



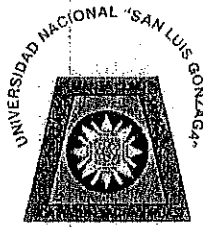
Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



## [Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0)

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**  
**UNIDAD DE INVESTIGACION**

**EVALUACION DE ORIGINALIDAD**

**ID. N° 101053360**

**CONSTANCIA**

El que suscribe, deja constancia que se la realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento de INFORME FINAL DE TESIS cuyo título es:

**CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN TOTAL DEL PUENTE SACTA  
DEL DISTRITO DE SANTIAGO, APLICANDO MODELOS  
HIDRÁULICOS - 2022**

presentado por:


**HUAMANI SAYRITUPAC, EMERSON BLAS**

Bachiller del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de Ingeniería Civil. El resultado obtenido es de **3% de similitud**, por el cual se otorga el calificativo de **APROBADO**, según el Reglamento para la evaluación de la Originalidad de los documentos de investigación.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 6 de julio de 2023

Universidad Nacional "San Luis Gonzaga"  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
UNIDAD DE INVESTIGACION

  
Dr. SANTOS CHACALTANA VASQUEZ  
DIRECTOR DE UNIDAD DE INVESTIGACION  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
Facultad de Ingeniería Civil



Cálculo de la socavación total del puente Sacta del distrito de  
Santiago, aplicando modelos hidráulicos - 2022

Línea de investigación:

Recursos hídricos, riesgo de desastres y cambio climático

INFORME FINAL DE TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL

AUTOR:

BACH. HUAMANI SAYRITUPAC, EMERSON BLAS

Ica, Perú

2023

### **Dedicatoria**

A mi padre y mi madre, que siempre me apoyaron incondicionalmente, a mis docentes que me motivan en el día a día, a mis amistades, compañeros y a todas aquellas personas que durante los cinco años estuvieron apoyándome en mi carrera profesional.

### **Agradecimientos**

Hacia mi padre y a mi madre por su apoyo y amor incondicional. A mis amigos, docentes, compañeros Y familiares.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |     |
|---|-----|
| Dedicatoria.....  | ii  |
| Agradecimientos .....                                       | iii |
| Índice de contenidos.....                                   | iv  |
| Índice de tablas.....                                       | vi  |
| Índice de figuras.....                                      | vii |
| Resumen.....  | ix  |
| Abstract... ..  | x   |
| I. INTRODUCCIÓN.....  | 1   |
| 1.1. Situación problemática .....                           | 1   |
| 1.2. Formulación de problemas.....                          | 1   |
| 1.2.1.Problema general .....                                | 1   |
| 1.2.2.Problemas específicos.....                            | 1   |
| 1.3. Antecedentes del problema de investigación.....        | 2   |
| 1.3.1.Antecedentes a nivel internacional .....              | 2   |
| 1.3.2.Antecedentes a nivel nacional.....                    | 2   |
| 1.3.3.Antecedentes a nivel local .....                      | 3   |
| 1.4 Justificación e importancia de la investigación .....   | 3   |
| 1.4.1.Justificación .....                                   | 3   |
| 1.4.2.Importancia.....                                      | 3   |
| 1.5 Objetivos de la investigación.....                      | 4   |
| 1.5.1.Objetivo general.....                                 | 4   |
| 1.5.2.Objetivos específicos .....                           | 4   |
| 1.6. Contenido de capítulos.....                            | 4   |
| II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA. ....                           | 6   |
| 2.1. Procedimientos. ....                                   | 6   |
| 2.2. Diseño metodológico. ....                              | 6   |
| 2.2.1. Tipo, nivel y diseño de investigación .....          | 6   |
| 2.2.2. Operacionalización de variables .....                | 7   |
| 2.3. Participantes.....                                     | 7   |
| 2.4. Universo y muestra .....                               | 7   |
| 2.4.1. Delimitación del proyecto.....                       | 7   |
| 2.4.2. Delimitación temporal. ....                          | 10  |
| 2.4.3. Delimitación social. ....                            | 10  |
| 2.4.4. Delimitación conceptual. ....                        | 11  |
| 2.4.5. Población y muestra.....                             | 11  |
| 2.5. Instrumentos y técnicas de medición y recolección..... | 12  |

|  |    |
|--|----|
| 2.5.1 Instrumentos de recolección de datos .....                                   | 12 |
| 2.5.2 Técnicas de recolección de datos.....  | 13 |
| 2.5.3 Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos .....          | 15 |
| III. RESULTADOS.....   | 16 |
| 3.1 Procesamiento y análisis, e interpretación de datos.....                       | 16 |
| 3.1.1 Estudios Topográficos .....  | 16 |
| 3.1.2 Estudio de mecánica de suelos.....   | 17 |
| 3.1.3 Rugosidad .....  | 20 |
| 3.1.4 Estudio Hidrológico .....  | 20 |
| 3.2 Modelamiento Hidráulico .....  | 22 |
| 3.2.1 Modelamiento hidráulico Iber versión 3.2.2.....                              | 22 |
| 3.2.1.2 Ecuaciones hidrodinámicas.....   | 22 |
| 3.2.1.3 Esquema numérico.....  | 23 |
| 3.2.1.4 Pre proceso.....   | 23 |
| 3.2.1.5 Post proceso .....   | 29 |
| 3.2.1.5.1 Calibración del modelo Iber .....  | 30 |
| 3.2.1.5.2 Calculo de la socavación total del puente Sacta con el modelo Iber ..... | 31 |
| 3.2.2 Modelamiento hidráulico Hec ras v. 6.3.1 .....                               | 33 |
| 3.2.2.2 Ecuaciones hidrodinámicas.....   | 33 |
| 3.2.2.3 Métodos numérico .....   | 34 |
| 3.2.2.4 Pre proceso.....   | 35 |
| 3.2.2.5 Post proceso .....   | 43 |
| 3.2.2.6 Calculo de la socavación total.....  | 44 |
| 3.2.2.6.1 Socavación general .....   | 44 |
| 3.2.2.6.2 Socavación Local en estribos.....  | 46 |
| 3.2.2.6.3 Profundidad de socavación total .....                                    | 48 |
| 3.2.3 Comparación entre resultados del modelo Iber v.3.2.2 y Hec-ras v.6.3.1 ..... | 48 |
| 3.3 Verificación de hipótesis. ....  | 48 |
| 3.3.1 Verificación de hipótesis general.....                                       | 48 |
| 3.3.2 Verificación de hipótesis específicas. ....                                  | 48 |
| IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....   | 50 |
| V. CONCLUSIONES. ....  | 52 |
| VI. RECOMENDACIONES.....   | 53 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....  | 54 |
| VIII. ANEXOS.....  | 56 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla I.</b> Operacionalización de variables .....  | 7  |
| <b>Tabla II.</b> Vías de acceso.....   | 10 |
| <b>Tabla III.</b> Descripción de calicatas .....   | 17 |
| <b>Tabla IV.</b> Porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz de M1-C-1 .....  | 18 |
| <b>Tabla V.</b> Porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz de M2-C-1.....  | 18 |
| <b>Tabla VI.</b> Porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz de M3-C-1 .....  | 18 |
| <b>Tabla VII.</b> Porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz de M4-C-1 .....   | 19 |
| <b>Tabla VIII.</b> Porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz de M1-C-2.....   | 19 |
| <b>Tabla IX.</b> Resultados del D50 de cada unidad de muestra.....   | 19 |
| <b>Tabla X.</b> Valores de rugosidad de Manning asignados al proyecto .....  | 20 |
| <b>Tabla XI.</b> Hidrograma para un periodo de retorno de 100 años.....  | 21 |
| <b>Tabla XII.</b> Socavación total en estribos calculados en Iber .....  | 33 |
| <b>Tabla XIII.</b> Profundidad de socavación general usando método de Lischtvan-Lebediev .....   | 46 |
| <b>Tabla XIV.</b> Coeficiente de corrección $K_{\theta}$ .....   | 46 |
| <b>Tabla XV.</b> Coeficiente de corrección $K_m$ .....   | 47 |
| <b>Tabla XVI.</b> Coeficiente de corrección $K_Q$ .....  | 47 |
| <b>Tabla XVII.</b> Profundidad de socavación local usando método de Artamonov.....   | 47 |
| <b>Tabla XVIII.</b> Profundidad de socavación total usando Hec-ras y Excel .....   | 48 |
| <b>Tabla XIX.</b> Comparación de los valores de socavación total obtenidos por el modelo Iber<br>v.3.2.2 y el modelo Hec-ras v.6.3.1 ..... | 48 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                |  |    |
|----------------|--|----|
| <b>Fig. 1</b>  | Ubicación del departamento de Ica.....   | 8  |
| <b>Fig. 2</b>  | Ubicación de la provincia de Ica.....  | 8  |
| <b>Fig. 3</b>  | Ubicación del distrito de Santiago .....   | 9  |
| <b>Fig. 4</b>  | Ubicación de la zona del proyecto centro poblado de Sacta.....   | 9  |
| <b>Fig. 5</b>  | Acceso a la zona del proyecto.....   | 10 |
| <b>Fig. 6</b>  | Población del centro poblado de Sacta.....   | 11 |
| <b>Fig. 7</b>  | Celular Huawei y9s con cámara de 48 MP .....   | 12 |
| <b>Fig. 8</b>  | DJI Phantom 4 Pro V2.0 .....   | 12 |
| <b>Fig. 9</b>  | Leica TS09 3” R500.....  | 13 |
| <b>Fig. 10</b> | Laptop LENOVO, i7 decima generación, 16gb RAM.....   | 13 |
| <b>Fig. 11</b> | Levantamiento arquitectónico del puente Sacta.....   | 14 |
| <b>Fig. 12</b> | Levantamiento topográfico del puente Sacta .....   | 14 |
| <b>Fig. 13</b> | Medición del nivel de la marca de agua en los estribos del puente Sacta.....   | 15 |
| <b>Fig. 14</b> | Plano topográfico .....  | 16 |
| <b>Fig. 15</b> | Plano arquitectónico del puente Sacta.....   | 17 |
| <b>Fig. 16</b> | Valores de rugosidad de Manning asignados al proyecto .....  | 20 |
| <b>Fig. 17</b> | Ecuación de conservación de masa y de momento .....  | 23 |
| <b>Fig. 18</b> | Geometria en Iber importada desde civil 3D .....   | 24 |
| <b>Fig. 19</b> | Superficies creadas en iber con la opcion geometria >crear>superficie .....  | 25 |
| <b>Fig. 20</b> | Caudal de calibracion asignado con la opcion datos >hidrodinamica>condiciones de contorno.. .....                            | 25 |
| <b>Fig. 21</b> | Malla generada para el calculo hidrodinamico .....   | 26 |
| <b>Fig. 22</b> | Vista de malla generada en los estribos del puente sacta para el calculo hidrodinamico. ....                                 | 27 |
| <b>Fig. 23</b> | Vista de rugosidad asignada al modelo con la opcion datos >rugosidad>asignacion automatica .....                             | 27 |
| <b>Fig. 24</b> | Vista de la elevacion asignada al modelo con la opcion herramientas iber >malla>editar>asignar elevacion desde archivo ..... | 28 |
| <b>Fig. 25</b> | Vista de los datos de sedimentos asignados con la opcion datos>datos del problema>transporte de sedimentos.....              | 28 |
| <b>Fig. 26</b> | Vista de los datos de tiempo de calculo con la opcion datos>datos del problema>parametros de tiempo.....                     | 29 |
| <b>Fig. 27</b> | Vista de lanzamiento de calculo con la opcion calcular>calcular.....   | 29 |
| <b>Fig. 28</b> | Vista del rio Ica-tramo Sacta, simulado en Iber v.3.2.2 para un Q=179.34 m <sup>3</sup> /s .....                             | 30 |

|                |  |    |
|----------------|--|----|
| <b>Fig. 29</b> | Vista de la seccion transversal del rio Ica-eje del puente sacta, simulado en Iber v.3.2.2 para un $Q=179.34 \text{ m}^3/\text{s}$ ..... | 31 |
| <b>Fig. 30</b> | Vista en planta de la socavacion total del area de estudio.....  | 32 |
| <b>Fig. 31</b> | Vista de la Seccion de muestreo de la socavacion mas desfavorable de los estribos...32   |    |
| <b>Fig. 32</b> | Vista de las profundidades de socavacion total de la seccion de muestreo del puente sacta.....   | 33 |
| <b>Fig. 33</b> | Ecuación de conservación de masa .....   | 34 |
| <b>Fig. 34</b> | Ecuación de conservación del momento .....   | 34 |
| <b>Fig. 35</b> | Vista de la ventana principal del programa Hec-ras.....  | 35 |
| <b>Fig. 36</b> | Creacion de la geometria con la herramienta RAS mapper .....   | 36 |
| <b>Fig. 37</b> | Terreno importado en ras mapper con la opcion terreno >create a new RAS terrain ..36   |    |
| <b>Fig. 38</b> | Malla computacional asignada con la opcion: 2D flow areas>Perimeters.....  | 37 |
| <b>Fig. 39</b> | Puente Sacta asignado con la opcion: SA/2D connections .....   | 37 |
| <b>Fig. 40</b> | Creacion de las condiciones de contorno con la opcion boundary condition lines .....   | 38 |
| <b>Fig. 41</b> | Valores de rugosidad importado desde un archivo asc. al modelo con la opcion Map layers>create a new Ras layer>land cover layer .....    | 38 |
| <b>Fig. 42</b> | Vista de rugosidad asignada al modelo .....  | 39 |
| <b>Fig. 43</b> | Vista de la geometria Hec ras importada desde RAS mapper.....  | 39 |
| <b>Fig. 44</b> | Vista de las medidas del puente Sacta asignadas al modelo .....  | 40 |
| <b>Fig. 45</b> | Vista de la creacion del flujo no permanente para la simulacion hidraulica .....   | 40 |
| <b>Fig. 46</b> | Vista del los datos del hidrograma asignado para la simulacion hidraulica T=100 años.....  | 41 |
| <b>Fig. 47</b> | Vista de las características asignadas para la simulacion del rio ica-tramo Sacta.....   | 42 |
| <b>Fig. 48</b> | Vista de las ecuaciones de calculo a utilizar para la simulacion del rio ica-tramo Sacta.....  | 42 |
| <b>Fig. 49</b> | Vista en planta de los valores de tirante luego de simular el hidrograma para T de 100 años.....   | 43 |
| <b>Fig. 50</b> | Vista en planta de los valores de velocidad luego de simular el hidrograma para T de 100 años.....                                       | 43 |
| <b>Fig. 51</b> | Obtencion del factor de correccion por contraccion del cauce .....   | 45 |

## RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación es aplicar los modelos hidráulicos Hec-ras e Iber en el cálculo de la socavación total del puente Sacta. Considerando la gran importancia que tiene la socavación en el diseño de puentes, éste será de gran utilidad para que los consultores y profesionales que elaboran expedientes de puentes posean información valiosa para realizar sus diseños de una manera práctica, sencilla y más ajustada a la realidad.

La investigación que se ha desarrollado es de tipo aplicada-transversal con un enfoque cuantitativo, de nivel correlacional y con un diseño cuasiexperimental. La muestra de estudio es el puente Sacta del distrito de Santiago. Como técnica principal se utilizó la simulación hidráulica y como instrumento el equipo de cómputo, los cuales nos brindaron como resultado principal los valores de profundidad de socavación total en los estribos del puente Sacta. con el modelo Iber se obtuvo que el estribo izquierdo presenta una socavación total de 4.36m mientras que en el estribo derecho presenta una socavación total de 3.26m y con el modelo Hec-ras se obtuvo que el estribo izquierdo presenta una socavación total de 7.24m mientras que en el estribo derecho presenta una socavación total de 6.90m.

Finalmente, se ha demostrado que la aplicación de los modelos hidráulicos influye positivamente en el cálculo de la socavación total del puente Sacta. Al obtenerse los parámetros de socavación total satisfactoriamente de manera directa (Iber) y de manera indirecta (Hec-ras).

Palabras Clave: Modelo hidráulico, Socavación total, simulación hidráulica.

## ABSTRACT

The main objective of this research is to apply the Hec-ras and Iber hydraulic models in the calculation of the total scour of the Sacta bridge. Considering the great importance of scour in the design of bridges, it will be very useful for consultants and professionals who prepare bridge files to have valuable information to carry out their designs in a practical, simple and more realistic way.

The research that has been carried out is of the applied-transversal type with a quantitative approach, at a correlational level and with a quasi-experimental design. The study sample is the Sacta bridge in the Santiago district. Hydraulic simulation was used as the main technique and the computer equipment as an instrument, which gave us as main result the values of total scour depth in the abutments of the Sacta bridge. with the Iber model it was obtained that the left abutment presents a total scour of 4.36m while in the right abutment it presents a total scour of 3.26m and with the Hec-ras model it was obtained that the left abutment presents a total scour of 7.24m while which in the right abutment presents a total scour of 6.90m.

Finally, it has been shown that the application of hydraulic models positively influences the calculation of the total scour of the Sacta bridge. When obtaining the total scour parameters satisfactorily directly (Iber) and indirectly (Hec-ras).

Keywords: Hydraulic model, total scour, hydraulic simulation

# I. INTRODUCCIÓN.

## 1.1. Situación problemática

En el centro poblado de Sacta del distrito de Santiago, solo se cuenta con el puente Sacta para que los 296 habitantes de lugar puedan cruzar el río Ica y realizar sus actividades cotidianas; como ir al trabajo, comprar abarrotes, ir a la universidad, etc. Es por ello que estructuras como este puente debe contar con el diseño adecuado para evitar que falle y colapse antes de cumplir su periodo de vida útil.

Además, se tiene registro de que hubo puentes aledaños que colapsaron a causa de la socavación como el puente Paraya debido al incremento del caudal del río Ica en el año 2021. por ello, existe un gran interés en determinar la profundidad de socavación total del puente Sacta aplicando las nuevas metodologías de modelación hidráulica, lo cual conlleva a obtener resultados más reales para prevenir el colapso del puente debido a la socavación y hacer uso de los avances tecnológicos en lo que se refiere al aumento de la capacidad computacional de los últimos equipos de cómputo disponibles en el mercado, con el fin de asegurar el desarrollo de la población.

El proyecto de no llegar a realizarse afectaría a la innovación tecnológica y limitaría al uso de las nuevas herramientas de cálculo en la comunidad científica, debido a que gracias al avance tecnológico existen equipos de cómputo que nos permiten hacer uso de softwares de modelación hidráulica 2D como el Iber y el Hec-ras que son capaces de manejar la información ampliamente y con ayuda de éstos, podemos realizar los cálculos hidráulicos de tal manera que los resultados nos otorgan mayor seguridad y confiabilidad en el diseño de puentes.

En consecuencia, a la descripción de la realidad problemática, se plantean las siguientes preguntas:

## 1.2. Formulación de problemas

### 1.2.1. Problema general

¿De qué manera la aplicación de modelos hidráulicos influye en el cálculo de la socavación total del puente Sacta del distrito de Santiago?

### 1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué modelos hidráulicos permiten aplicarse para determinar la socavación total del puente Sacta del distrito de Santiago?
- ¿Cuál modelo hidráulico se ajusta más a las características del río Ica en el sector puente Sacta?
- ¿Qué elementos inadecuados de diseño del puente Sacta incrementan la socavación total?

### **1.3. Antecedentes del problema de investigación**

#### 1.3.1. Antecedentes a nivel internacional

En 2019, D. Robinson et al [1] proporcionaron una guía completa para el uso de modelos hidráulicos bidimensionales para la administración federal de carreteras de los Estados Unidos con el fin de que los ingenieros puedan volverse expertos en la aplicación de los modelos hidráulicos 2D para proyectos de transporte, en la cual concluyeron que los modelos hidráulicos 2D eliminan las numerosas suposiciones que tiene el modelado hidráulico 1D y que adquirir datos precisos del terreno y desarrollar una malla que los represente es uno de los pasos más importantes para desarrollar modelos 2D utilizables.

En 2018, E. Cañas [2] tuvo como finalidad realizar la construcción de un modelo físico reducido en el laboratorio de hidráulica de la escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito con la finalidad realizar un análisis de las variables que influyen en la socavación local en pilas de puentes, esta investigación fue de tipo experimental ya que el investigador manipulo la variable independiente para estudiar la relación causa-efecto entre las variables, en su conclusión nos aporta que en condiciones de flujo subcrítico, la socavación está directamente relacionada con el caudal de diseño ya que a medida que éste se incrementa aumenta la socavación.

#### 1.3.2. Antecedentes a nivel nacional

En 2021, R. Rodríguez y G. Yataco [3] buscaron como objetivo realizar el cálculo de la socavación total en los pilares y estribos del puente Huallaga mediante la aplicación de un modelo hidráulico unidimensional y un modelo hidráulico bidimensional. En esta investigación se obtuvo que los valores de tirante de agua, velocidad de flujo y número de Froude son diferentes entre los resultados del modelo hidráulico 2D IBER y del modelo hidráulico 1D HEC-RAS, esto debido a que el modelo IBER realiza el cálculo en dos dimensiones y sus resultados son más ajustados a la realidad.

En 2020, D. Quito [4] realizó una tesis que tuvo como finalidad evaluar la socavación total empleando metodologías tecnológicas para el diseño del puente Solidaridad, haciendo uso del software HEC-RAS, identificando que la socavación total en estribos y pilares depende inversamente a las condiciones geotécnicas. Se concluyó que el uso programa HEC-RAS influye positivamente en los cálculos hidráulicos, debido a que permitió obtener los valores de socavación de manera práctica y técnica.

En 2019, M. Gerónimo [5] realizó una tesis que tuvo como finalidad estimar la socavación total al pie de los estribos del puente Sinsicap para diferentes periodos de retorno empleando el programa HEC-RAS, esta investigación fue de tipo no experimental de nivel descriptivo debido a que no se manipularon las variables y se describieron el fenómeno de la socavación producida por los diferentes caudales del río Martho en el puente Sinsicap tal como se presentan en forma natural. En una de sus conclusiones nos aporta que el D50 es un factor muy sensible que influye en la socavación debido a que este parámetro representa la composición de granos del lecho del río y determinan el esfuerzo cortante crítico del lecho del río ante el esfuerzo cortante del flujo de agua.

