin Defensa (m)	Profundidad de desbordamiento Sin Defensa (m)	W.S. Elev Con Defensa (m)	Tirante hidráulico Con Defensa (m)	Profundidad de desbordamiento Con Defensa (m)
0	684.58	2.58	0.58	684.60	2.60	0.6
40	685.08	3.08	1.08	685.08	3.08	1.08
80	685.42	3.42	1.42	685.45	3.45	1.45
120	685.62	3.62	1.62	685.68	3.68	1.68
160	685.69	3.69	1.69	685.77	3.77	1.77
200	685.76	3.76	1.76	685.85	3.85	1.85
240	685.82	3.82	1.82	685.92	3.92	1.92
280	685.87	3.87	1.87	685.99	3.99	1.99
320	685.92	3.92	1.92	686.05	4.05	2.05

360	685.96	3.96	1.96	686.11	4.11	2.11
400	686.00	4.00	2.00	686.16	4.16	2.16
440	686.04	4.04	2.04	686.21	4.21	2.21
480	686.08	4.08	2.08	686.26	4.26	2.26
520	686.11	4.11	2.11	686.31	4.31	2.31
560	686.14	4.14	2.14	686.35	4.35	2.35
600	686.18	4.18	2.18	686.40	4.4	2.4
640	686.20	4.20	2.20	686.44	4.44	2.44

Tabla 7

Reducción porcentual de parámetros hidráulicos por progresiva

Progresiva (m)	Ancho superficial de flujo Sin Defensa (m)	Ancho superficial de flujo Con Defensa (m)	Reducción Ancho superficial de flujo (%)	Área inundada Sin Defensa (m²)	Área inundada Con Defensa (m²)	Reducción Área (%)
0	39.85	29.92	24.92%	54.24	51.92	4.28%
40	56.11	30.66	45.36%	78.42	66.56	15.12%
80	78.40	31.23	60.17%	101.12	77.97	22.89%
120	88.44	31.58	64.29%	117.77	85.11	27.73%
160	90.55	31.72	64.97%	124.61	88.00	29.38%
200	92.38	31.84	65.53%	130.65	90.57	30.68%
240	94.46	31.96	66.17%	136.07	92.91	31.72%
280	97.19	32.06	67.01%	141.04	95.06	32.60%
320	99.71	32.16	67.75%	145.74	97.06	33.40%
360	102.03	32.24	68.40%	150.19	98.93	34.13%
400	104.00	32.33	68.91%	154.42	100.68	34.80%
440	104.05	32.41	68.85%	158.97	102.34	35.62%
480	104.10	32.48	68.80%	162.22	103.92	35.94%
520	104.14	32.55	68.74%	165.77	105.42	36.41%
560	104.18	32.62	68.69%	169.10	106.85	36.81%
600	104.22	32.68	68.64%	172.27	108.22	37.18%
640	104.25	32.75	68.59%	175.26	109.54	37.50%

Tabla 8

Evaluación de desempeño hidráulico de la defensa ribereña

Indicador	Sin Defensa	Con Defensa	Variación (%)
Área hidráulica promedio (m²)	137.52	93.00	-32.37%
Ancho superficial de flujo promedio (m)	92.24	31.95	-65.36%
Velocidad de flujo promedio (m/s)	1.65	1.90	15.15%
Tirante hidráulico (m)	3.79	3.92	3.43%

Tabla 9

Indicadores de efectividad del desempeño hidráulico de la defensa ribereña

Criterio de evaluación	Situación actual	Situación propuesta	Resultado
Capacidad de conducción del caudal de diseño	Parcial	Total	Cumple
Expansión lateral de la inundación	Alta	Baja	Mejora significativa
Ancho promedio de inundación	92.24%	31.95%	Reducción 42.85%
Estabilidad hidráulica del cauce	Moderada	Alta	Mejora
Protección de infraestructura ribereña	Insuficiente	Adecuada	Cumple
Riesgo de desborde	Alto	Bajo	Reducido

A partir de los resultados mostrados en las Tablas 5, 6, 7 y 8 se evidencia lo siguiente:

- **Área hidráulica**

Los resultados muestran que el área hidráulica promedio disminuye de **137.52 m²** a **93.00 m²**, representando una reducción de **32.37 %** respecto a la situación actual. Este comportamiento evidencia que la estructura de defensa ribereña logra confinar el flujo dentro de una sección más controlada, reduciendo la dispersión lateral del agua y favoreciendo un encauzamiento más eficiente del caudal de diseño.