En 2019, E. Álvarez [6] realizó un estudio de socavación del cauce del río Chicama empleando un modelamiento unidimensional con el software HEC-RAS versión 5.0.3 y un modelamiento bidimensional empleando también el software HEC-RAS versión 5.0.7, 300 metros aguas arriba del puente Careaga y 1700 metros aguas abajo. Esta investigación fue de tipo descriptivo, en la cual expone en una de sus conclusiones que los valores obtenidos en el análisis bidimensional son más elevados en comparación que el análisis unidimensional, esto se debe a que en el modelamiento bidimensional el comportamiento del agua se da en dos direcciones siendo un análisis ajustado a la realidad.

#### 1.3.3. Antecedentes a nivel local

No se encontraron antecedentes a nivel local.

### **1.4 Justificación e importancia de la investigación**

#### 1.4.1. Justificación

El presente proyecto de investigación es de justificación metodológica ya que la aplicación de los modelos hidráulicos permitirá determinar la profundidad de socavación total de una forma más sencilla y práctica obteniendo resultados con mayor precisión y rapidez.

Además, Al realizar el cálculo de la socavación mediante 2 modelos hidráulicos en el puente Sacta, se determinará cual de dichos modelos es el más óptimo para el cálculo de estructuras similares y con ello se dará a conocer la profundidad de socavación más apropiada a considerar en el diseño estructural de puentes.

#### 1.4.2. Importancia

El puente Sacta es el único medio que tiene el centro poblado de Sacta para cruzar el río Ica, por lo que el determinar la profundidad de socavación total del puente Sacta es de gran importancia ya que dichos resultados pueden ser utilizados por la municipalidad distrital de

Santiago para realizar una intervención de mantenimiento en el caso necesario acorde a los resultados que se obtendrán.

Los principales beneficiarios resultantes de este proyecto de investigación son los profesionales que se dedican al cálculo y diseño hidráulico en puentes ya que en este estudio se dará a conocer el procedimiento del uso de dos softwares que se adecuan al objeto de estudio de tal manera que se brindará el conocimiento necesario para realizar el cálculo de la socavación total por ambos métodos.

## **1.5 Objetivos de la investigación**

### 1.5.1. Objetivo general

Aplicar los modelos hidráulicos en el cálculo de la socavación total del puente Sacta del distrito de Santiago.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Elegir que modelos hidráulicos pueden aplicarse para determinar la socavación total del puente Sacta del distrito de Santiago
- Determinar el modelo hidráulico que se ajusta más a las características del río Ica en el sector puente Sacta
- Determinar qué elementos inadecuados de diseño del puente Sacta incrementan la socavación total.

## **1.6. Contenido de capítulos**

### ✓ Capítulo I – Introducción

Este expresa de manera puntual el preámbulo y definiciones del proyecto desarrollado, así como la problemática, objetivos, justificaciones y antecedentes necesarios.

### ✓ Capítulo II – Estrategia Metodológica

En este capítulo se muestra el planeamiento metodológico, nos brinda detalladamente como fue realizada y los elementos utilizados en esta investigación, así como la población y muestra, instrumentos de medición y procedimientos.

### ✓ Capítulo III – Resultados

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos, así como sus tablas, métodos, formulas, gráficos, imágenes y programas que se emplearon para su desarrollo; este capítulo muestra los datos más importantes, los cuales nos ayudaron a resolver la problemática y alcanzar los objetivos propuestos para así lograr corroborar las hipótesis planteadas.

### ✓ Capítulo IV – Discusión

En este capítulo se analizó e interpretó los resultados obtenidos, recalando los aspectos determinantes en el desarrollo del proyecto y la información certera y verídica resultante de la investigación.

✓ Capítulo V – Conclusiones

Este capítulo expresa los resultados que obtuvimos en el desarrollo de la tesis, los cuales se redactan acorde a los objetivos presentados en la investigación.

✓ Capítulo VI – Recomendaciones

Estas recomendaciones son desde la perspectiva del autor con respecto a su punto de vista después de haber obtenido las conclusiones, deben de estar directamente vinculadas con las conclusiones, siendo puntuales y resumidas.

✓ Capítulo VII – Referencias Bibliográficas.

En esta parte de la tesis agrupamos todas nuestras fuentes de consulta empleados para este proyecto, redactados de acuerdo al orden de presentación en la presente investigación.

✓ Capítulo VIII – Anexos

En este capítulo final se colocaron los planos realizados en este proyecto de investigación.

## II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA.

### 2.1. Procedimientos.

La secuencia metodológica consta de tres etapas, las cuales son:

Etapa de recolección y selección de información documental, consiste en la búsqueda de datos e información actual de la zona de estudio de la investigación; recopilación, análisis y selección de la información documental de estudios hidrológicos y estudios de suelos realizados en el puente Sacta para hacer uso en esta investigación.

Etapa de trabajo en campo, tiene como finalidad evaluar las características de la zona del proyecto en campo y su área de influencia mediante la realización de un levantamiento topográfico, así como también el registro del nivel de las marcas de agua en el puente estudiado y el tipo de uso de suelos aledaños al río (obtención del parámetro de rugosidad de Manning) para la calibración de los modelos hidráulicos.

Etapa final de gabinete, se realiza el procesamiento de la información obtenida de la etapa de recolección y selección de información documental y la etapa de trabajo en campo, en esta etapa se ejecutan los modelamientos hidráulicos para el cálculo de la socavación y se analizan los resultados obtenidos de ambos modelos hidráulicos para la verificación de las hipótesis planteadas llegándose a obtener las conclusiones y recomendaciones en la investigación.

### 2.2. Diseño metodológico.

#### 2.2.1. Tipo, nivel y diseño de investigación

- Tipo de investigación

El tipo de investigación de la presente tesis es aplicada-transversal, es aplicada ya que se estudia la posibilidad de la aplicación de un nuevo método para la solución del problema del cálculo de la socavación. Es de tipo transversal porque la investigación se realiza en un periodo menor a un año.

- Enfoque de investigación

Es cuantitativo porque se toman datos de campo y se analizan para resolver el problema de la investigación y se prueban las hipótesis planteadas basada en la confiabilidad de la modelación hidráulica 2d.

- Nivel de investigación

Este proyecto de investigación es de nivel correlacional, dado que se investiga como la aplicación de los modelos hidráulicos influyen en el cálculo de la socavación total del puente Sacta y se sustenta en hipótesis sometidas a prueba.

- Diseño de investigación

Se identificó que el diseño metodológico es cuasiexperimental, ya que se manipulará la variable independiente y la muestra representativa no será elegida al azar.

## 2.2.2. Operacionalización de variables

**Tabla I.**

Operacionalización de variables

| Variables  | Definición Conceptual   | Dimensiones               | Indicadores  |
|--|---|---------------------------|--|
| INDEPENDIENTE:<br>La aplicación de modelos hidráulicos                                     | Es la utilización de los modelos hidráulicos en el diseño de puentes usando los softwares Iber y Hec-ras para realizar los cálculos de socavación | Modelo hidráulico Hec-ras | granulometría<br>rugosidad de Manning<br>topografía<br>caudal de diseño  |
|  |   | Modelo hidráulico Iber    | granulometría<br>rugosidad de Manning<br>topografía<br>caudal de diseño  |
| DEPENDIENTE:<br>Cálculo de la socavación total en el puente Sacta del distrito de Santiago | Es el cálculo de la profundidad total de la socavación encontrado con la aplicación de ambos modelos hidráulicos                                  | Cálculo de socavación     | Profundidad de socavación total calculada con el modelo Hec-ras.<br><br>Profundidad de socavación total calculada con el modelo Iber |

## 2.3. Participantes.

- Asesorado: Bach. Emerson Blas Huamani Sayritupac
- Asesor: Ing. José Claudio Guevara Bendezú

## 2.4. Universo y muestra.

### 2.4.1. Delimitación del proyecto

En 2023, Google Maps, [7].

El centro poblado de Sacta está ubicado en las coordenadas UTM WGS 84 zona 18 ubicado en las coordenadas 8423525.00 N 424315.00 E a una altitud de 352.00 msnm, se encuentra ubicado en el distrito de Santiago, provincia Ica, departamento de Ica, ubicado a 25.1 Km de la plaza de armas de la ciudad de Ica.

Límites del centro poblado de Sacta:

- Por el Norte : Centro poblado San Matías
- Por el Sur : Agrícola El Guayabo
- Por el Este : Centro poblado La Joya



**Fig. 1** Ubicación del departamento de Ica [8]



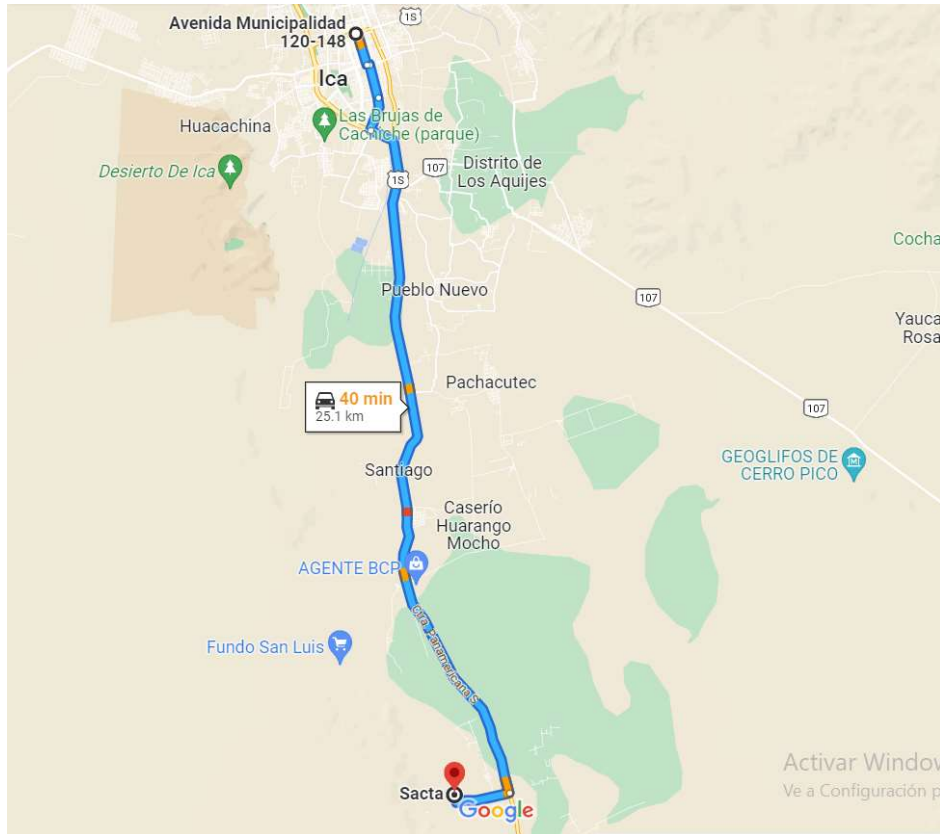
**Fig. 2** Ubicación de la provincia de Ica [9]



**Fig. 3** Ubicación del distrito de Santiago [10]



**Fig. 4** Ubicación de la zona del proyecto centro poblado de Sacta[7]



**Fig. 5** Acceso a la zona del proyecto [7]

**Tabla II.**

Vías de acceso

| Ítem                                   | Descripción                                  | Tipo de Vía | Región | Longitud Real (km) | Velocidad (km/hora) | Tiempo aprox. (min) |
|--|--|-------------|--------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 1                                      | Plaza de armas de Ica – centro poblado Sacta | Asfalto     | Costa  | 25.1               | 50                  | 40                  |
| TIEMPO TOTAL DE MOVILIZACIÓN POR VIAJE |  |             |        | 25.1               | 50                  | 40                  |

#### 2.4.2. Delimitación temporal.

La delimitación temporal corresponde al tiempo en que ha sido desarrollado la tesis, la cual comprende un periodo de duración de 4 meses.

#### 2.4.3. Delimitación social.

El sector social que están vinculados directamente al proyecto de investigación son los moradores del centro poblado de Sacta (296 habitantes) del distrito de Santiago, provincia de Ica, departamento de Ica. Ya que el puente Sacta sirve de paso para que dichos moradores accedan al interior del distrito de Santiago y a la ciudad de Ica para conseguir insumos, trabajo, estudios y otros.

| DEPARTAMENTO DE ICA |                          |  |                   |               |               |
|---------------------|--------------------------|--|-------------------|---------------|---------------|
| CÓDIGO              | CENTROS POBLADOS         | REGIÓN NATURAL<br>(según piso altitudinal) | POBLACIÓN CENSADA |               |               |
|                     |                          |  | Total             | Hombre        | Mujer         |
| <b>110111</b>       | <b>DISTRITO SANTIAGO</b> |  | <b>27 645</b>     | <b>13 677</b> | <b>13 968</b> |
| 0010                | SANTA MARGARITA          | Chala                                      | 30                | 16            | 14            |
| 0011                | HUARANGO MOCHO           | Chala                                      | 681               | 335           | 346           |
| 0013                | SANTA VICENTA            | Chala                                      | 170               | 78            | 92            |
| 0014                | SANTA JULIA              | Chala                                      | 52                | 25            | 27            |
| 0015                | HUANACO                  | Chala                                      | 408               | 215           | 193           |
| 0016                | CASA BLANCA              | Chala                                      | 5 987             | 2 922         | 3 065         |
| 0021                | LOS TRONQUITOS           | Chala                                      | 168               | 88            | 80            |
| 0022                | SAN MATIAS               | Chala                                      | 265               | 145           | 120           |
| 0023                | LA CASTELLANA            | Chala                                      | 322               | 225           | 97            |
| 0024                | LOS CASTILLOS            | Chala                                      | 400               | 211           | 189           |
| 0025                | LOS PEVES                | Chala                                      | 150               | 74            | 76            |
| 0026                | SANTA LUCIA              | Chala                                      | 32                | 17            | 15            |
| <b>0028</b>         | <b>SACTA</b>             | <b>Chala</b>                               | <b>296</b>        | <b>147</b>    | <b>149</b>    |
| 0029                | LA JOYA                  | Chala                                      | 2 174             | 1 085         | 1 089         |
| 0030                | SAN RAMON                | Chala                                      | 60                | 31            | 29            |

**Fig. 6** Población del centro poblado de Sacta [11]

#### 2.4.4. Delimitación conceptual.

El proyecto de investigación conceptualmente está ubicado dentro del área de conocimiento de ingeniería y tecnología, pero dentro de esta área se ha considerado específicamente la línea de investigación Recursos Hídricos, Riesgo De Desastres Y Cambio Climático, y se ubica en la temática de investigación: “Manejo integrado de recursos hídricos” el cual está reconocida por la facultad de ingeniería civil de la universidad nacional san Luis Gonzaga de Ica

El objeto de estudio está ubicado dentro de los puentes cuya cimentación se encuentran sobre ríos y se encuentran expuestas al fenómeno de la socavación, cuyo propósito es determinar la profundidad de socavación total, utilizando los modelos Hec-ras v.6.3.1 e Iber v.3.2.2.

#### 2.4.5. Población y muestra.

- Población de estudio

La población involucrada en la aplicación de los modelos Hec-ras v.6.3.1 e Iber v.3.2.2 son todos los puentes expuestos al fenómeno de la socavación, pero dado a las delimitaciones escritas anteriormente la población de estudio se avocará al puente Sacta del distrito de Santiago.

- Tamaño de la muestra

El tipo de muestreo aplicado en esta tesis es el muestreo no probabilístico y por conveniencia puesto a que el objeto de estudio es accesible y presenta las características similares a la población en conjunto. Por ello el tamaño de la muestra son los puentes cuya cimentación se encuentra expuesta al fenómeno de la socavación.

- Criterios De Inclusión Y Exclusión

- a) Criterios de Inclusión

En este proyecto de investigación se incluyen los puentes cuyas bases están expuestas al fenómeno de la socavación

- b) Criterios de Exclusión

En este proyecto de investigación se excluyen los puentes cuyas bases no están expuestas al fenómeno de la socavación

## 2.5. Instrumentos y técnicas de medición y recolección.

### 2.5.1 Instrumentos de recolección de datos

Los principales instrumentos que se aplicaron en las técnicas son:

- Equipo fotográfico, cuaderno de campo.



**Fig. 7** Celular Huawei y9s con cámara de 48 MP [12]

- Equipo topográfico.



**Fig. 8** DJI Phantom 4 Pro V2.0 [13]



**Fig. 9** Leica TS09 3'' R500 [14]

- Equipo de cómputo.



**Fig. 10** Laptop LENOVO, i7 decima generación, 16gb RAM [15]

### 2.5.2 Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizaron las siguientes técnicas:

- Análisis documental
- Observación directa
- Levantamiento topográfico y levantamiento arquitectónico del puente Sacta.



**Fig. 11** Levantamiento arquitectónico del puente Sacta



**Fig. 12** Levantamiento topográfico del puente Sacta



**Fig. 13** Medición del nivel de la marca de agua en los estribos del puente Sacta

### 2.5.3 Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos

Se utiliza como técnica de procesamiento la modelación hidráulica con los softwares Iber y Hec-ras para la obtención de los parámetros hidráulicos que nos permiten obtener la profundidad de socavación total en el puente Sacta. El análisis es cuantitativo de manera que se analiza la modelación de cada software para compararlas entre ambas, su interpretación de datos y resultados está basado en el manual de puentes emitida por el ministerio de transporte y comunicaciones [16].

### III. RESULTADOS.

#### 3.1 Procesamiento y análisis, e interpretación de datos.

##### 3.1.1 Estudios Topográficos

Se realizó el levantamiento topográfico y levantamiento arquitectónico del puente Sacta, el área levantada fue 440m aguas arriba, 220m aguas abajo y 100m a cada margen del cauce cumpliendo con las indicaciones del manual de diseño de puentes emitido por el MTC [16, p.46], obteniendo las curvas de nivel y los planos topográficos.

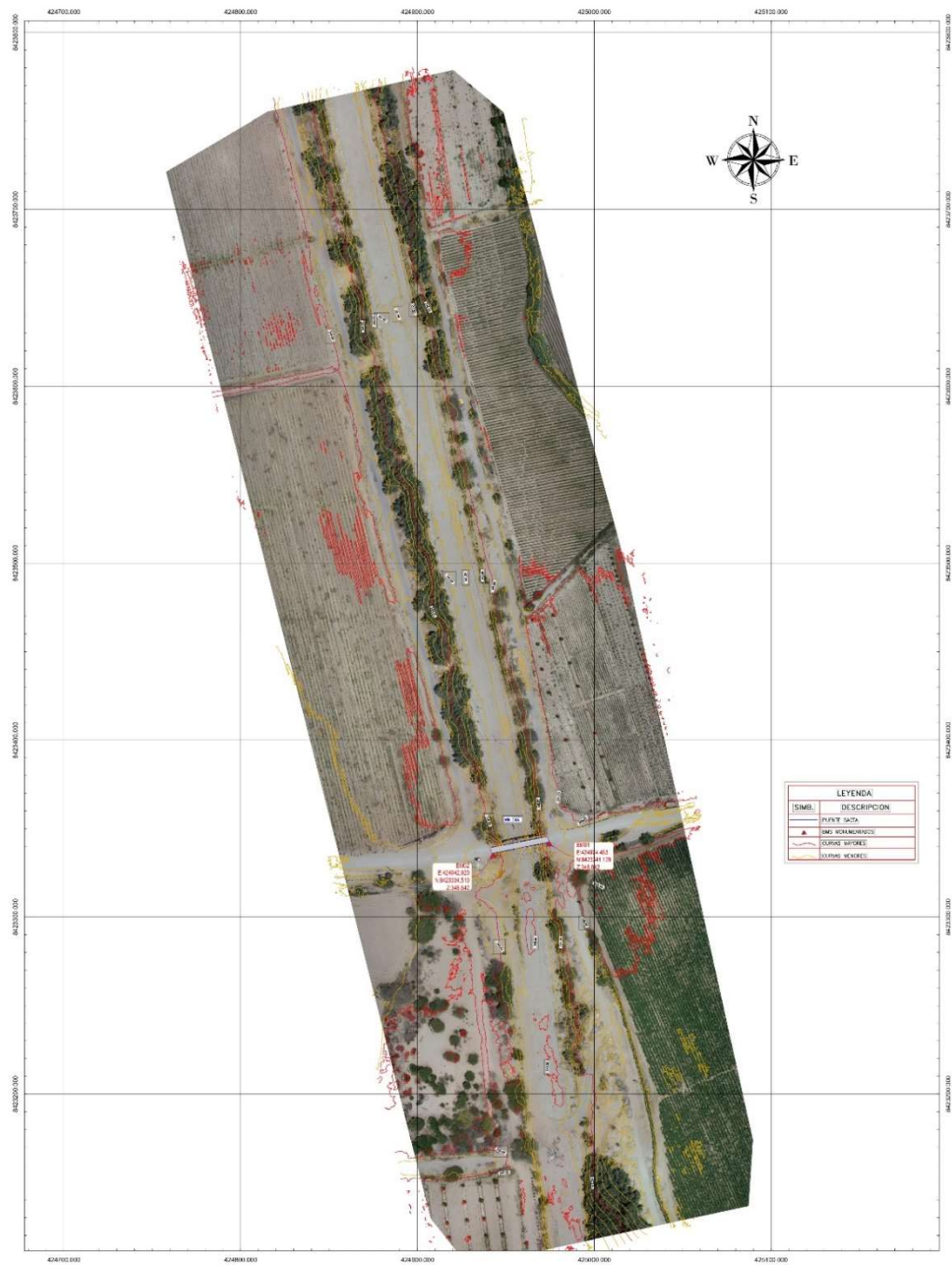


Fig. 14 Plano topográfico



**Tabla IV.**

Porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz de M1-C-1

| MUESTRA N°1 DE CALICATA C-1 |             |                      |
|-----------------------------|-------------|----------------------|
| MALLA                       | ABERTURA mm | % ACUMULADO QUE PASA |
| N°4                         | 4.75        | 100                  |
| N°10                        | 1.7         | 98.75                |
| N°20                        | 0.85        | 71.18                |
| N°40                        | 0.425       | 24.82                |
| N°60                        | 0.25        | 14.04                |
| N°100                       | 0.15        | 6.78                 |
| N°200                       | 0.075       | 4.78                 |
| FONDO                       |             | 0                    |

Nota: Información adaptada del expediente técnico realizado por el consorcio Ica [17]

**Tabla V.**

Porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz de M2-C-1

| MUESTRA N°2 DE CALICATA C-1 |             |                      |
|-----------------------------|-------------|----------------------|
| MALLA                       | ABERTURA mm | % ACUMULADO QUE PASA |
| N°4                         | 4.75        |                      |
| N°10                        | 1.7         | 100                  |
| N°20                        | 0.85        | 99.15                |
| N°40                        | 0.425       | 70.44                |
| N°60                        | 0.25        | 57.71                |
| N°100                       | 0.15        | 41.73                |
| N°200                       | 0.075       | 23.77                |
| FONDO                       |             | 0                    |

Nota: Información adaptada del expediente técnico realizado por el consorcio Ica [17]

**Tabla VI.**

Porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz de M3-C-1

| MUESTRA N°3 DE CALICATA C-1 |             |                      |
|-----------------------------|-------------|----------------------|
| MALLA                       | ABERTURA mm | % ACUMULADO QUE PASA |
| N°4                         | 4.75        | 0                    |
| N°10                        | 1.7         | 100                  |
| N°20                        | 0.85        | 99.74                |
| N°40                        | 0.425       | 96.1                 |
| N°60                        | 0.25        | 93.76                |
| N°100                       | 0.15        | 88.81                |
| N°200                       | 0.075       | 66.42                |
| FONDO                       | 0           | 0                    |

Nota: Información adaptada del expediente técnico realizado por el consorcio Ica [17]

**Tabla VII.**

Porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz de M4-C-1

| MUESTRA N°4 DE CALICATA C-1 |             |                      |
|-----------------------------|-------------|----------------------|
| MALLA                       | ABERTURA mm | % ACUMULADO QUE PASA |
| N°4                         | 4.75        | 0                    |
| N°10                        | 1.7         | 100                  |
| N°20                        | 0.85        | 99.6                 |
| N°40                        | 0.425       | 93.89                |
| N°60                        | 0.25        | 51.83                |
| N°100                       | 0.15        | 4.26                 |
| N°200                       | 0.075       | 2.76                 |
| FONDO                       |             | 0                    |

Nota: Información adaptada del expediente técnico realizado por el consorcio Ica [17]

**Tabla VIII.**

Porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz de M1-C-2

| MUESTRA N°1 DE CALICATA C-2 |             |                      |
|-----------------------------|-------------|----------------------|
| MALLA                       | ABERTURA mm | % ACUMULADO QUE PASA |
| N°4                         | 4.75        | 100                  |
| N°10                        | 1.7         | 99.1                 |
| N°20                        | 0.85        | 89.07                |
| N°40                        | 0.425       | 11.96                |
| N°60                        | 0.25        | 5.98                 |
| N°100                       | 0.15        | 2.83                 |
| N°200                       | 0.075       | 1.65                 |
| FONDO                       |             | 0                    |

Nota: Información adaptada del expediente técnico realizado por el consorcio Ica [17]

- Cálculo de D50

**Tabla IX.**

Resultados del D50 de cada unidad de muestra

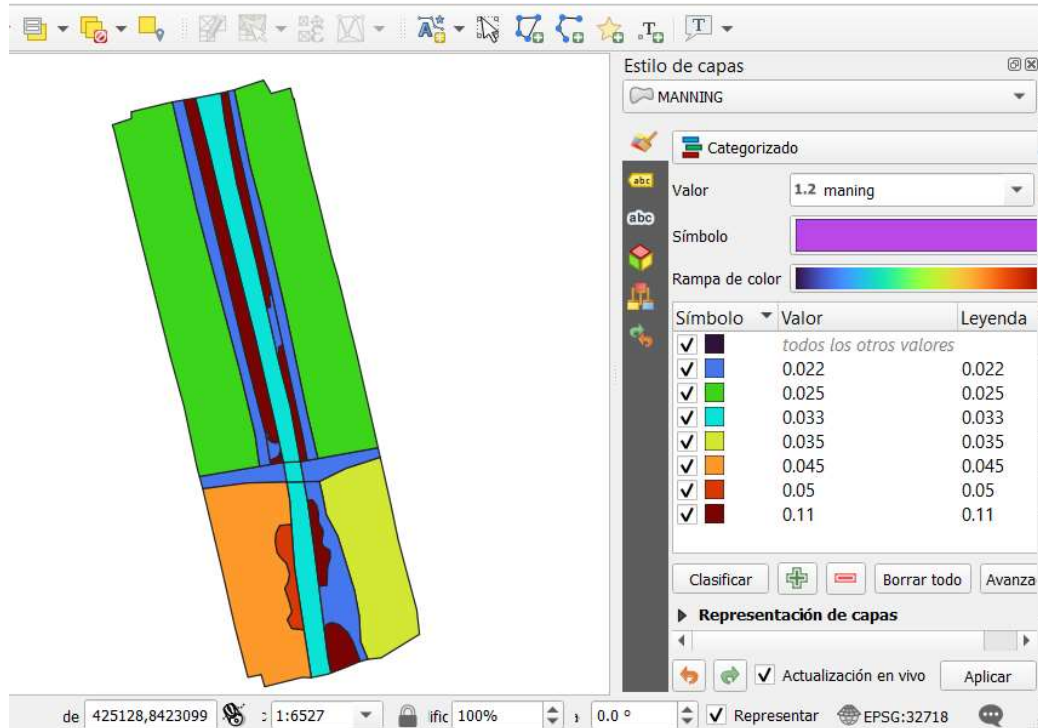
| MUESTRA | CALICATA | D50 (mm) | PROFUNDIDAD (m) |
|---------|----------|----------|-----------------|
| M1      | C-1      | 0.67     | 2.1             |
| M2      | C-1      | 0.20     | 0.9             |
| M3      | C-1      | 0.04     | 0.2             |
| M4      | C-1      | 0.25     | 1.2             |
| M1      | C-2      | 0.70     | 4.15            |

A partir de los resultados presentados en la tabla IX, Se realizó el promedio ponderado de cada muestra obteniéndose el diámetro medio representativo  $D50 = 0.560\text{mm}$

- Angulo de fricción  
El Angulo de fricción obtenido es  $38^\circ$  [17, p.36]
- Densidad relativa  
La densidad relativa obtenida es 1.56 [17, p.11]

### 3.1.3 Rugosidad

Se elaboró un archivo con extensión .asc con el software Qgis, que contiene los datos de rugosidad de toda el área levantada topográficamente, los valores de rugosidad de Manning se asignaron a las diferentes áreas identificadas con ayuda de la ortofoto del proyecto.



**Fig. 16** Valores de rugosidad de Manning asignados al proyecto

**Tabla X.**

Valores de rugosidad de Manning asignados al proyecto

| id | Manning | Nombre                                |
|----|---------|---------------------------------------|
| 1  | 0.035   | cultivos maduros medianos             |
| 2  | 0.033   | cauce recto, con montículos y malezas |
| 3  | 0.050   | arbustos dispersos, malezas pesadas   |
| 4  | 0.110   | vegetación densa, arboles rectos      |
| 5  | 0.022   | vía de tierra recta y uniforme        |
| 6  | 0.025   | cultivos maduros bajos                |
| 7  | 0.045   | cultivos maduros altos                |

Nota: Los valores fueron obtenidos del libro de flujos en canales abiertos de V. Chow [18]

### 3.1.4 Estudio Hidrológico

- Periodo de retorno

El manual de puentes del MTC nos indica que la inundación de diseño para socavación en puentes debe ser la más extrema del periodo de retorno de 100 años [16, p.47] por lo que el periodo de retorno elegido para esta investigación es de T=100 años.

- Caudal de diseño

En esta tesis se tomaron los datos de caudales del hidrograma para un periodo de retorno de 100 años del anexo 04 (estudio de climatología, hidrología y sedimentos) del expediente técnico del proyecto “control de desbordes e inundaciones en el río Ica y quebrada Cansas/Chanchajalla” – año 2015, desarrollado por el consorcio rio Ica [19].

- Hidrograma

**Tabla XI.**

Hidrograma para un periodo de retorno de 100 años

| RIO ICA |   |       |  |
|---------|---|-------|--|
| HORA    | CAUDAL DE PERIODO<br>DE RETORNO DE 100<br>AÑOS m3/s | HORA  | CAUDAL DE<br>PERIODO DE<br>RETORNO DE 100<br>AÑOS m3/s |
| 05:45   | 188   | 11:00 | 345  |
| 06:00   | 229   | 11:15 | 333  |
| 06:15   | 270   | 11:30 | 321  |
| 06:30   | 310   | 11:45 | 308  |
| 06:45   | 352   | 12:00 | 298  |
| 07:00   | 441   | 12:15 | 289  |
| 07:15   | 531   | 12:30 | 279  |
| 07:30   | 621   | 12:45 | 270  |
| 07:45   | 628   | 13:00 | 261  |
| 08:00   | 621   | 13:15 | 251  |
| 08:15   | 583   | 13:30 | 242  |
| 08:30   | 546   | 13:45 | 232  |
| 08:45   | 509   | 14:00 | 226  |
| 09:00   | 487   | 14:15 | 220  |
| 09:15   | 465   | 14:30 | 213  |
| 09:30   | 443   | 14:45 | 207  |
| 09:45   | 421   | 15:00 | 202  |
| 10:00   | 405   | 15:15 | 197  |
| 10:15   | 389   | 15:30 | 192  |
| 10:30   | 373   | 15:45 | 188  |
| 10:45   | 358   |       |  |

- Caudal para el proceso de calibración de los modelos hidráulicos

El proceso de calibración de un modelo hidráulico comienza con la recopilación de datos observados de un evento histórico en el área del proyecto. una vez completada la simulación de un modelo, se pueden realizar comparaciones entre los valores calculados y los valores observados. Si los resultados del modelo coinciden con los datos observados en campo, entonces el modelo esta calibrado, si no coinciden se

deben ajustar los parámetros del modelo y volver a ejecutar la simulación hidráulica hasta que se obtengan los valores aceptados [1, p.151].

El caudal de calibración para esta investigación se consideró el caudal registrado el 04 de febrero del 2023, el cual fue de un valor igual a 179.34 m<sup>3</sup>/s según el Senamhi.

La cota de la huella de agua medida en campo en los estribos del puente Sacta después de ese evento fue 343.82 m.s.n.m [20].

### **3.2 Modelamiento Hidráulico**

Existen variados modelos de simulación hidráulica tanto 1D, 2D y 3D, pero en esta tesis se tiene un gran interés por el desarrollo del cálculo de la socavación total en el puente Sacta con modelos hidráulicos bidimensionales, esto es debido a que los modelos hidráulicos 2D eliminan las suposiciones que tiene el modelado 1D porque con el modelo 2D el comportamiento del flujo se analiza en 2 direcciones haciendo que su cálculo sea más ajustado a la realidad. Además, es de gran utilidad en áreas relativamente mayores que los modelos 3D, y también es recomendado utilizar los modelos 2D en el cálculo de socavación de puentes en ríos poco profundos de acuerdo con la guía completa para el uso de modelos hidráulicos bidimensionales elaborado por la administración federal de carreteras de los Estados Unidos [1]. Por todo lo antes mencionado, se eligió desarrollar el modelo bidimensional Iber versión 3.2.2 y el modelo bidimensional Hec-ras versión 6.3.1 debido a que son softwares que mejor se ajustan a las condiciones de borde del río Ica, son softwares reconocidos y gratuitos.

#### **3.2.1 Modelamiento hidráulico Iber versión 3.2.2**

##### **3.2.1.1 Descripción**

Iber es un modelo hidráulico bidimensional de flujo turbulento en lámina libre, con un régimen no permanente y de procesos de transporte de sedimentos en hidráulica fluvial. Iber se aplica en los cálculos de la hidrodinámica fluvial, la simulación hidráulica utilizada para rotura de presas, la evaluación en zonas de inundación, el cálculo de erosión/sedimentación y el flujo de marea en estuarios. Iber fue desarrollado en colaboración con el Grupo de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, la Universidad de Coruña, la Universidad Politécnica de Cataluña, el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, el laboratorio EPhysLab de la Universidad de Vigo y el Centro de Estudios Hidrográficos de CEDEX [21, p.5].

##### **3.2.1.2 Ecuaciones hidrodinámicas**

El modelo Iber utiliza las ecuaciones de conservación de masa y conservación de momento de manera bidimensional.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = M_s$$

$$\frac{\partial h U_x}{\partial t} + \frac{\partial h U_x^2}{\partial x} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} - \frac{g}{\rho} \frac{h^2}{2} \frac{\partial \rho}{\partial x} + 2 \Omega \sin \lambda U_y + \frac{\partial h \tau_{xx}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial y} + M_x$$

$$\frac{\partial h U_y}{\partial t} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial x} + \frac{\partial h U_y^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} - \frac{g}{\rho} \frac{h^2}{2} \frac{\partial \rho}{\partial y} - 2 \Omega \sin \lambda U_x + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{yy}^e}{\partial y} + M_y$$

**Fig. 17** Ecuación de conservación de masa y de momento [21, p.7]

Donde:

h: calado (m)

$U_x$ ,  $U_y$ : velocidad horizontal en el eje x e y respectivamente promediadas en profundidad (m/s).

g: aceleración gravitatoria (m/s<sup>2</sup>).

$Z_s$ : elevación de la lámina libre (m).

$\tau_s$ : fricción en la superficie libre debido al rozamiento producido por el viento (N).

$\tau_b$ : fricción debido al rozamiento del fondo,  $\rho$  es la densidad del agua (N).

$\Omega$ : velocidad angular de rotación de la tierra (rad).

$\lambda$ : latitud del punto considerado (m).

$\rho$ : densidad del agua (Kg/m<sup>3</sup>).

$\tau_{xx}^e$ ,  $\tau_{xy}^e$ ,  $\tau_{yy}^e$ : tensiones tangenciales efectivas horizontales (Pa).

$M_s$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ : son respectivamente los términos fuente/sumidero de masa y de momento.

### 3.2.1.3 Esquema numérico

Las ecuaciones hidrodinámicas de conservación de masa y conservación de momento, las ecuaciones del módulo de turbulencia y el módulo de transporte de sedimentos, se resuelven de manera integral utilizando el método de volúmenes finitos.

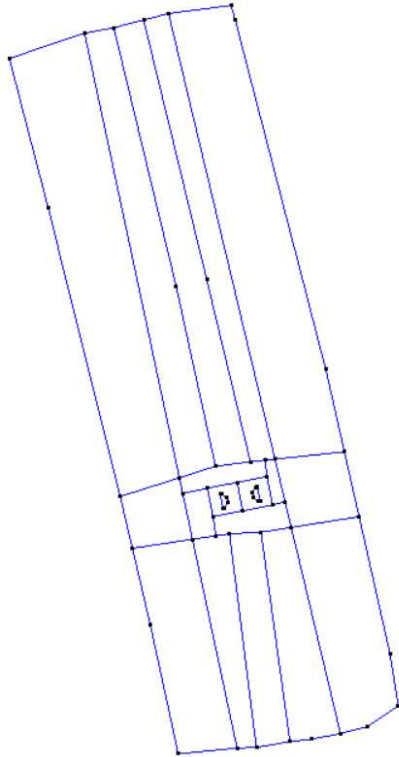
Para resolver dichas ecuaciones mediante el método de volúmenes finitos, primero se debe realizar una discretización espacial del terreno a estudiar. Por ello se divide el terreno estudiado en celdas de tamaño relativamente pequeño (malla computacional de cálculo), el modelo Iber utiliza mallas de tipo no estructuradas que contienen elementos que pueden tener 3 o 4 lados, la principal ventaja de utilizar mallas no estructuradas es que tienen la facilidad de adaptarse a cualquier geometría. Esta cualidad las hace especialmente recomendadas para su utilización en hidráulica fluvial.

### 3.2.1.4 Pre proceso

Para realizar la simulación hidráulica del río Ica - tramo del puente Sacta en el modelo Iber se realizaron los siguientes pasos.

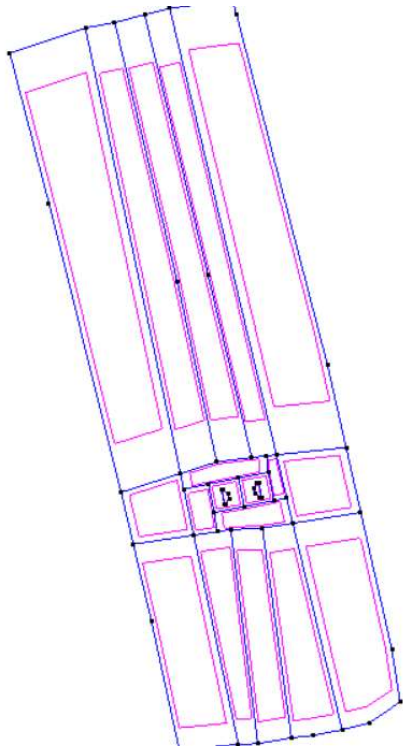
- Creación del proyecto e importación de la geometría

Se creó la geometría en el programa Civil 3d usando polilíneas que encierran el área del proyecto, luego de ello se creó un nuevo proyecto en Iber y se importó la geometría.



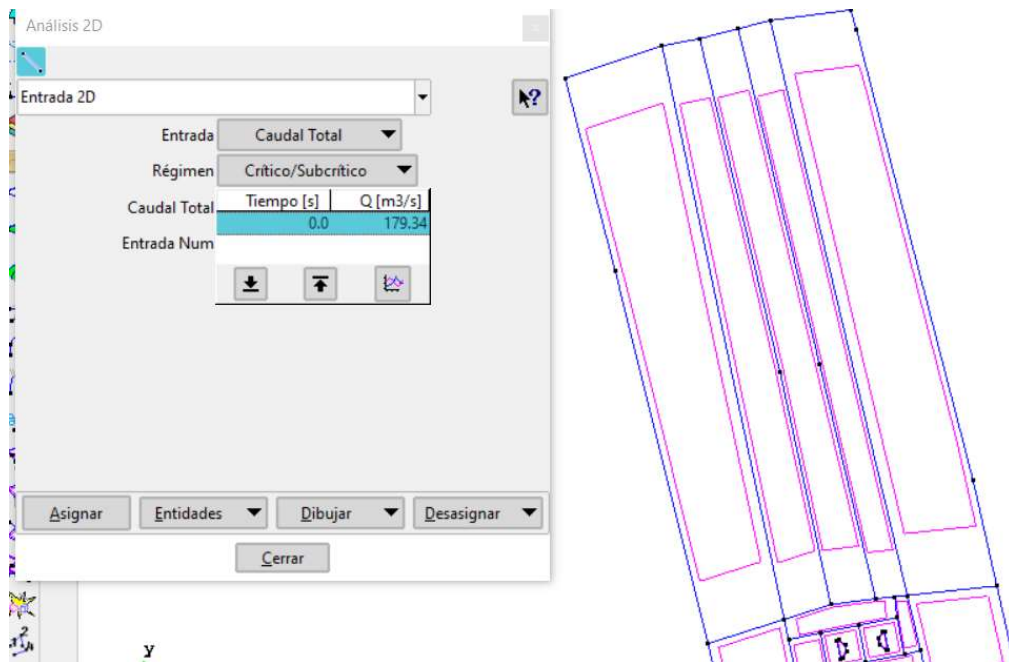
**Fig. 18** Geometría en Iber importada desde civil 3D

- Creación de las superficies a partir de la geometría  
Se crearon las superficies para cada área encerrada entre polilíneas importadas desde el civil 3d, las cuales sirvieron para la creación de las mallas computacionales.



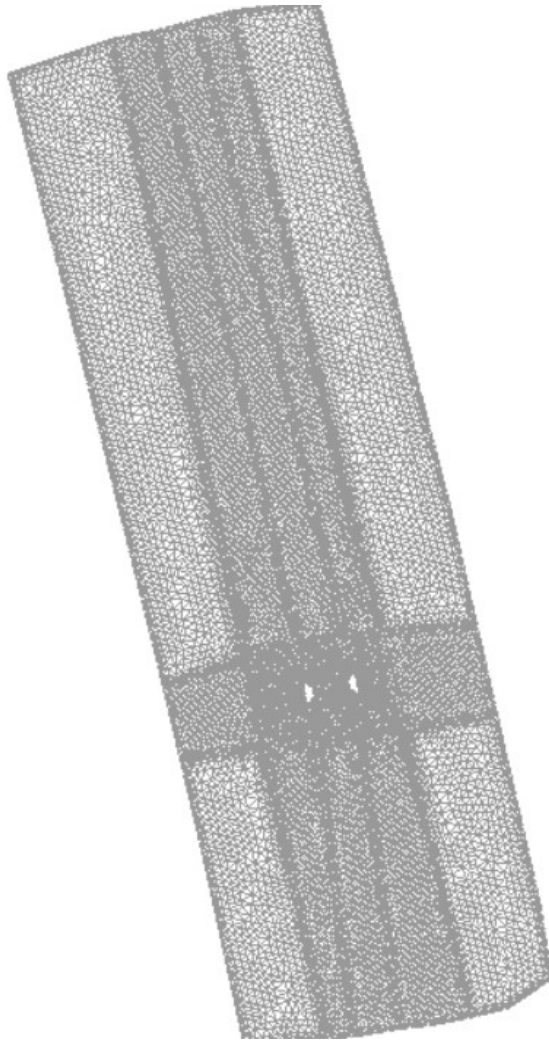
**Fig. 19** Superficies creadas en iber con la opción geometría >crear>superficie

- Asignación de caudales a emplear en la simulación hidráulica  
 Se asignaron los caudales después de crear la superficie, primero se asignó el caudal de calibración y luego de verificar su confiabilidad se asignó el hidrograma de T=100 años.