- **Ancho superficial del flujo**

El ancho superficial del flujo disminuye de **92.24 m** a **31.95 m**, lo que representa una reducción de **65.36 %**. Este resultado demuestra una importante disminución de la expansión lateral de la lámina de agua, reduciendo significativamente las áreas susceptibles a inundación y mejorando las condiciones de protección de los terrenos e infraestructura ubicados en las márgenes del río.

- **Velocidad del flujo**

La velocidad promedio del flujo se incrementa de **1.65 m/s** a **1.90 m/s**, equivalente a un aumento de **15.15 %**. Este comportamiento es consecuencia directa del confinamiento hidráulico generado por la defensa ribereña, que reduce la sección efectiva de flujo y obliga al caudal a desplazarse con mayor velocidad para conservar la continuidad hidráulica.

- **Tirante hidráulico**

El tirante hidráulico promedio aumenta de aproximadamente **3.79 m** a **3.92 m**, representando un incremento cercano al **3.43 %**. Este resultado es consistente con el efecto de encauzamiento producido por la estructura de protección, donde el flujo desarrolla una mayor profundidad para transportar el mismo caudal dentro de una sección transversal más restringida. No obstante, los niveles alcanzados permanecen dentro de la capacidad de contención de la estructura proyectada.

La comparación de los escenarios modelados evidencia que la implementación de la defensa ribereña mejora sustancialmente el comportamiento hidráulico del tramo analizado. La reducción del **65.36 %** en el ancho superficial del flujo constituye el principal indicador de efectividad de la propuesta, al demostrar una disminución significativa de la extensión de la inundación. Asimismo, la reducción del área hidráulica en **32.37 %**, junto con el incremento controlado de la velocidad (**15.15 %**) y del tirante hidráulico (**3.43 %**), confirma que el flujo es conducido de manera más eficiente dentro del cauce, minimizando el riesgo de desbordamiento y mejorando las condiciones de seguridad hidráulica para el periodo de retorno de diseño considerado.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El modelamiento hidrológico e hidráulico desarrollado para el tramo del río Rímac ubicado en el km 27+780 permitió representar adecuadamente el comportamiento del flujo durante eventos de avenida, empleando como caudal de diseño 167.30 m^3/s, correspondiente a un periodo de retorno de 100 años. La simulación realizada mediante el software HEC-RAS permitió identificar las condiciones hidráulicas existentes en el tramo de estudio y evidenciar la presencia de zonas susceptibles a desbordamiento confirmando la necesidad de implementar medidas estructurales de protección frente a inundaciones.
- La validación del modelo hidráulico utilizando el caudal registrado durante el Fenómeno El Niño Costero del año 2017 (126.50 m^3/s) permitió comprobar la capacidad del modelo para reproducir de manera razonable las condiciones observadas en campo. La comparación entre la extensión de inundación identificada mediante imágenes satelitales y los resultados obtenidos en la simulación mostró una adecuada correspondencia espacial, lo que brindó confiabilidad a los resultados generados y permitió utilizar el modelo como herramienta de evaluación para la propuesta de defensa ribereña.
- La implementación de la defensa ribereña propuesta produjo modificaciones significativas en el comportamiento hidráulico del cauce. El área hidráulica promedio disminuyó de 137.52 m^2 a 93.00 m^2, representando una reducción del 32.37 %. Este resultado evidencia que la estructura proyectada logró concentrar el flujo dentro de una sección más definida y estable, reduciendo la dispersión lateral del agua y favoreciendo una conducción más eficiente del caudal de diseño a lo largo del tramo analizado.
- El indicador que presentó la mayor variación fue el ancho superficial del flujo, el cual se redujo de 92.24 m a 31.95 m, equivalente a una disminución del 65.36 %. Esta reducción demuestra que la defensa ribereña cumple adecuadamente su función de confinamiento hidráulico, limitando la expansión lateral de la lámina de agua y disminuyendo significativamente la probabilidad de afectación a las áreas colindantes al cauce. Asimismo, este comportamiento refleja una mejora sustancial en las condiciones de seguridad hidráulica de la zona de estudio.