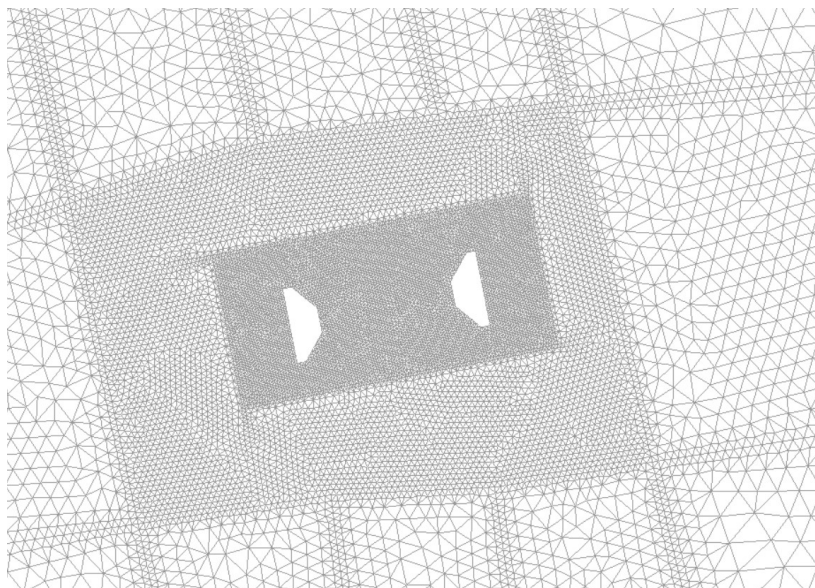


**Fig. 20** Caudal de calibración asignado con la opción datos >hidrodinámica>condiciones de contorno

- Creación de la malla computacional para el calculo  
Se crearon mallas computacionales no estructuradas de diferentes tamaños para reducir el tiempo del cálculo (mallas de mayor tamaño) y asegurar la precisión del cálculo al pie de estribos (mallas de menor tamaño), se asignaron mallas de 5 metros para llanuras de inundación, mallas de 3 metros para el cauce y la vía existente, mallas de 1 metro en el puente Sacta y mallas de 0.50 metros en el pie de los estribos.



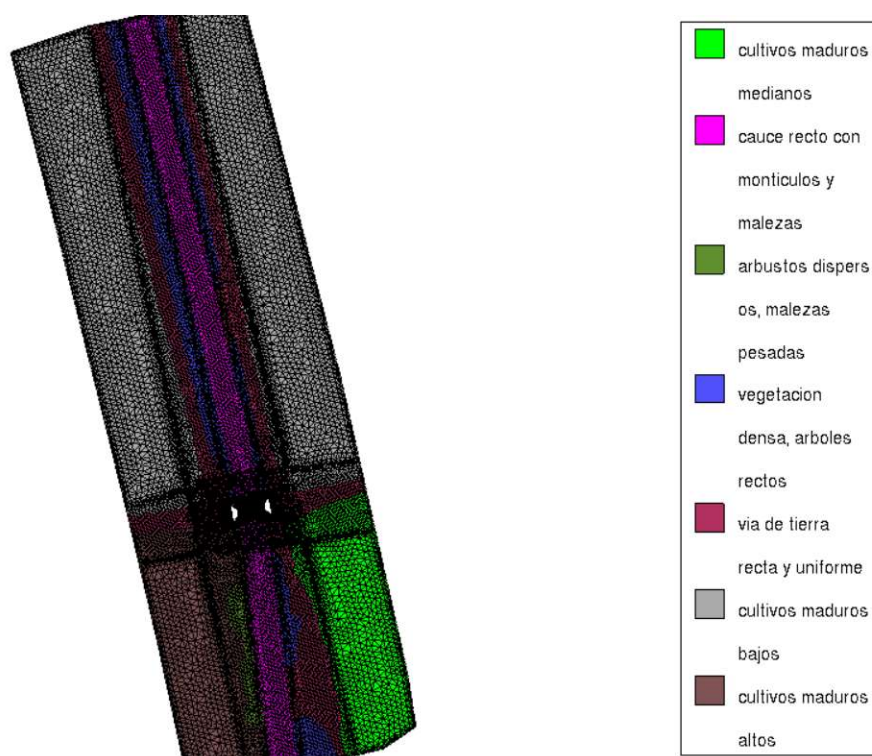
**Fig. 21** Malla generada para el calculo hidrodinamico



**Fig. 22** Vista de malla generada en los estribos del puente sacra para el calculo hidrodinamico

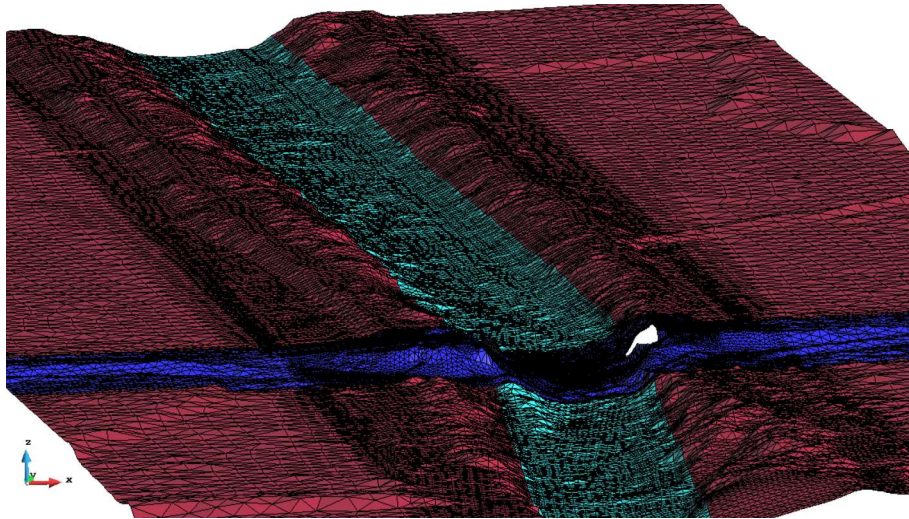
- Asignación de parámetro de rugosidad de Manning

Se asignaron los parámetros de rugosidad de Manning a través de la importación de un archivo .asc creado en el programa Qgis.



**Fig. 23** Vista de rugosidad asignada al modelo con la opcion datos >rugosidad>asignacion automatica

- Asignación de la elevación al modelo, para ello importamos el archivo de la topografía obtenida con extensión .tif



**Fig. 24** Vista de la elevación asignada al modelo con la opción herramientas iber > malla > editar > asignar elevación desde archivo

- Asignación de los datos generales para el cálculo (tiempo de cálculo, parámetros de esquema numérico, activación de módulo de sedimentos)

Se asignaron los datos obtenidos del estudio de mecánica de suelos como se muestra en la fig.25 y los parámetros de tiempo para simular el tiempo equivalente al hidrograma de T=100 años y el caudal de calibración

Datos

Parámetros de Tiempo | General | Resultados | Vía Intenso Desagüe | Cubiertas | Turbulencia | Transporte de Sedimentos

Transporte en Suspensión

Transporte de Fondo

Modelo

Tipo de sedimento

d50 [m]

Porosidad TF

Densidad relativa TF

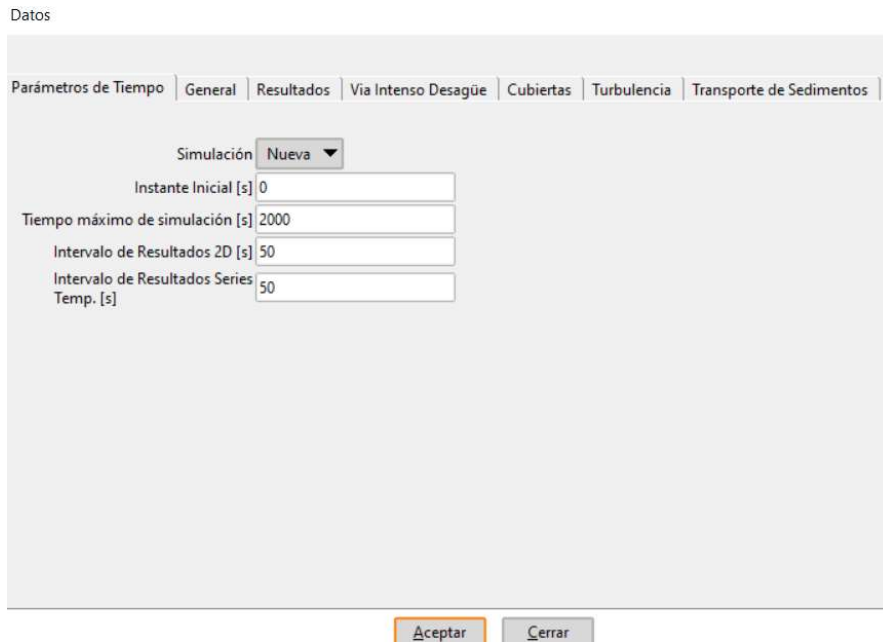
Partición de Einstein

Modelo de Avalancha TF

Ángulo de fricción TF [rad]

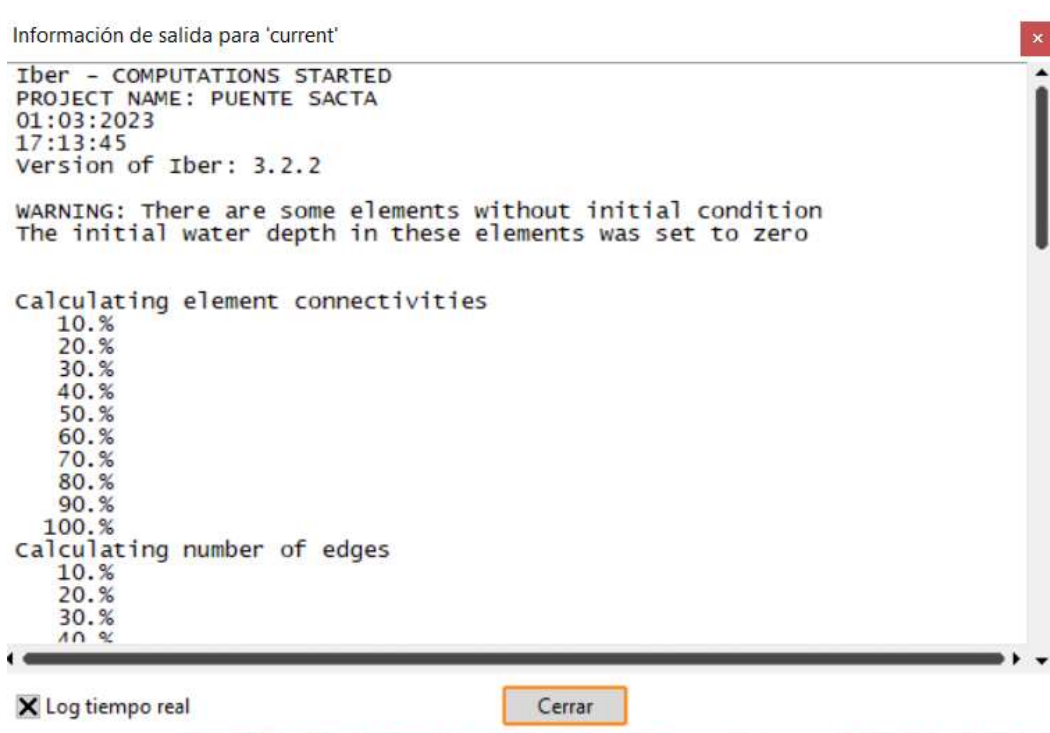
Instante inicio TF [s]

**Fig. 25** Vista de los datos de sedimentos asignados con la opción datos > datos del problema > transporte de sedimentos



**Fig. 26** Vista de los datos de tiempo de calculo con la opcion datos>datos del problema>parametros de tiempo

- Lanzamiento del calculo



**Fig. 27** Vista de lanzamiento de calculo con la opcion calcular>calcular

### 3.2.1.5 Post proceso

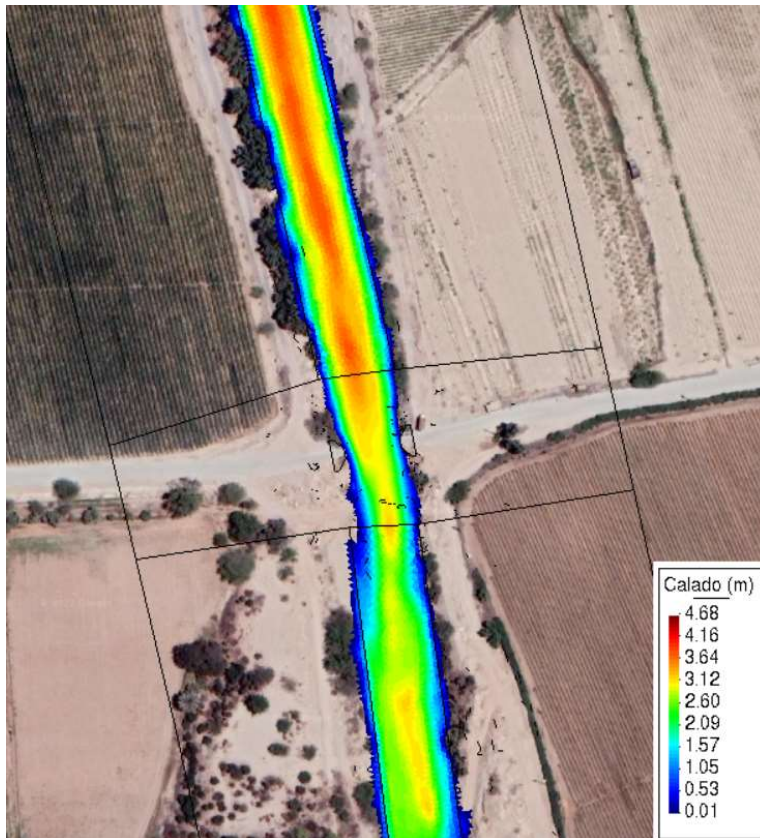
Es la etapa después de lanzar el cálculo, en esta etapa se visualizan los valores obtenidos de la simulación hidráulica. En el postproceso primero verificamos la calibración del modelo

hidráulico para validar los resultados (o ajustar los parámetros si fuese necesario), luego de ello se obtiene los resultados de la socavación total de puente Sacta.

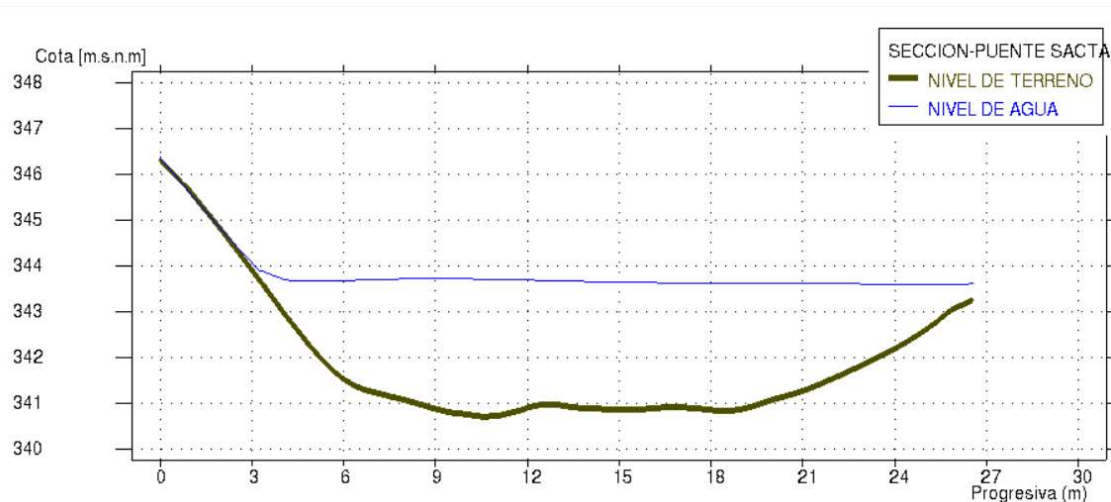
#### 3.2.1.5.1 Calibración del modelo Iber

Para la calibración del modelo Iber se utilizó un caudal  $Q=179.34 \text{ m}^3/\text{s}$ , el cual fue la avenida máxima del río Ica en febrero del 2023, registrada el día 04/02/2023 por el Senamhi.

En la figura 28 se muestran los resultados en planta del modelo Iber para el caudal de calibración y en la figura 29 se muestra la sección transversal del río Ica al eje del puente Sacta



**Fig. 28** Vista del río Ica-tramo Sacta, simulado en Iber v.3.2.2 para un  $Q=179.34 \text{ m}^3/\text{s}$



**Fig. 29** Vista de la sección transversal del río Ica-eje del puente Sacta, simulado en Iber v.3.2.2 para un  $Q=179.34 \text{ m}^3/\text{s}$

De la sección transversal del eje del puente Sacta se obtuvo una cota del nivel de agua de 343.77 m.s.n.m, que al ser comparado con la cota obtenida en campo de 343.82 m.s.n.m se concluyó que el modelo quedó validado.

#### 3.2.1.5.2 Cálculo de la socavación total del puente Sacta con el modelo Iber

Se realizó el cálculo de la socavación de manera directa utilizando el módulo incorporado dentro del modelo Iber, denominado: transporte de sedimentos.

- Módulo de transporte de sedimentos de Iber

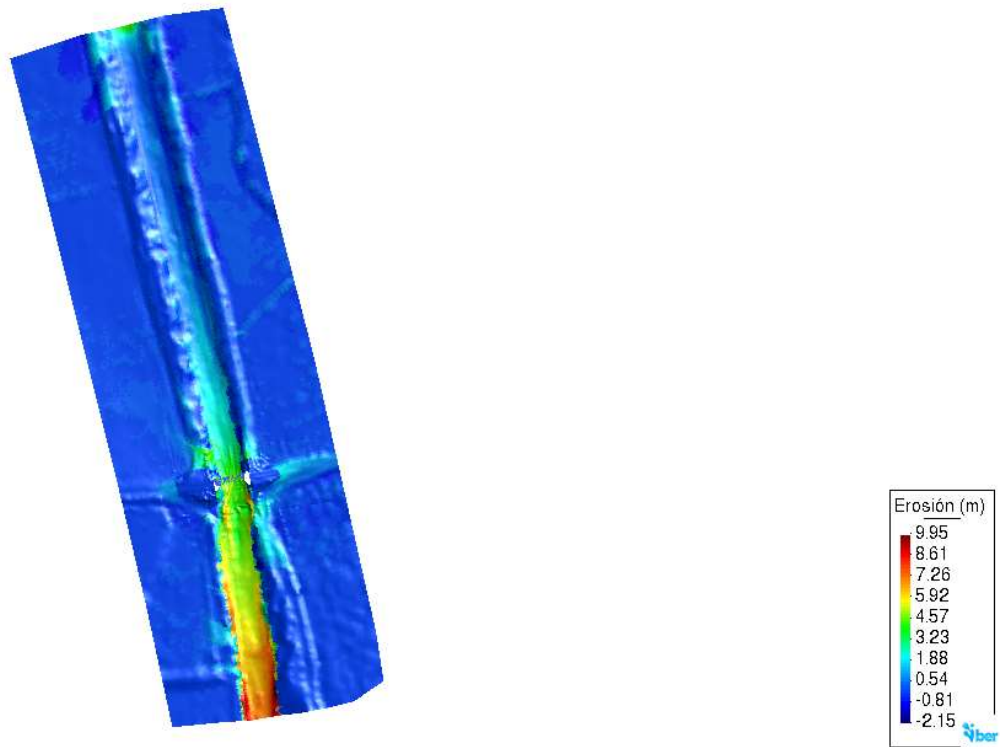
Este módulo resuelve las ecuaciones de transporte de material de fondo utilizando el campo de velocidades, calados y de turbulencia proporcionado por los módulos de hidrodinámica y de turbulencia [21, p.30].

Para calcular el transporte de sedimentos en esta tesis se utilizó el método de Meyer-Peter Müller, el cual está incorporado en el modelo Iber y es el adecuado en ríos con suelos granulares como el río Ica.

- Resultados de socavación total mediante Iber

Se muestran los resultados después de realizar la simulación hidráulica con el modelo Iber v.3.2.2, habiéndose empleado el hidrograma para  $T=100$  años que se muestra en la tabla XI. y con los parámetros de sedimentos que se muestran en la fig.25.

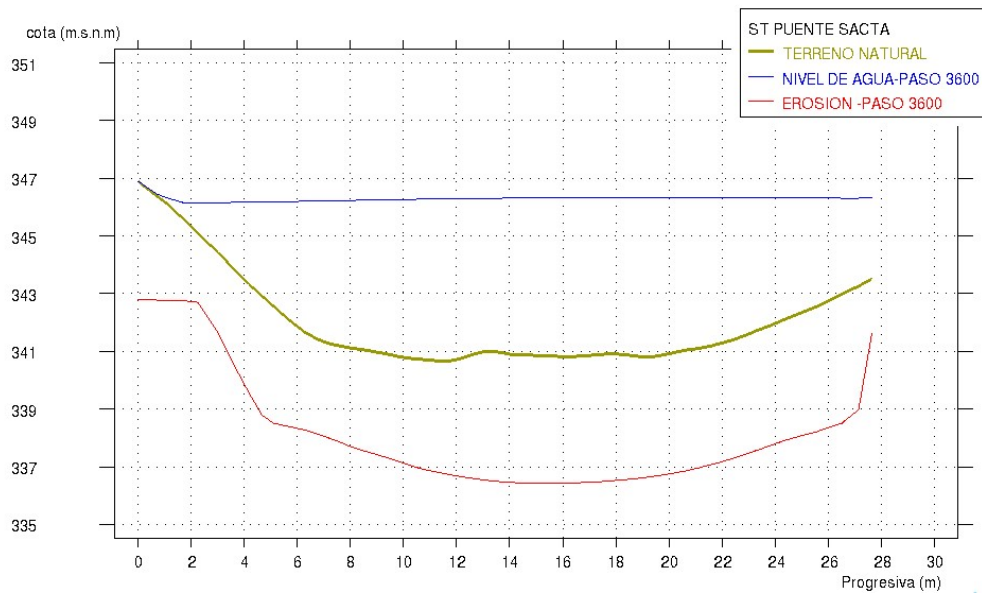
Se ubicó una sección de muestreo en el puente Sacta (entre los estribos), el cual presentó los resultados de socavación más desfavorables para la estructura en estudio.



**Fig. 30** Vista en planta de la socavacion total del area de estudio



**Fig. 31** Vista de la Seccion de muestreo de la socavacion mas desfavorable de los estribos



**Fig. 32** Vista de las profundidades de socavacion total de la seccion de muestreo del puente sacta

De los valores obtenidos en Iber, se exportó una tabla y se extrajo los valores de socavación total que a continuación se muestra en la siguiente tabla

**Tabla XII.**

Socavación total en estribos calculados en Iber

|   |      |
|---|------|
| Socavación total en el estribo derecho (m) =  | 3.26 |
| Socavación total en el estribo Izquierdo (m)= | 4.36 |

### 3.2.2 Modelamiento hidráulico Hec ras v. 6.3.1

#### 3.2.2.1 Descripción

HEC-RAS es un software que nos permite realizar simulaciones hidráulicas de flujo permanente unidimensionales; cálculos hidráulicos de ríos de flujo no-permanente unidimensional y bidimensional; análisis de la temperatura del agua; y modelado generalizado de la calidad del agua (destino y transporte de nutrientes). Este software fue desarrollado por el centro de ingeniería hidrológica, que es una división del instituto de recursos hídricos del cuerpo de ingenieros del ejército de EE.UU [22].

#### 3.2.2.2 Ecuaciones hidrodinámicas

El modelo Hec-ras utiliza las ecuaciones de agua poco profundas, el cual son un conjunto simplificado de ecuaciones donde se supone un flujo incompresible, densidad uniforme y presión hidrostática[22, p.75].

- Conservación de la masa

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q$$

**Fig. 33** Ecuación de conservación de masa [22]

Donde:

t: es el tiempo (s)

u: es la componente de velocidad en x (m/s).

v: es la componente de velocidad en y (m/s).

q: es un término de flujo fuente/sumidero.

- Conservación del momento

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f_c v = -g \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_{t,xx} h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_{t,yy} h \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,x}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f_c u = -g \frac{\partial z_s}{\partial y} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_{t,xx} h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_{t,yy} h \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,y}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y}$$

**Fig. 34** Ecuación de conservación del momento [22, p.78]

Donde:

u, v: Velocidades en las direcciones cartesianas (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

z<sub>s</sub>: Elevación de la superficie del agua (m).

ν<sub>t,xx</sub>, ν<sub>t,yy</sub>: Coeficientes de viscosidad de remolino horizontal en las direcciones x e y (m<sup>2</sup>/s).

τ<sub>b,x</sub>, τ<sub>b,y</sub>: Esfuerzos cortantes inferiores en las direcciones x e y, respectivamente (kg/m/s<sup>2</sup>).

R: Radio hidráulico (m)

τ<sub>s,x</sub>, τ<sub>s,y</sub>: Esfuerzos de viento en la superficie en las direcciones x e y, respectivamente

h: Profundidad del agua (m)

f<sub>c</sub>: Parámetro Coriolis (1/s).

p<sub>a</sub>: Presión atmosférica (kg/m/s<sup>2</sup>).

### 3.2.2.3 Métodos numérico

Hec-ras resuelve las ecuaciones de aguas poco profundas usando el método euleriano-lagrangiano (SWE-ELM), el cual sigue el siguiente algoritmo de solución:

1. Los datos de geometría, ortogonalidad local y batimetría de subcuadrícula se obtienen o se calculan previamente
2. La solución comienza con H<sup>o</sup> y como la condición inicial proporcionada en el paso de tiempo n=0

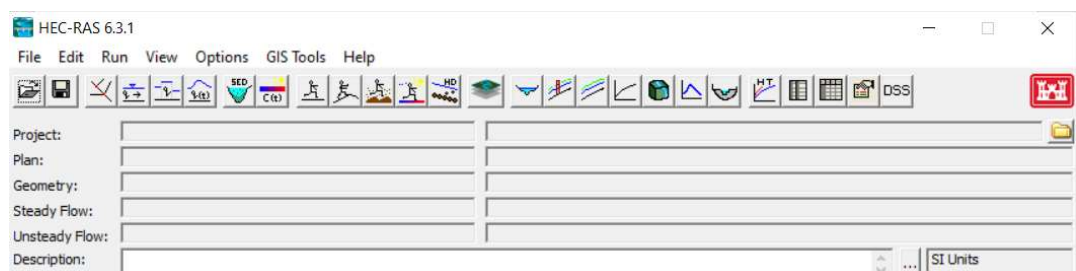
3. Se proporcionan condiciones de contorno para el siguiente paso de tiempo  $n+1$ .
4. Supuesto inicial  $Z_S^{n+1} = Z_S^n$  y  $u_N^{n+1} = u_N^n$
5. Cálculo de los términos explícitos que permaneces constantes a través del cálculo de paso de tiempo, como el campo laplaciano de difusión
6. Cálculo de la elevación promedio de la superficie del agua y las cantidades de batimetría de la subcuadrícula que dependen de la elevación calculada (áreas de la superficie del fluido, radios hidráulicos,  $n$  de Manning, etc.).
7. Se ensambla un sistema de ecuaciones para la continuidad en las celdas.
8. El sistema de ecuaciones se resuelve iterativamente usando el algoritmo tipo Newton con las condiciones de contorno dadas para obtener una solución candidata  $H$ .
9. Las velocidades  $u_N^{n+1}$  se calculan en base a la ecuación de momento discreto.
10. Si el residuo (o alternativamente, la corrección) es mayor que una tolerancia dada (y no se ha alcanzado el número máximo de iteraciones), regrese al paso 6; de lo contrario, continúe con el siguiente paso.
11. Se acepta la solución calculada
12. Incremento  $n$ . si hay más pasos de tiempo, vuelva al paso 3, de lo contrario finalice.

#### 3.2.2.4 Pre proceso

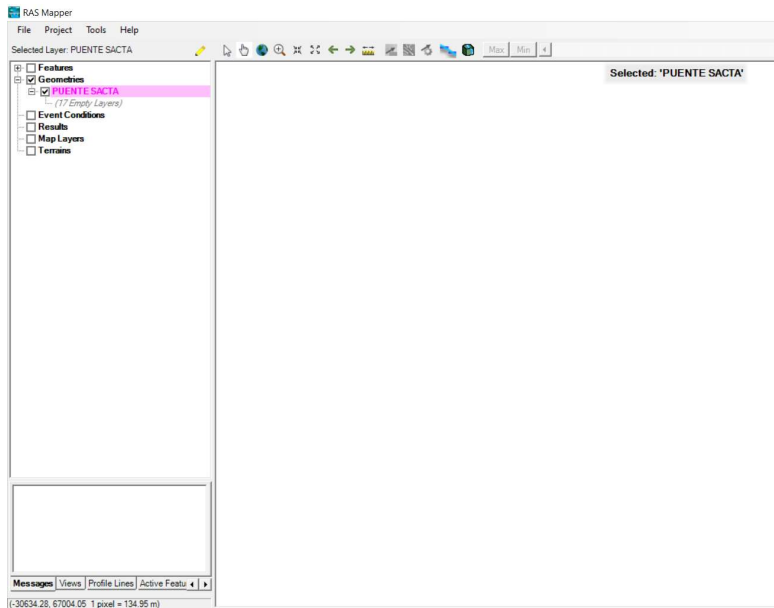
Para realizar la simulación hidráulica del rio Ica - tramo del puente Sacta en el modelo Hec-ras v.6.3.1 se realizaron los siguientes pasos

- Creación del proyecto y creación de la geometría con ras mapper

Se crearon un nuevo proyecto desde la ventana principal y se utilizó la herramienta RAS Mapper para crear la geometría



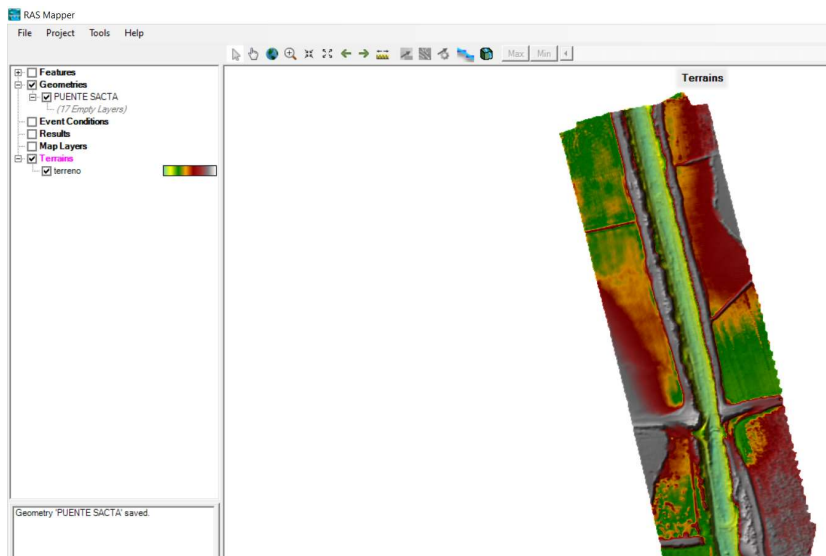
**Fig. 35** Vista de la ventana principal del programa Hec-ras



**Fig. 36** Creación de la geometría con la herramienta RAS mapper

- Importación del terreno

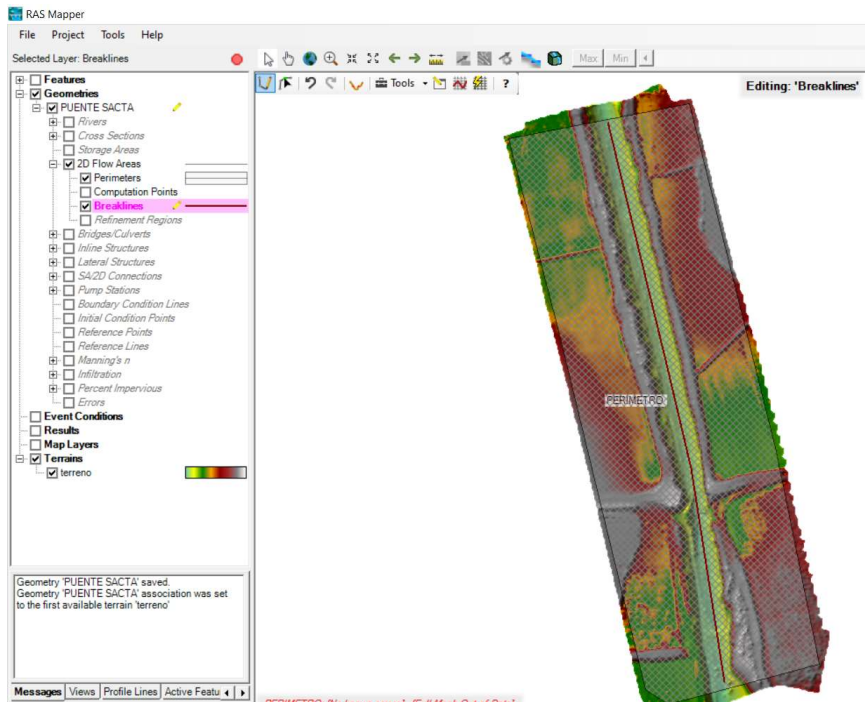
Se importó el modelo digital de elevaciones del terreno en estudio desde la ventana principal de la herramienta RAS Mapper



**Fig. 37** Terreno importado en ras mapper con la opción terreno >create a new RAS terrain

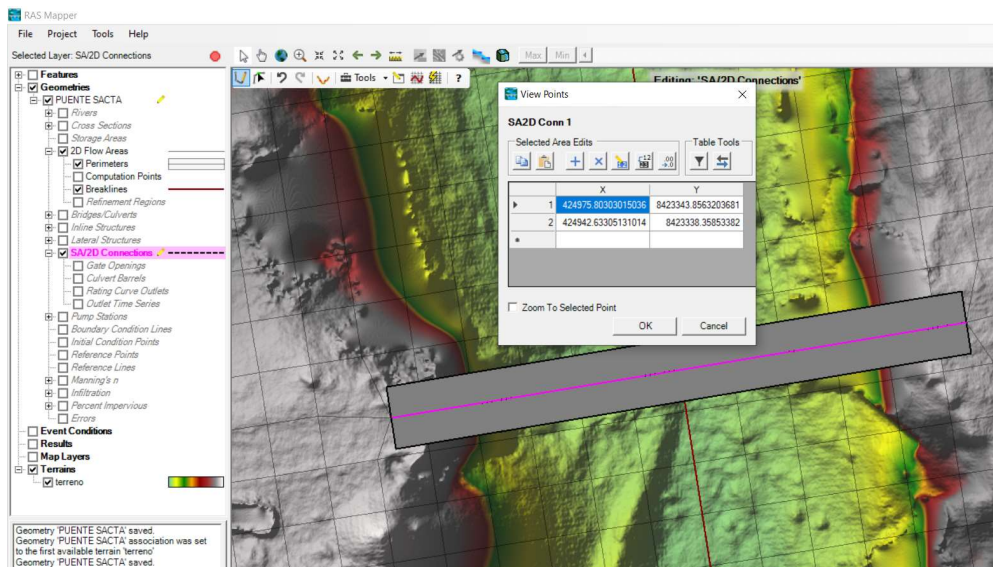
- Creación de la malla computacional

Se crearon mallas computacionales no estructuradas de tamaño de 1 metro en el área de aproximación del puente Sacta (10 metros aguas arriba y 10 metros aguas abajo), y mallas de tamaño de 3 metros para el área restante.



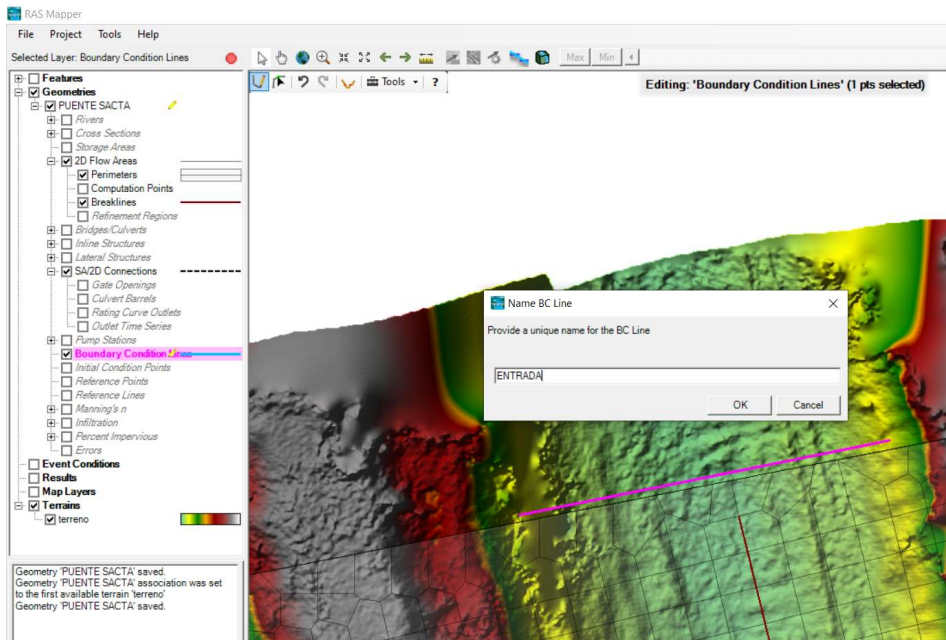
**Fig. 38** Malla computacional asignada con la opción: 2D flow areas>Perimeters

- Asignación de la estructura del puente Sacta  
Se asignó el puente Sacta según la ubicación de las coordenadas levantadas en campo.



**Fig. 39** Puente Sacta asignado con la opción: SA/2D connections

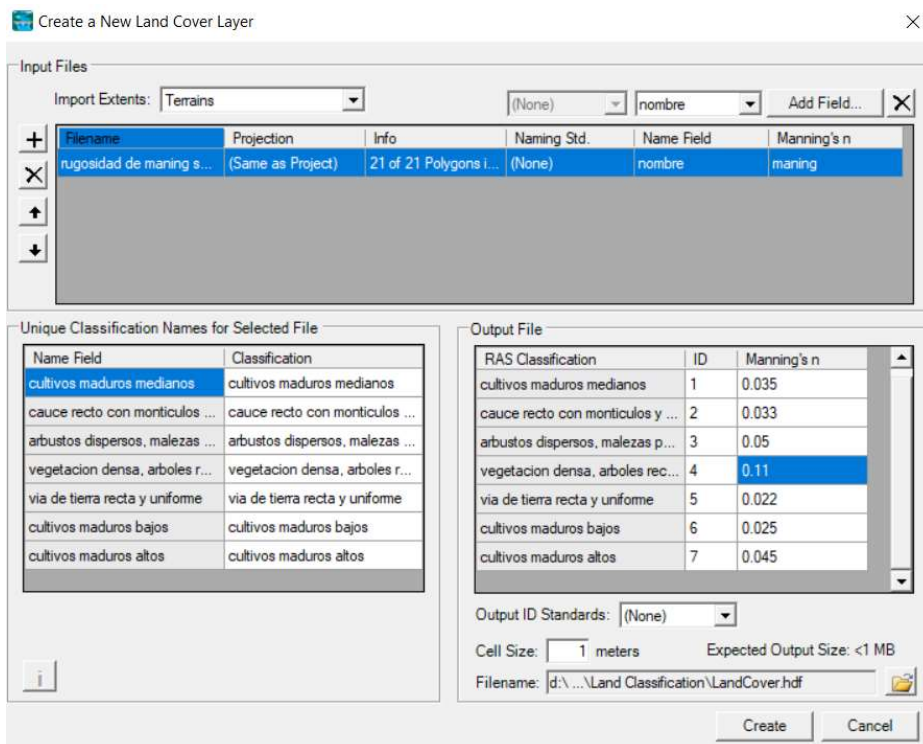
- Creación de las condiciones de entrada y salida



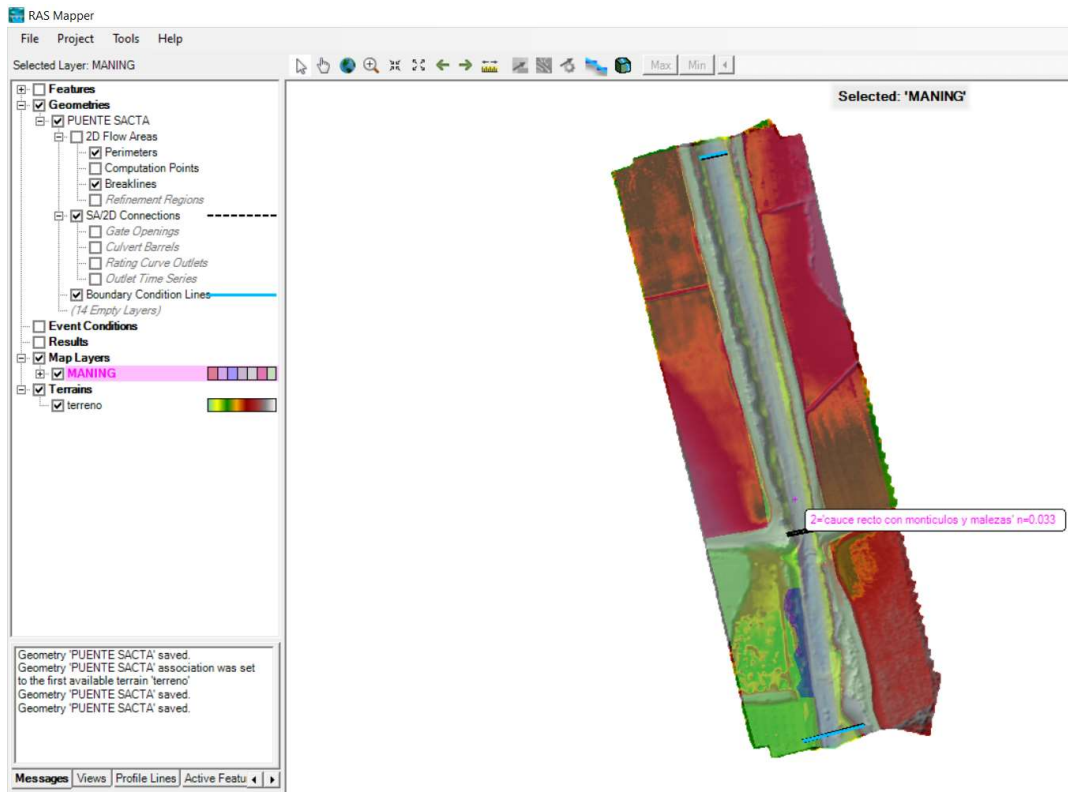
**Fig. 40** Creacion de las condiciones de contorno con la opcion boundary condition lines

- Asignación de parámetro de rugosidad de Manning

Se asignaron los parámetros de rugosidad de Manning a través de la importación de un archivo .asc creado en el programa Qgis