- Como consecuencia del proceso de encauzamiento generado por la estructura propuesta, la velocidad promedio del flujo se incrementó de 1.65 m/s a 1.90 m/s, representando un aumento del 15.15 %. Este comportamiento es coherente con los principios hidráulicos, debido a que la reducción de la sección efectiva de flujo genera mayores velocidades para transportar el mismo caudal. Si bien este incremento favorece la capacidad de conducción del río, también pone de manifiesto la necesidad de considerar medidas complementarias de protección contra erosión y socavación en las zonas más expuestas a esfuerzos hidráulicos elevados.
- El tirante hidráulico promedio presentó un incremento moderado de 3.79 m a 3.92 m, equivalente al 3.43 %. Este resultado demuestra que la defensa ribereña permite contener mayores profundidades de agua dentro del cauce sin generar desbordamientos. Asimismo, evidencia que la estructura proyectada posee una capacidad hidráulica suficiente para conducir el caudal de diseño considerado en la investigación, manteniendo condiciones de estabilidad y seguridad dentro del tramo evaluado.
- De manera integral, los resultados obtenidos permiten concluir que la defensa ribereña propuesta (muro de contención) constituye una alternativa técnicamente viable para la reducción del riesgo de inundación en el tramo estudiado del río Rímac. La disminución significativa del ancho de flujo y la adecuada conducción del caudal de diseño demuestran que la estructura mejora las condiciones hidráulicas existentes y contribuye a incrementar la protección de la población, la infraestructura y las actividades ubicadas en las zonas aledañas al cauce.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda verificar que la reducción del área hidráulica no genere incrementos excesivos de velocidad o erosión local en el cauce, considerando medidas complementarias de protección en las zonas más expuestas a esfuerzos hidráulicos elevados.
- Se recomienda mantener una franja libre de ocupaciones dentro de la zona de influencia del cauce y realizar inspecciones periódicas de la estructura para garantizar que el ancho de flujo proyectado se mantenga durante eventos hidrológicos extremos.
- Se recomienda complementar el diseño con una evaluación de estabilidad frente a erosión y socavación, verificando que las velocidades alcanzadas no comprometan

la integridad del muro de contención ni de la cimentación proyectada durante la ocurrencia del caudal de diseño.

- Se recomienda conservar un borde libre adecuado entre la cota máxima de la lámina de agua y la coronación de la estructura, considerando posibles variaciones hidrológicas futuras, sedimentación del cauce y eventos extraordinarios asociados al cambio climático.

5 REFERENCIAS

Alcantara, A. y Castro, A. (2021) Determinación de zonas inundables con HEC-RAS en zonas de la Cordillera Central de los Andes. Microcuenca del río Sarausrío La Llanga. Celendín. *Rev. Inst. investig. Fac. minas metal. cienc. Geogr, 24, 48, 181-187* https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.19852

Al-Hussein, A., Jawad E., Farhan, B., Sulaiman, M., Bouri, S. (2026). Application of the HEC-RAS 2D model for flood hazard modeling and analysis: Focus on Duhok City, Kurdistan Region of Iraq. Physics and Chemistry of the Earth, 143. https://doi.org/10.1088/1757-899X/209/1/012101