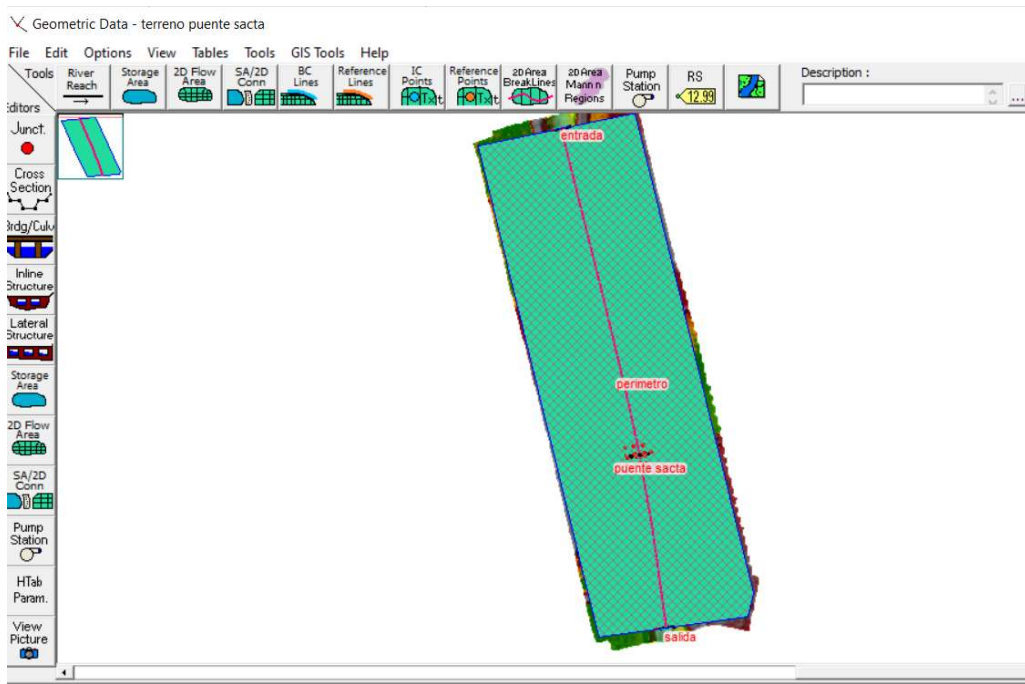


**Fig. 41** Valores de rugosidad importado desde un archivo asc. al modelo con la opcion Map layers>create a new Ras layer>land cover layer



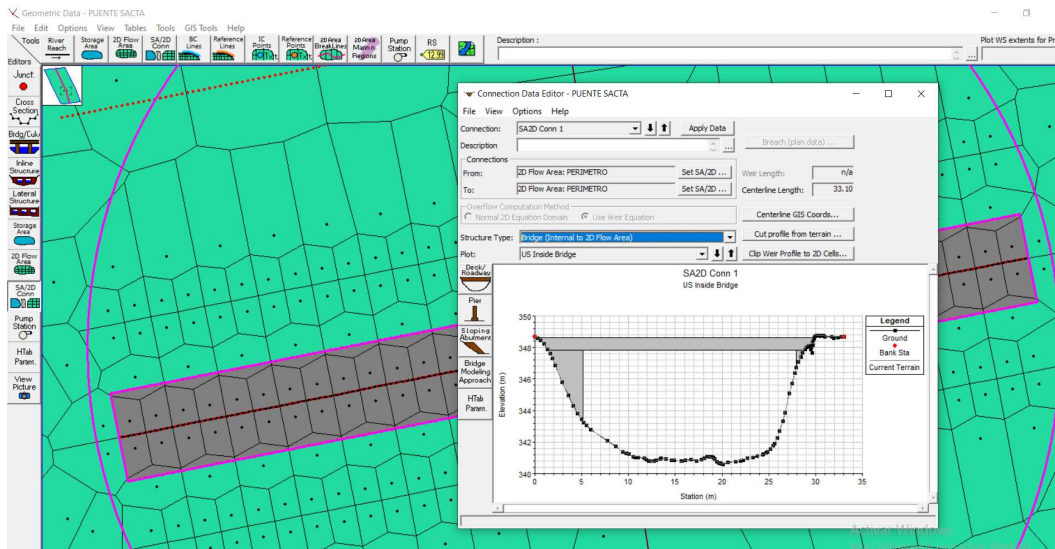
**Fig. 42** Vista de rugosidad asignada al modelo

- Asignación de la geometría al proyecto, para ello ingresamos a la ventana principal de Hec ras en la opción: “edit geometric data”, e importamos la geometria creada en RAS mapper.



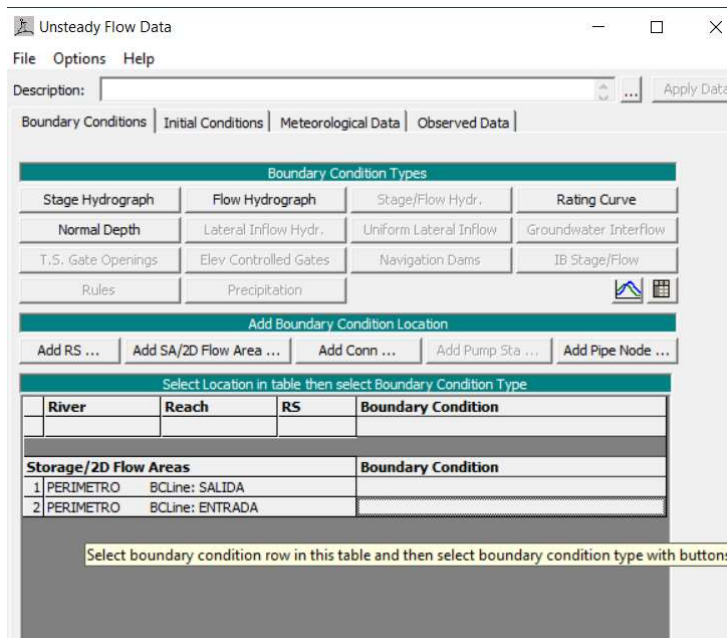
**Fig. 43** Vista de la geometria Hec ras importada desde RAS mapper

- Asignación de las características del puente Sacta al modelo  
Se asignaron las características del puente Sacta (medidas de tablero y estribos), obtenidas del levantamiento arquitectónico en campo.

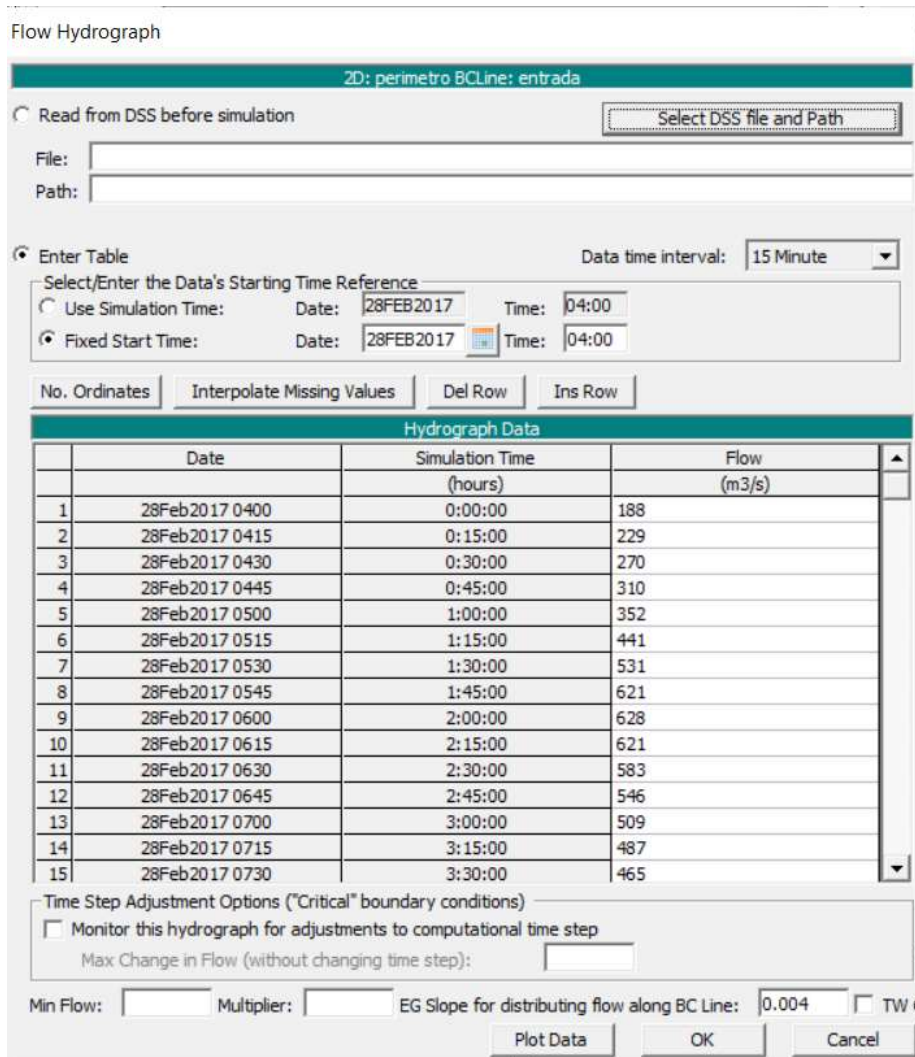


**Fig. 44** Vista de las medidas del puente Sacta asignadas al modelo

- Creación del flujo no permanente para la simulación hidráulica, se crea desde la ventana principal de Hec-ras con la opción: Edit unsteady Flow data



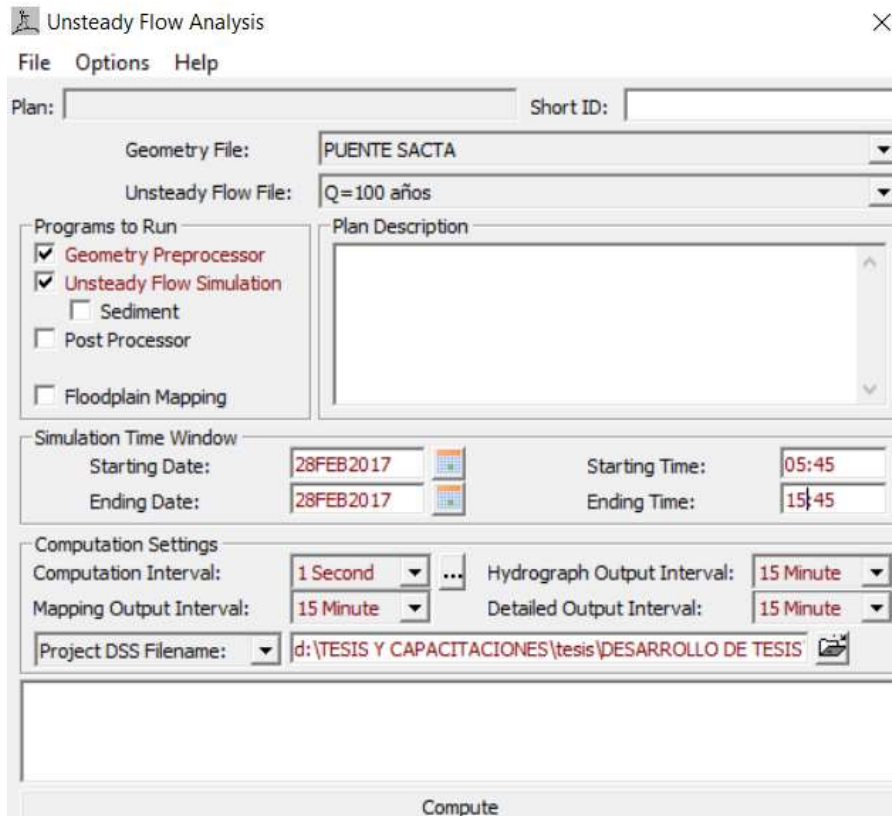
**Fig. 45** Vista de la creación del flujo no permanente para la simulación hidráulica



**Fig. 46** Vista de los datos del hidrograma asignado para la simulación hidráulica T=100 años

- Creación del plan para la simulación hidráulica

El plan de simulación hidráulica se creó desde la ventana principal de Hec-ras con la opción: perform an unsteady Flow simulation, se registró las características de simulación hidráulica para esta investigación (parámetros de cálculo, tiempo, paso de tiempo, ecuación a utilizar, etc.), finalmente se dio inicio al cálculo con la opción: compute



**Fig. 47** Vista de las características asignadas para la simulación del río Ica-tramo Sacta

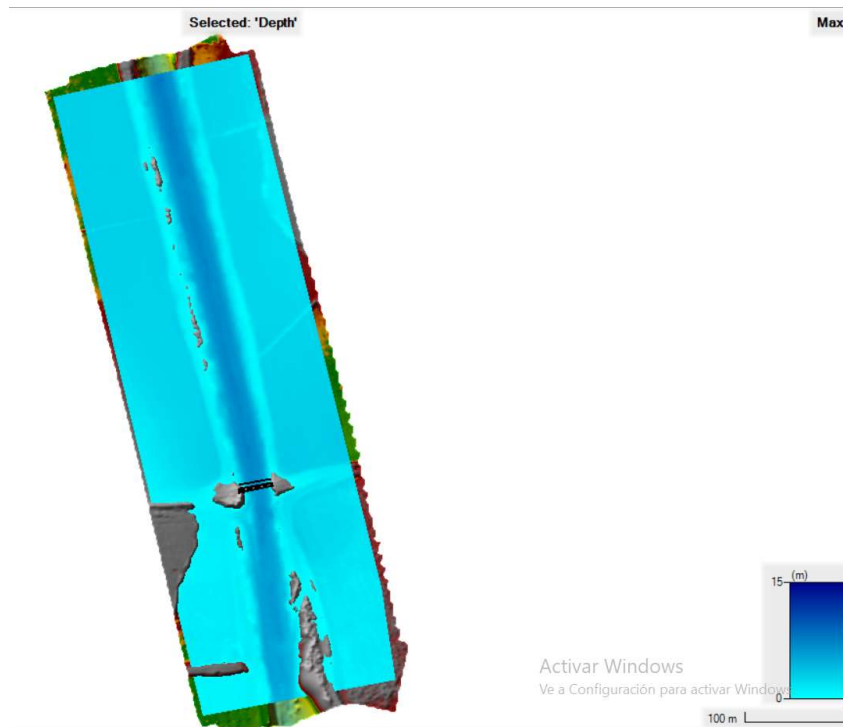
HEC-RAS Unsteady Computation Options and Tolerances

| General   2D Flow Options   1D/2D Options   Advanced Time Step Control   1D Mixed Flow Options   |                           |                           |  |
|--|---------------------------|---------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Use Coriolis Effects (not used with Diffusion Wave equation) |                           |                           |  |
| Parameter  | (Default)                 | perimetro                 |  |
| 1 Theta (0.5-1.0)  | 1                         | 1                         |  |
| 2 Theta Warmup (0.5-1.0)   | 1                         | 1                         |  |
| 3 Water Surface Tolerance [max=0.06](m)  | 0.003                     | 0.003                     |  |
| 4 Volume Tolerance (m)   | 0.003                     | 0.003                     |  |
| 5 Maximum Iterations   | 20                        | 20                        |  |
| 6 Equation Set   | SWE-ELM (original/faster) | SWE-ELM (original/faster) |  |
| 7 Initial Conditions Time (hrs)  |                           |                           |  |
| 8 Initial Conditions Ramp Up Fraction (0-1)  | 0.1                       | 0.1                       |  |
| 9 Number of Time Slices (Integer Value)  | 1                         | 1                         |  |
| 10 Turbulence Model  | Conservative              | Conservative              |  |
| 11 Longitudinal Mixing Coefficient   | 0.3                       | 0.3                       |  |
| 12 Transverse Mixing Coefficient   | 0.1                       | 0.1                       |  |
| 13 Smagorinsky Coefficient   | 0.05                      | 0.05                      |  |
| 14 Boundary Condition Volume Check   | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/>  |  |
| 15 Latitude for Coriolis (-90 to 90)   |                           | -14.26                    |  |
| 16 Solver Cores  | All Available             | All Available             |  |
| 17 Matrix Solver   | PARDISO (Direct)          | PARDISO (Direct)          |  |
| 18 Convergence Tolerance   | 0.00001                   | 0.00001                   |  |
| 19 Minimum Iterations  | 3                         | 3                         |  |
| 20 Maximum Iterations  | 30                        | 30                        |  |
| 21 Restart Iteration   | 10                        | 10                        |  |
| 22 Relaxation Factor   | 1.3                       | 1.3                       |  |
| 23 SOR Preconditioner Iterations   | 10                        | 10                        |  |

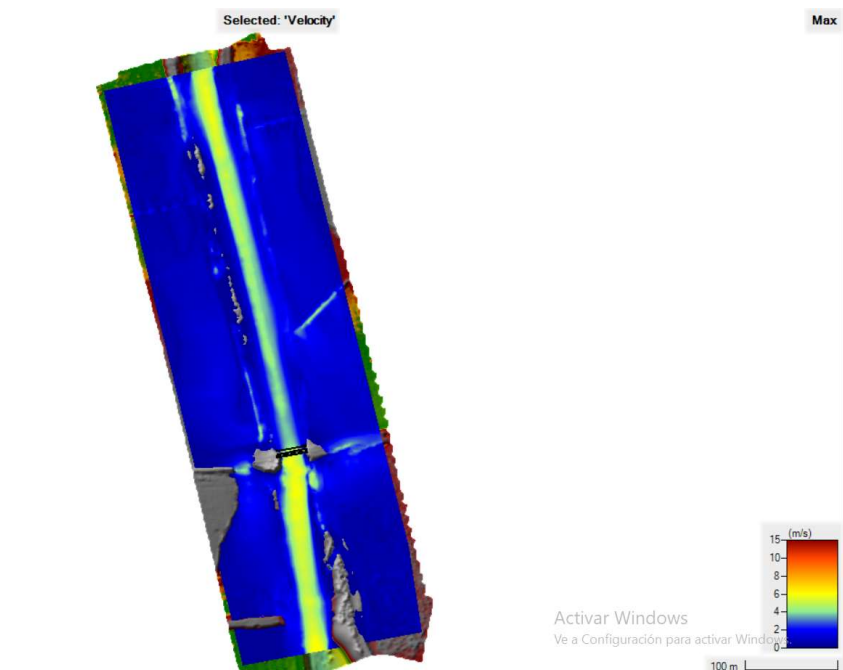
**Fig. 48** Vista de las ecuaciones de cálculo a utilizar para la simulación del río Ica-tramo Sacta

### 3.2.2.5 Post proceso

Es la etapa después de realizarse el cálculo, en esta etapa se visualizaron los parámetros obtenidos con el modelo Hec-ras v.6.3.1 y con ello se obtuvieron los datos para el cálculo de la socavación total.



**Fig. 49** Vista en planta de los valores de tirante luego de simular el hidrograma para T de 100 años



**Fig. 50** Vista en planta de los valores de velocidad luego de simular el hidrograma para T de 100 años

### 3.2.2.6 Cálculo de la socavación total

Debido a las características del puente Sacta se presentaron dos tipos de socavación: la socavación general y la socavación local en estribos, el cual al sumar ambos parámetros se obtuvo el parámetro de la socavación total

En esta investigación se calculó la socavación total del puente Sacta de manera indirecta con los datos obtenidos del modelo Hec-ras v.6.3.1 luego de simular el hidrograma de T= 100 años.

#### 3.2.2.6.1 Socavación general

Para obtener este parámetro se utilizó la ecuación de Lischtván-Lebediev para suelos granulares sugerido por el manual de hidrología, hidráulica y drenaje emitido por el MTC [23, p.106]:

$$H_s = \left[ \frac{\alpha h^{5/3}}{0.68\beta\mu\phi D_m^{0.28}} \right]^{\frac{1}{1+z}}$$

Donde:

$H_s$  – h: es la profundidad de socavación general (m)

h: es el tirante máximo de agua inicial aguas arriba del puente (m)

$H_s$ : es el tirante después de ocurrida de la socavación (m)

$\alpha$ : es el coeficiente de sección o de distribución de gasto

$\beta$ : es el coeficiente de frecuencia.

$\mu$ : es el factor de corrección por contracción del cauce.

$\phi$ : es el factor de corrección por forma de transporte de sedimentos, para esta investigación se consideró igual a 1.

$D_m$ : es el diámetro característico del lecho (mm)

z: es el exponente variable en función del diámetro medio de la partícula.

- Cálculo del factor de corrección por contracción del cauce ( $\mu$ ):  
este factor se calcula por medio de la tabla que se muestra en la fig. 51 que depende de la velocidad media de la sección y la luz libre entre estribos del puente.  
De la modelación hidráulica Hec-ras se obtuvo que la Velocidad media del cauce aguas arriba del puente Sacta es igual a  $V=3.41$  m/s y la luz entre estribos medida en campo fue de 22.79m

| V<br>(m/s) | Luz libre (m) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            | 10            | 13   | 16   | 18   | 21   | 25   | 30   | 42   | 52   | 63   | 106  | 124  | 200  |
| < 1.0      | 1.00          | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 1.0        | 0.96          | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 1.5        | 0.94          | 0.96 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2.0        | 0.93          | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 |
| 2.5        | 0.90          | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 |
| 3.0        | 0.89          | 0.91 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 3.5        | 0.87          | 0.90 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| >4.0       | 0.85          | 0.89 | 0.91 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |

Fig. 51 Obtencion del factor de correccion por contraccion del cauce [24]

Se realizo la interpolación en la tabla y se obtuvo que  $\mu=0.946$

- Cálculo del Coeficiente de frecuencia ( $\beta$ ).

Se obtuvo utilizando la siguiente formula:

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \log Tr$$

En esta tesis el  $Tr=100$  años por lo que  $\beta=0.988$

- Cálculo del exponente variable en función del diámetro medio de la partícula

Se obtuvo utilizando la siguiente formula:

$$z = 0.394557 - 0.04136 \log Dm - 0.00891 \log^2 Dm$$

Donde  $Dm=0.67$ mm, el parámetro obtenido fue  $z=0.40$

- Cálculo del Coeficiente de sección o de distribución de gasto  $\alpha$

Se obtuvo aplicando la siguiente formula:

$$\alpha = \frac{Q}{Hm^{\frac{5}{3}} Be}$$

Donde:

Hm: Tirante medio (m)

Q: caudal de avenida (m<sup>3</sup>/s)

Be: ancho efectivo de la superficie libre (m).

Los parámetros obtenidos luego de simular el hidrograma para un  $Tr=100$  años por el modelo Hec-ras fue:  $Hm=6.58$ m, y el caudal de avenida máxima que pasa por la sección del puente fue  $Q=435.66$  m<sup>3</sup>/s

Luego, el coeficiente de sección resultó un valor igual a  $\alpha=0.93$

- Finalmente se calculó la socavación general por el método Lischtvan-Lebediev con el programa Excel, el resultado de la socavación se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla XIII.**

Profundidad de socavación general usando método de Lischtvan-Lebediev

| Parámetros Hidráulicos              | Valor       |
|-------------------------------------|-------------|
| Q (m <sup>3</sup> /s)               | 435.66      |
| h (m)                               | 6.58        |
| A (m <sup>2</sup> )                 | 139.88      |
| Hm (m)                              | 6.14        |
| V media(m/s)                        | 3.41        |
| Dm (mm)                             | 0.67        |
| Be                                  | 22.79       |
| Tiempo de Retorno (años)            | 100.00      |
| μ                                   | 0.946       |
| α                                   | 0.93        |
| β                                   | 0.988       |
| φ                                   | 1.00        |
| z                                   | 0.40        |
| Hs (m)                              | 12.84       |
| <b>Prof. Socavación general (m)</b> | <b>6.26</b> |

## 3.2.2.6.2 Socavación Local en estribos

Para el cálculo de la socavación local en estribos se utilizó el método de Artamonov de acuerdo al manual de hidrología, hidráulica del MTC [23, p.145], debido a que las características presentadas del puente Sacta se ajustan a este método:

$$H_T = K_\theta K_Q K_m h$$

Donde:

$H_T$ -h: Profundidad de socavación local en estribos (m).

$H_T$ : Profundidad del agua al pie del estribo medida desde la superficie libre del flujo (m).

$K_\theta$ : Coeficiente cuyo valor depende del ángulo que forma la dirección del flujo con el eje longitudinal del puente (Ver Tabla XIV).

$K_m$ : Coeficiente cuyo valor depende del talud que tienen los lados verticales adyacentes al flujo del estribo (Ver Tabla XV).

$K_Q$ : Coeficiente cuyo valor depende de la relación entre el caudal interceptado por los estribos ( $Q_1$  o  $Q_2$ ) y el caudal total Q que transcurre por la sección del puente.

h: Tirante en los estribos antes de la socavación.

- Cálculo del coeficiente  $K_\theta$

**Tabla XIV.**Coeficiente de corrección  $K_\theta$ 

| $\theta$   | 30°  | 60°  | 90° | 120° | 150° |
|------------|------|------|-----|------|------|
| $K_\theta$ | 0.84 | 0.94 | 1   | 1.07 | 1.19 |

Nota: Cuadro obtenido del libro de mecánica de suelos de J. Badillo [24]

El Angulo de desviaje en el puente Sacta es  $90^\circ$  por lo que el valor asumido de  $K_\theta$  es igual a 1

- Cálculo del coeficiente  $K_m$

**Tabla XV.**

Coeficiente de corrección  $K_m$

|         |   |      |      |      |      |      |
|---------|---|------|------|------|------|------|
| TALUD m | 0 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 3.00 |
| $K_m$   | 1 | 0.91 | 0.85 | 0.83 | 0.61 | 0.50 |

Nota: Cuadro obtenido del libro de mecánica de suelos de J. Badillo [24]

Los lados del estribo del puente Sacta presenta un talud  $m=0$  por lo tanto,  $K_m=1$

- Cálculo del coeficiente  $K_Q$

**Tabla XVI.**

Coeficiente de corrección  $K_Q$

|       |     |      |      |      |      |      |     |     |
|-------|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|
| Q1/Qd | 0.1 | 0.1  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7 | 0.8 |
| KQ    | 2   | 2.65 | 3.22 | 3.45 | 3.67 | 3.87 | 4.1 | 4.2 |

Nota: Cuadro obtenido del libro de mecánica de suelos de J. Badillo [24]

Del modelo Hec-ras se obtuvo los caudales que interceptan en los estribos, para el estribo izquierdo  $Q1=23.74\text{m}^3/\text{s}$ , para el estribo derecho  $Q2 =3.81\text{m}^3/\text{s}$  y el caudal total que escurre por la sección fue  $Q= 435.66 \text{ m}^3/\text{s}$

De la tabla XVI. Se obtuvieron los valores de KQ, para el estribo izquierdo  $KQ1=1.70$ , y para el estribo derecho  $KQ2=1$ .

- Finalmente se calculó la profundidad de socavación local en estribos por el método de Artamonov con el programa Excel, el resultado de la socavación se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla XVII.**

Profundidad de socavación local usando método de Artamonov

| Coeficiente                          | E. derecho  | E. izquierdo |
|--------------------------------------|-------------|--------------|
| Q1- (m <sup>3</sup> /s)              |             | 23.74        |
| Q2-Der (m <sup>3</sup> /s)           | 3.81        |              |
| Talud m                              | 0           | 0            |
| Qi/Qd                                | 0.009       | 0.054        |
| $\theta$                             | 90          | 90           |
| $K_\theta$                           | 1           | 1            |
| KQ                                   | 1.4085      | 1.701        |
| $K_m$                                | 1.000       | 1.000        |
| h (m)                                | 1.57        | 1.41         |
| Ht (m)                               | 2.21        | 2.39         |
| <b>Prof. De socavación local (m)</b> | <b>0.64</b> | <b>0.99</b>  |

### 3.2.2.6.3 Profundidad de socavación total

La profundidad de socavación total se obtuvo al sumar la socavación general y la socavación local generada por los estribos del puente Sacta

**Tabla XVIII.**

Profundidad de socavación total usando Hec-ras y Excel

|  |      |
|--|------|
| Socavación total en el estribo derecho (m) =   | 6.90 |
| Socavación total en el estribo izquierdo (m) = | 7.24 |

### 3.2.3 Comparación entre resultados del modelo Iber v.3.2.2 y Hec-ras v.6.3.1

Se muestran los resultados de ambos modelos hidráulicos 2D en la siguiente tabla.

**Tabla XIX.**

Comparación de los valores de socavación total obtenidos por el modelo Iber v.3.2.2 y el modelo Hec-ras v.6.3.1

| Estructura        | Profundidad de socavación total (m) |                        |            |
|-------------------|-------------------------------------|------------------------|------------|
|                   | Modelo Iber v.3.2.2                 | Modelo Hec-ras v.6.3.1 | Diferencia |
| Estribo Derecho   | 3.26                                | 6.90                   | 3.64       |
| Estribo Izquierdo | 4.36                                | 7.24                   | 2.88       |

## 3.3 Verificación de hipótesis.

### 3.3.1 Verificación de hipótesis general.

- La aplicación de modelos hidráulicos influye positivamente en el cálculo de la socavación total en el puente Sacta del distrito de Santiago.

CONTRASTACIÓN:

La aplicación de los modelos hidráulicos Hec-ras v.6.3.1 e Iber v.3.2.2 **influye positivamente** en el cálculo de la socavación total del puente Sacta, puesto a que nos han permitido realizar la simulación hidráulica incorporando con facilidad los datos de campo tales como la topografía, las características del suelo e hidrología, obteniéndose resultados confiables del parámetro de la socavación total.

### 3.3.2 Verificación de hipótesis específicas.

- Los modelos hidráulicos aplicados determinan la socavación total del puente Sacta del distrito de Santiago.

CONTRASTACIÓN:

Los modelos hidráulicos aplicados Iber v.3.2.2 y Hec-ras v.6.3.1 **determinan los valores de la socavación total** del puente Sacta. Puesto a que se ha demostrado que el modelo Iber determina de manera directa los valores de la socavación total en los estribos del puente Sacta y el modelo Hec-ras determina de manera indirecta los valores de socavación total en los estribos del puente Sacta, esto quiere decir que el modelo Hec-ras se apoya del método

de Lischtvan-Lebediev (la socavación general) y el método de Artamonov (socavación local en estribos) para calcular la socavación total mientras que el modelo Iber emplea formulas incorporadas dentro del software para calcular directamente el valor de Socavación total.

- un modelo hidráulico se ajusta más a calcular la socavación total del rio Ica en el sector del puente Sacta.

CONTRASTACIÓN:

Ambos modelos hidráulicos **se ajustan satisfactoriamente** a las características del rio Ica en el sector del puente Sacta. Puesto a que las simulaciones hidráulicas de ambos modelos se realizaron sin inconvenientes.

- La ubicación del puente Sacta incrementan la profundidad de socavación total en su margen derecha.

CONTRASTACIÓN:

La ubicación del puente Sacta incrementa la profundidad de socavación total en su margen izquierda, los resultados de ambos modelos hidráulicos en la tabla XIX. nos muestran que la profundidad de socavación total es mayor en el estribo izquierdo en comparación con el estribo derecho, esto a causa de que el estribo izquierdo se encuentra más expuesto al flujo del cauce.

#### IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

- Discusión N°01: El estudio topográfico empleando la fotogrametría nos permitió obtener la nube de puntos del terreno georreferenciada con un detalle de 0.10m de distancia entre puntos de toda el área de estudio (440m. aguas arriba y 220m agua abajo del puente Sacta), el cual es posible insertarlos directamente en los modelos hidráulicos para poder realizar la simulación hidráulica haciendo que el cálculo sea más ajustado a la realidad.
- Discusión N°02: Los valores de rugosidad de Manning asignados a la zona de estudio para ambos modelos hidráulicos fue determinada con ayuda de la ortofoto del área de estudio y el uso de la tabla de clasificación de rugosidad para arroyos naturales de Ven Te Chow, tabla recomendada por el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC. Estos valores de rugosidad se pueden añadir sencillamente en los modelos hidráulicos como un archivo de extensión .asc, que se inserta como una capa sobre la topografía del área de estudio como se muestra en la figura 23 y en la figura 42.
- Discusión N°03: la granulometría empleada para el modelo hidráulico Iber fue calculada a partir de las calicatas realizadas dentro de toda el área de estudio (440 metros aguas arriba y 220 metros aguas abajo del puente Sacta), puesto a que el modelo Iber calcula el transporte de sedimentos en todo el tramo estudiado. Mientras que para el modelo hidráulico Hec-ras se empleó la granulometría obtenida a partir de las muestras de suelo en los estribos del puente Sacta debido a que la metodología empleada solo requiere los datos de suelo en la cimentación del puente.
- Discusión N°04: para la simulación hidráulica se empleó el hidrograma completo para un periodo de retorno de 100 años, ya que se ajusta más a la realidad de los eventos hidrológicos y son fáciles de incorporar en los modelos hidráulicos aplicados en esta investigación.
- Discusión N°05: El tiempo empleado para realizar el modelado fue de 1 hora para ambos programas (Hec-ras e Iber). sin embargo, en el tiempo de simulación empleado hubo una gran diferencia, el modelo Iber v.3.2.2 simuló en 28 horas con 30 minutos mientras que el modelo Hec-ras v.6.3.1 simuló en 15 minutos, la diferencia del tiempo de simulación se debe a que el modelo Iber calcula directamente los valores de socavación total mostrándonos gráficos referenciados que contienen los valores de socavación de todo el área de estudio en el cual podemos generar secciones en áreas específicas para extraer los resultados de los puntos de nuestro interés (en este caso extraer los valores de socavación en los estribos del puente Sacta como se muestra en la figura 31 y figura 32) por lo cual este modelo requiere un mayor tiempo de simulación.

Por otra parte, el modelo Hec-ras calcula indirectamente los valores de socavación, Es decir nos brinda los valores de velocidad, tirante y caudal en la sección de control del puente para luego poder calcular la profundidad de socavación total en los estribos utilizando el método de Lischtván-Lebediev (socavación general) y el método de Artamonov (Socavación local en estribos)

- Discusión N°06: los valores de profundidad de socavación total del puente Sacta obtenidos con el modelo Hec-ras son mayores que los resultados del modelo Iber como se muestra en la tabla XIX. En el estribo derecho la socavación total obtenida con el modelo Iber es de 3.26m mientras que en el modelo Hec-ras es de 6.90m y en el estribo izquierdo la socavación total obtenida con el modelo Iber es de 4.36m mientras que en el modelo Hec-ras es de 7.24m. Esta diferencia en los resultados se debe a que los modelos usan formulas diferentes para calcular la profundidad de socavación, el modelo Hec-ras se apoya usando las fórmulas de Lischtván-Lebediev y el método de Artamonov para el cálculo de la socavación total mientras que el modelo Iber utiliza las fórmulas de transporte de sedimentos de Meyer-Peter-Müller incorporadas en el mismo software.

## V. CONCLUSIONES.

A la culminación de la presente investigación, presento las siguientes conclusiones:

- La aplicación de los modelos hidráulicos Hec-ras e Iber nos permiten realizar el cálculo de la socavación total de una manera practica y más ajustada a la realidad. Además, estos softwares son gratuitos y de fácil acceso. Por lo tanto, se ha comprobado la hipótesis general.
- los valores de profundidad de socavación total obtenidos con el modelo Iber son menores en comparación con los valores obtenidos del modelo Hec-ras tanto en el estribo derecho como en el estribo izquierdo, esto es debido que la socavación obtenida con el modelo Hec-ras fue calculada con la fórmula de Lischtvan-Lebediev (socavación general) y el método de Artamonov (Socavación local en estribos) mientras que la socavación obtenida con el modelo Iber fue calculada automáticamente en el mismo software usando el método de transporte de sedimentos de Meyer-Peter-Müller
- El tiempo de cálculo en el modelo Iber emplea mucho mayor tiempo de cálculo que el modelo Hec-ras, esto se debe a que Iber realiza el cálculo de la socavación de manera directa, mientras que el modelo Hec-ras realiza el cálculo de la socavación de manera indirecta.
- El valor de socavación total obtenido en el estribo izquierdo es mayor que la socavación total obtenido en el estribo derecho (en ambos modelos). En el modelo Iber se obtuvo que el estribo izquierdo presenta una socavación total de 4.36m mientras que en el estribo derecho presenta una socavación total de 3.26m. En el modelo Hec-ras se obtuvo que el estribo izquierdo presenta una socavación total de 7.24m mientras que en el estribo derecho presenta una socavación total de 6.90m, esto se debe a que el estribo izquierdo está más expuesto al flujo del cauce que el estribo derecho por lo que tiende a ser más afectado por el fenómeno de la socavación.
- Se lograron los objetivos específicos y se alcanzó el objetivo general de esta investigación, los modelos hidráulicos Hec-ras e Iber se aplicaron satisfactoriamente en el Cálculo de la socavación total del puente Sacta.

## VI. RECOMENDACIONES.

- Los valores de la socavación obtenidos en esta investigación pueden ser utilizadas para la verificación de la profundidad de cimentación del puente Sacta y asegurar su estabilidad.
- Para la aplicación de los modelos hidráulicos Hec-ras e Iber se requieren computadoras potentes con las características mínimas siguientes: procesador Intel core 5 o superior, memoria RAM 16gb o más y un disco duro con al menos 200gb de espacio libre
- Aplicar los modelos hidráulicos Hec-ras e Iber para determinar el comportamiento hidrodinámico en puentes cuyos estribos se asientan sobre ríos con el fin de obtener los parámetros para su diseño (socavación, galibo, velocidad del flujo, tirante máximo).
- Para futuras investigaciones con la aplicación de estos modelos hidráulicos, se sugiere emplearlos en puentes con estribos y pilas con el fin de evaluar cuál de estos modelos se ajusta más a esos tipos de puentes.

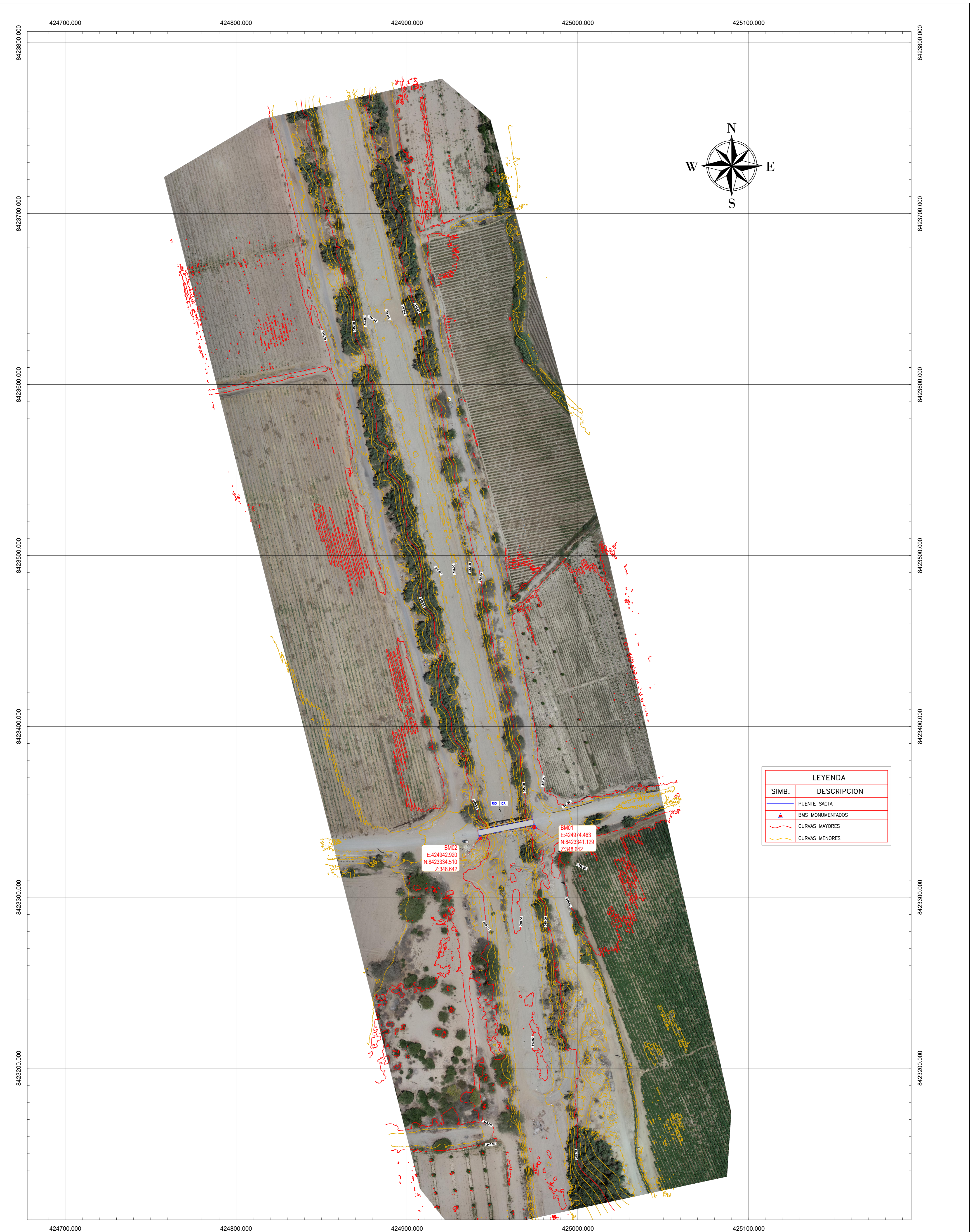
## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] D. Robinson, A. Zundel, C. Kramer, R. Nelson, W. deRosset, J. Hunt, S. Hogan y Y. Lai, "Two-Dimensional Hydraulic Modeling for Highways in the River Environment," Federal Highway Administration Resource Center, Austin, Texas, 2019
- [2] E. Cañas, "Estudio de la socavación local en pilas circulares de puentes en lechos no cohesivos con modelación física en laboratorio", tesis para optar título de master en ingeniería civil, Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C., 2018.
- [3] R. D. J. Rodrigo Pérez y G. Z. Yataco Manrique, "Comparación de los modelos numéricos 1D y 2D en el análisis de socavación total en el puente Huallaga", tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2021.
- [4] D. J. Quito Crispin, "Evaluación de la socavación total para la optimización de diseño del puente Solidaridad en el distrito San Juan de Lurigancho", tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad César Vallejo, Lima, 2020.
- [5] M. B. Gerónimo Polo, "Estimación de la socavación producida por el flujo de agua del río Martho al pie de estribos del puente Sinsicap utilizando el programa Hec – ras, Sinsicap – provincia de Otuzco", tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad Nacional de trujillo, Trujillo, 2019.
- [6] F. V. Esparza Alvarez, "Estudio de socavación del cauce en el río Chicama a 2 km aguas abajo del puente Careaga– Chicama – Ascope – la libertad", tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad privada antenor orrego, Trujillo, 2019.
- [7] Google Maps, "centro poblado de Sacta, distrito de Santiago, provincia de Ica, Ica", 2023. [En línea]. Disponible en: <http://shorturl.at/abi45> [Accedido: 15-feb-2023].
- [8] Expeditiontravelperu, "Expedition travel Peru - tours Ica", 2023. [Online]. Available: <https://www.expeditiontravelperu.com/en/tours-in-ica/>. [Accedido: 15-feb-2023].
- [9] Wikipedia, "Departamento de Ica ", 2023. [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Departamento\\_de\\_Ica](https://es.wikipedia.org/wiki/Departamento_de_Ica). [Accedido: 15-feb-2023].
- [10] G. Valderramaca, "Perú Top Tours", 2005. [En línea]. Disponible en: <https://www.perutoptours.com/index10icicamap.html>. [Accedido: 15-feb-2023].
- [11] INEI, "Censos Nacionales de Población y Vivienda", inei.gob.pe, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://cutt.ly/r3Jy3aa>. [Accedido: 15-feb-2023].
- [12] Entel, "huawei Y9s", 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.entel.pe/renovacion-huawei-tiendas/huawei-y9s/> [Accedido: 15-feb-2023].
- [13] Amazon.es, "Cuadricópteros y Multirrotores", 2023. [En línea]. Disponible en: [shorturl.at/jrwFN](http://shorturl.at/jrwFN). [Accedido: 15-feb-2023].
- [14] Geoprema, "Leica TS09 3” R500 ", 2020. [En línea]. Disponible en: <https://t.ly/u23J>

- [Accedido: 15-feb-2023].
- [15] Lenovo, "Laptops", 2023. [En línea]. Disponible en: [t.ly/q82a](https://t.ly/q82a) [Accedido: 15-feb-2023].
- [16] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de puentes, Lima, 2018.
- [17] B. S. Barriales y A. De La Torre, "Estudio definitivo y expediente técnico del proyecto “control de desbordes e inundaciones en el río Ica y quebrada cansas/chanchajalla” – año 2015," Consorcio Ica, Ica, EDI, Anexo 03, 2015.
- [18] V.T. Chow, *Open-Channel Flow*. Springer Science and Business Media, New York, NY, USA, 1959.
- [19] G. Lizares y A. De La Torre, «Estudio definitivo y expediente técnico del proyecto “control de desbordes e inundaciones en el río Ica y quebrada cansas/chanchajalla” – año 2015,», Consorcio Ica, Ica, EDI, Anexo 04, 2015.
- [20] SENAMHI, "Hidrología/avisos hidrológicos", 2023. [En línea]. Disponible en: [t.ly/gpF4](https://t.ly/gpF4) [Accedido: 28-feb-2023].
- [21] E. Bladé et al., “Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos”. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, vol. 30, pp. 1-10, 2014.
- [22] G. Brunner, "HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual," US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (hec), Davis, California, 2020.
- [23] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de hidrología, hidráulica y drenaje, Lima, 2011.
- [24] J. Badillo y R. Rodríguez, *Mecánica de Suelos*. Tomo III. Limusa. Grupo Noriega Editores, México, 1992.