Camacho, B. y De la Cruz, J. (2021) Propuesta de diseño de un muro de defensa ribereña con sistema de drenaje LGD en el Río Rímac desde el puente colgante al puente estela montti, Chosica [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas] Repositorio Institucional – Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/658731

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). (s.f.). *Instalación de los servicios de protección del río Rímac, distritos de Lurigancho, Chaclacayo y Ate, provincia de Lima, departamento de Lima.* https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//14545_instalacion-de-los-servicios-de-proteccion-del-rio-rimac-distritos-de-lurigancho-chaclacayo-y-ate-provincia-de-lima-departamento-de-lima.pdf

Cerna, E. y Arredondo, J. (2023) Diseño de defensa ribereña mediante enrocado para prevenir desbordes del río Lurín, distrito de Pachacámac y Lurín, departamento de Lima [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas] Repositorio Institucional – Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/670642?show=full

Chang, Y., Ho, C., Lin, Y., Wang, K., y Escalante, M. (2019). Hydraulic and ecological comparison of Gabion and reinforced Earth revetments in Keelung river Taiwan. Scientific Reports, 38152. https://doi.org/10.1038/s41598-025-22133-9

Espinoza, M. y Gomez, J. (2023) Propuesta de diseño de defensas ribereñas en ríos para prevenir inundaciones. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma] Repositorio

Institucional – Universidad Ricardo Palma Aplicadas https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/b4c375f0-dc19-44f6-a987-55caeb39b7a0

Flores, D. y Rios, L. (2023) Análisis hidráulico de un tramo del rio Rímac ubicado en Chosica con fines de mitigar las inundaciones [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas] Repositorio Institucional – Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/670768/Flores_RD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Maccaferri. (s.f.). ¿Qué hace que un muro de contención por gravedad sea estable? https://www.maccaferri.com/latam/news/que-hace-que-un-muro-de-contencion-por-gravedad-sea-estable/

Mendoza, M., Linaja, J. y Challco, G. (2025). Comparative analysis of the AASHTO and Eurocode standards for the design of cantilever walls used in the defense of the Tumbes River. Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology. https://doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1392

Mesias, L. y Urbano, E. (2023) Evaluación de los tipos de defensa ribereña según sus características a lo largo de la cuenca del río Cañete [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas] Repositorio Institucional – Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/670189

Perez, G., Palomino, J., Choque, L. y Romero, K. (2025). Flood Simulation for Different Scenarios Generated by the Influence of Climate Change in the Santa Eulalia Basin, Peru. Civil Engineering and Architecture, 13(4), 3237-3247. https://doi.org/10.13189/cea.2025.130428

Redacción El Comercio (2025) Chosica: residentes de la ribera del río Rímac piden ayuda ante posible desborde. *El Comercio.* https://elcomercio.pe/lima/chosica-residentes-de-la-ribera-del-rio-rimac-piden-ayuda-ante-posible-desborde-ultimas-noticia/

Sari, S., Suprayogi, S. y Budiman, S. (2025). HEC-RAS-BASED URBAN FLOOD SIMULATION FOR ENHANCING MITIGATION SCENARIOS IN THE GAJAHWONG RIVER, INDONESIA. Geographia Technica, 20(1), 127-142. https://doi.org/10.21163/GT_2025.201.10

SENAMHI (2025) Información Hidrológica Mensual https://www.senamhi.gob.pe/?p=monitoreo-informacion-mensual

UNICEF (2017) UNICEF PERU HUMANITARIAN SITUATION REPORT https://www.unicef.org/peru/sites/unicef.org.peru/files/2019-12/UNICEF_Peru_Humanitarian_Situation_Report_Year_End_2017.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2011). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/4443017-20-2011-mtc-14

U.S. Army Corps of Engineers. (2023). HEC-RAS hydraulic reference manual (Version 6.x). Hydrologic Engineering Center. https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_Hydraulic_Reference_Manual_v6.6.pdf