## **VIII. ANEXOS.**

1. Plano topográfico (PT-01)
2. Plano arquitectónico (A-01)
3. Datos documentales del estudio de mecánica de suelos.
4. Datos documentales del estudio hidrológico.



| LEYENDA |                  |
|---------|------------------|
| SIMB.   | DESCRIPCION      |
|         | PUENTE SACTA     |
|         | BMS MONUMENTADOS |
|         | CURVAS MAYORES   |
|         | CURVAS MENORES   |

BM02  
E:424942.920  
N:8423334.510  
Z:348.642

BM01  
E:424974.463  
N:8423341.129  
Z:348.642

**PLANO TOPOGRAFICO**  
ESC: 1/1000

| TABLA DE BMS (DATUM WGS84 ZONA 18 SUR) |            |             |           |             |
|--|------------|-------------|-----------|-------------|
| NUMERO                                 | ESTE       | NORTE       | ELEVACION | DESCRIPCION |
| 02                                     | 424974.463 | 8423341.129 | 348.642   | BM01        |
| 04                                     | 424942.920 | 8423334.510 | 348.642   | BM02        |

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA DE ICA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

FECHA: 21/01/2023  
REVISADO: 04/04/2023  
APROBADO: 04/04/2023

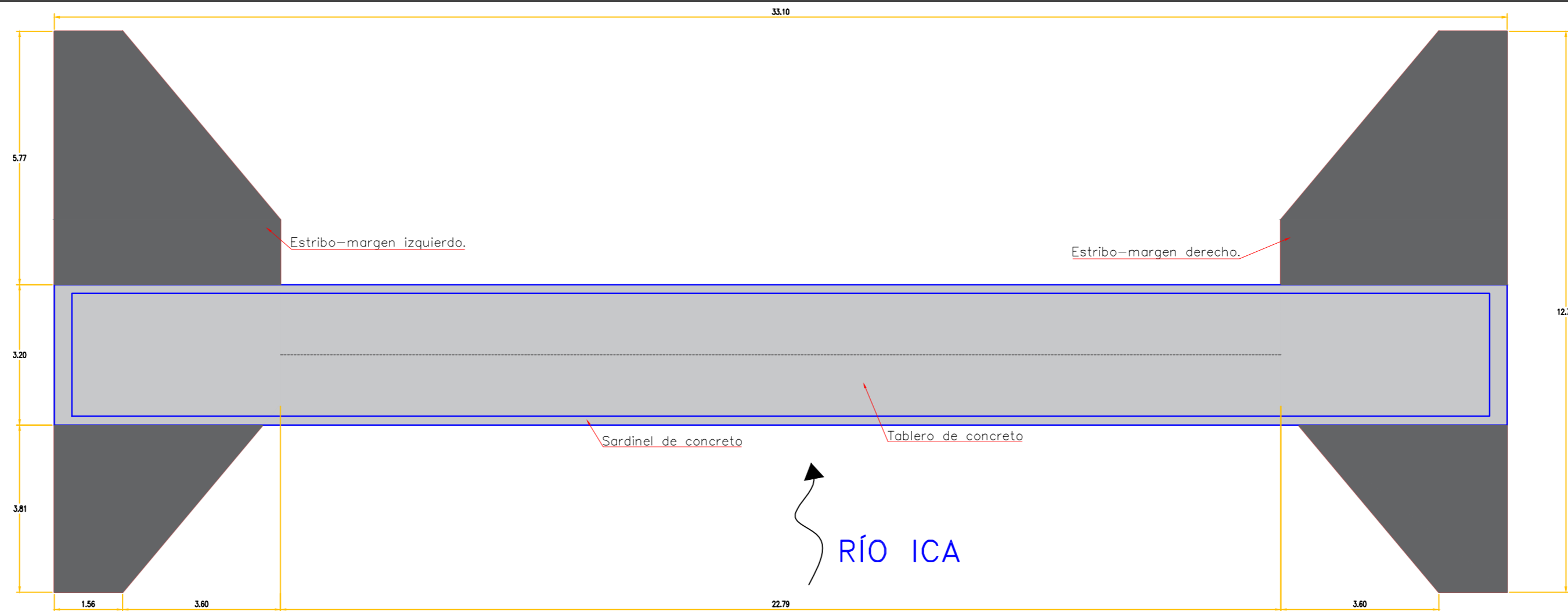
PROYECTO:  
**CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN TOTAL DEL PUENTE SACTA DEL DISTRITO DE SANTIAGO, APLICANDO MODELOS HIDRÁULICOS - 2022**

PLANO:  
**PLANO TOPOGRAFICO DEL PUENTE SACTA**

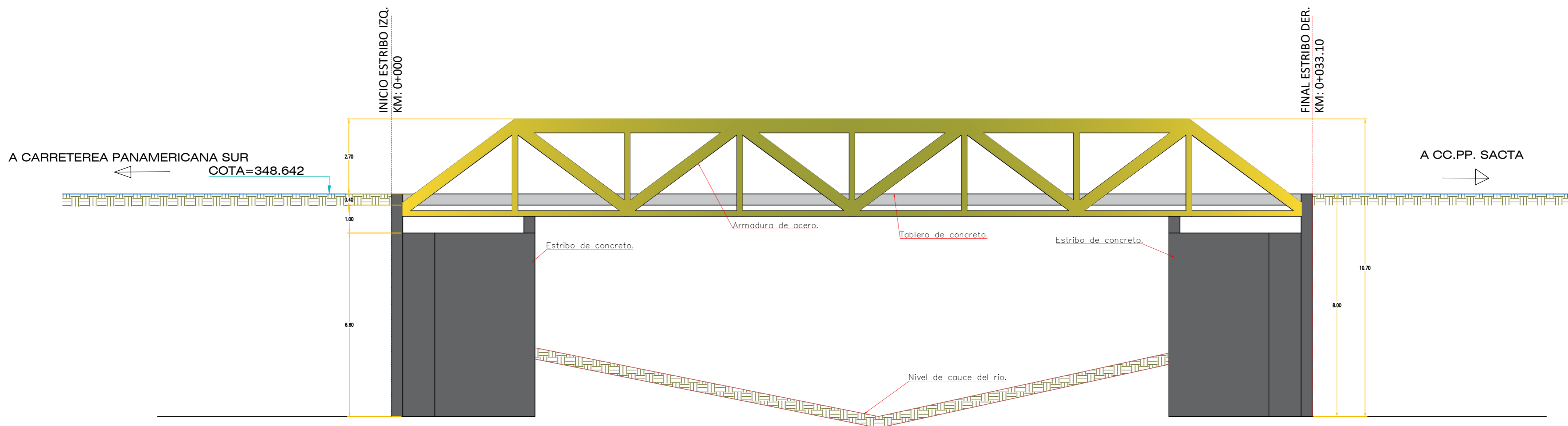
ESCALA:  
**1/1000**

ANEXO 01

| LEYENDA   |                         |
|---|-------------------------|
| SIMB.   | DESCRIPCION             |
|  | TABLERO DE PUENTE SACTA |
|  | ESTRIBOS                |
|  | ARMADURA DE ACERO       |
|  | TERRENO NATURAL         |



**PLANO DE PLANTA**  
ESC: 1/100



**PLANO DE PERFIL**  
ESC: 1/100

|  |  |                      |
|--|--|----------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA DE ICA<br>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL |  | FECHA: 21/01/2023    |
|  |  | REVISADO: 04/04/2023 |
|  |  | APROBADO: 04/04/2023 |
| PROYECTO:  | CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN TOTAL DEL PUENTE SACTA DEL DISTRITO DE SANTIAGO, APLICANDO MODELOS HIDRÁULICOS - 2022 |                      |
| PLANO:   | PLANO ARQUITECTONICO DEL PUENTE SACTA  |                      |
| ESCALA:  | 1/100  | ANEXO 02             |

| Excavación | Muestra | Prof.<br>m  | CUADRO N° 3.18<br>RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO - GRANULOMETRÍA |        |    |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |    | LÍMITES      |    |    | SUCS |
|------------|---------|-------------|--|--------|----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|----|--------------|----|----|------|
|            |         |             | ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO  |        |    |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |    | CONSISTENCIA |    |    |      |
|            |         |             | PORCENTAJE ACUMULATIVO EN PESO QUE PASA LA MALLA                       |        |    |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |    | LL           | LP | IP |      |
|            | M2      | 1.70 a 2.80 | 2"   | 1 1/2" | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | N°4   | N°10  | N°20  | N°40  | N°60  | N°100 | N°200 | LL    | LP    | IP  |    |              |    |    |      |
|            | M3      | 2.80 a 4.40 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 95.32 | 92.13 | 89.12 | 77.40 | 68.25 | 30.57 | 25.62 | 4.9 | ML |              |    |    |      |
| 11+500     | M1      | 0.00 a 2.10 |  |        |    |      |      |      | 100.0 | 97.25 | 72.15 | 25.36 | 15.48 | 7.25  | 3.69  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M2      | 2.10 a 3.10 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 98.62 | 93.47 | 91.03 | 82.40 | 63.18 |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M3      | 3.10 a 4.20 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 98.53 | 92.19 | 55.48 | 5.35  | 2.92  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
| 12+100     | M1      | 0.00 a 2.10 |  |        |    |      |      |      | 100.0 | 98.75 | 71.18 | 24.82 | 14.04 | 6.78  | 4.78  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M2      | 2.10 a 3.00 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 99.15 | 70.44 | 57.71 | 41.73 | 23.77 |       |       |     |    | SM           |    |    |      |
|            | M3      | 3.00 a 3.20 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 99.74 | 96.10 | 93.76 | 88.81 | 66.42 | 31.74 | 25.78 | 5.8 |    | ML           |    |    |      |
| 12+500     | M4      | 3.20 a 4.40 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 99.60 | 93.89 | 51.83 | 4.26  | 2.76  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M1      | 0.00 a 4.15 |  |        |    |      |      |      | 100.0 | 99.1  | 89.07 | 11.96 | 5.98  | 2.83  | 1.65  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M1      | 0.00 a 4.20 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 93.31 | 32.10 | 16.15 | 8.13  | 3.09  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
| 13+000     | M1      | 0.00 a 2.50 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 85.74 | 13.42 | 7.28  | 3.53  | 3.01  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M2      | 2.50 a 3.20 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 99.50 | 94.85 | 89.60 | 75.75 | 49.87 | 20.89 |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M3      | 3.20 a 4.10 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 98.99 | 52.48 | 42.17 | 31.15 | 12.44 |       |       |     |    | SM           |    |    |      |
| 14+000     | M1      | 0.00 a 1.60 |  |        |    |      |      |      | 100.0 | 80.55 | 61.80 | 10.95 | 5.94  | 1.37  | 1.06  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M2      | 1.60 a 2.30 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 96.86 | 60.50 | 55.54 | 43.97 | 33.06 |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M3      | 2.30 a 4.20 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 96.97 | 36.68 | 26.91 | 13.43 | 5.61  |       |       |     |    | SP-SM        |    |    |      |
| 14+500     | M1      | 0.00 a 4.15 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 94.21 | 13.30 | 5.71  | 2.81  | 0.87  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M1      | 0.00 a 2.20 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 96.18 | 25.63 | 7.45  | 3.18  | 1.43  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M2      | 2.20 a 3.30 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 99.42 | 99.30 | 98.48 | 97.78 | 96.11 | 44.38 | 17.19 | 27. |    | CL           |    |    |      |
| 15+400     | M3      | 3.30 a 4.00 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 96.61 | 88.14 | 71.76 | 44.03 | 21.45 |       |       |     |    | SM           |    |    |      |
|            | M1      | 0.00 a 2.20 |  |        |    |      |      |      | 100.0 | 98.19 | 83.92 | 38.07 | 16.93 | 7.81  | 1.88  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M2      | 2.20 a 3.30 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 99.42 | 99.30 | 98.48 | 97.78 | 96.11 | 44.38 | 17.19 | 27. |    | CL           |    |    |      |
| 15+900     | M3      | 3.30 a 4.00 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 96.61 | 88.14 | 71.76 | 44.03 | 21.45 |       |       |     |    | SM           |    |    |      |
|            | M1      | 0.00 a 4.00 |  |        |    |      |      |      | 100.0 | 99.10 | 97.74 | 88.44 | 23.40 | 9.37  | 3.26  |       |       |     |    | SM           |    |    |      |
|            | M2      | 4.00 a 4.10 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 97.95 | 84.54 | 38.94 | 18.70 | 8.85  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
| 16+300     | M1      | 0.00 a 4.10 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 99.33 | 98.45 | 86.83 | 33.65 | 11.24 | 3.08  |       |     |    | SP-SM        |    |    |      |
|            | M1      | 0.00 a 0.30 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 99.01 | 98.5  | 87.21 | 69.15 | 44.84 | 31.54 | 20.53 |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M2      | 0.30 a 4.00 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 99.01 | 98.5  | 87.21 | 69.15 | 44.84 | 31.54 | 20.53 |     |    | SM           |    |    |      |
| 17+400     | M1      | 0.00 a 5.00 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 83.33 | 72.00 | 6.52  | 4.83  | 2.90  | 1.33  |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M1      | 0.00 a 1.00 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 99.55 | 97.02 | 68.94 | 21.84 | 6.98  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M2      | 1.00 a 1.20 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 99.47 | 95.76 | 85.96 | 75.45 | 56.95 | 31.12 | 25.99 | 5.1 |    | ML           |    |    |      |
| 18+500     | M3      | 1.20 a 4.80 |  |        |    |      |      |      | 100.0 | 99.57 | 96.46 | 82.05 | 39.00 | 15.36 | 3.40  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M1      | 0.00 a 1.70 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 96.91 | 81.76 | 38.73 | 8.27  | 3.79  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M2      | 1.70 a 4.50 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 99.4  | 93.05 | 78.07 | 38.65 | 17.08 | 4.57  |       |     |    | SP           |    |    |      |
| 19+000     | M3      | 4.50 a 4.80 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 99.4  | 93.05 | 78.07 | 38.65 | 17.08 | 4.57  |       |     |    | SW           |    |    |      |
|            | M1      | 0.00 a 4.50 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 95.78 | 18.25 | 11.82 | 6.13  | 1.91  |       |       |     |    | SP           |    |    |      |
|            | M1      | 0.00 a 3.90 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 98.61 | 93.50 | 31.53 | 16.21 | 6.14  | 0.69  |       |     |    | SP           |    |    |      |
| 20+000     | M2      | 3.90 a 4.40 |  |        |    |      |      |      |       | 100.0 | 99.37 | 81.66 | 25.58 | 8.37  | 3.71  | 1.90  |       |     |    | SP           |    |    |      |

CONSORCIO RIO ICA  
  
**JUAN JORGE LOPEZ DELGADO**  
 Representante Legal

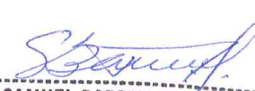
CONSORCIO RIO ICA  
  
**D. SAMUEL BARRIAES CAMARRA**  
 INGENIERO GEOLOGO  
 Reg. CIP. N° 38191

CONSORCIO RIO ICA  
  
**Ing Abelardo De La Torre V.**  
 JEFE DE ESTUDIO

**CUADRO N° 3.9**  
**RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

| Excavación | Muestra | Prof.       | Peso Específico |            |                | Absorción Grava % | Estado Natural    |                                |                             |                         | Densidad Compactación   |                            |
|------------|---------|-------------|-----------------|------------|----------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
|            |         |             | N° 4 Sólidos    | Grava Masa | Humedad N° 4 % |                   | Contenido Grava % | Densidad                       |                             | Máxima T/m <sup>3</sup> | Mínima T/m <sup>3</sup> |                            |
|            |         |             |                 |            |                |                   |                   | Humedad Total T/m <sup>3</sup> | Seca Total T/m <sup>3</sup> |                         |                         | Seca N° 4 T/m <sup>3</sup> |
| 8+400      | M1      | 0.00 a 1.35 | 2.632           | 2.608*     | 0.87*          | 2.394             | 9.08              | 1.68                           | 1.64                        | 1.59                    | 1.830                   | 1.502                      |
|            | M2      | 1.35 a 1.60 | 2.540           | 2.608*     | 0.87*          | 5.636             | 25.24             | ---                            | ---                         | ---                     | ---                     | ---                        |
|            | M3      | 1.60 a 4.20 | 2.596           | ---        | ---            | 4.532             | ---               | 1.61                           | 1.54                        | 1.54                    | 1.731                   | 1.398                      |
| 8+900      | M1      | 0.00 a 4.30 | ---             | ---        | ---            | 8.597             | ---               | 1.66                           | 1.52                        | 1.52                    | 1.732                   | 1.391                      |
|            | M1      | 0.00 a 1.45 | 2.535           | ---        | ---            | 4.532             | ---               | 1.53                           | 1.46                        | 1.46                    | 1.625                   | ---                        |
|            | M2      | 1.45 a 2.65 | ---             | 2.608*     | 0.87           | 25.520            | 3.44              | 1.85                           | 1.48                        | 1.46                    | 1.680                   | ---                        |
| 9+400      | M3      | 2.65 a 4.20 | ---             | ---        | ---            | 18.656            | ---               | 1.78                           | 1.5                         | 1.5                     | 1.630                   | ---                        |
|            | M1      | 0.00 a 1.40 | 2.529           | ---        | ---            | 2.361             | ---               | 1.58                           | 1.54                        | 1.54                    | 1.738                   | 1.389                      |
|            | M2      | 1.40 a 1.90 | ---             | ---        | ---            | 5.762             | ---               | ---                            | ---                         | ---                     | ---                     | ---                        |
| 10+400     | M3      | 1.90 a 4.20 | ---             | ---        | ---            | 15.368            | ---               | 1.77                           | 1.54                        | 1.54                    | 1.731                   | 1.398                      |
|            | M1      | 0.00 a 1.50 | 2.545           | 2.608*     | 0.87*          | 3.816             | 1.27              | 1.82                           | 1.75                        | 1.74                    | 1.902                   | 1.573                      |
|            | M2      | 1.50 a 3.00 | ---             | ---        | ---            | 8.164             | ---               | 1.64                           | 1.51                        | 1.51                    | 1.670                   | ---                        |
| 10+900     | M3      | 3.00 a 4.30 | ---             | ---        | ---            | 10.766            | ---               | 1.42                           | 1.28                        | 1.28                    | 1.425                   | ---                        |
|            | M1      | 0.00 a 1.70 | 2.542           | 2.608*     | ---            | 3.766             | 2.35              | 1.73                           | 1.67                        | 1.66                    | 1.898                   | 1.570                      |
|            | M2      | 1.70 a 2.80 | ---             | ---        | ---            | 4.768             | ---               | 1.6                            | 1.53                        | 1.53                    | 1.681                   | ---                        |
| 11+500     | M3      | 2.80 a 4.40 | ---             | ---        | ---            | 12.648            | ---               | 1.73                           | 1.53                        | 1.53                    | 1.730                   | 1.384                      |
|            | M1      | 0.00 a 2.10 | 2.551           | ---        | ---            | 2.976             | ---               | 1.59                           | 1.54                        | 1.54                    | 1.732                   | 1.395                      |
|            | M2      | 2.10 a 3.10 | ---             | ---        | ---            | 6.266             | ---               | 1.61                           | 1.52                        | 1.52                    | 1.680                   | ---                        |
| 12+100     | M3      | 3.10 a 4.20 | ---             | ---        | ---            | 8.746             | ---               | 1.69                           | 1.55                        | 1.55                    | 1.749                   | 1.406                      |
|            | M1      | 0.00 a 2.40 | 2.512           | ---        | ---            | 2.086             | ---               | 1.59                           | 1.56                        | 1.56                    | 1.705                   | 1.432                      |
|            | M2      | 2.40 a 3.00 | ---             | ---        | ---            | 22.896            | ---               | 1.79                           | 1.46                        | 1.46                    | 1.640                   | ---                        |
| 12+500     | M3      | 3.00 a 3.20 | ---             | ---        | ---            | 25.676            | ---               | ---                            | ---                         | ---                     | ---                     | ---                        |
|            | M4      | 3.20 a 4.40 | ---             | ---        | ---            | 5.060             | ---               | 1.77                           | 1.54                        | 1.54                    | 1.745                   | 1.410                      |
|            | M1      | 0.00 a 4.15 | 2.672           | ---        | ---            | 4.621             | ---               | 1.63                           | 1.56                        | 1.56                    | 1.757                   | 1.420                      |

CONSORCIO RIO ICA  
  
**JUAN JORGE LOPEZ DELGADO**  
 Representante Legal

  
**D. SAMUEL BARRIALES GAMARRA**  
 INGENIERO GEOLOGO  
 Reg. CIP. N° 38191

CONSORCIO RIO ICA  
  
**Ing Alvaro De La Torre V.**  
 JEFE DE ESTUDIO



**ANEXO IV. DATOS DOCUMENTALES DEL ESTUDIO HIDROLOGICO**

**CONSORCIO  
RIO ICA**

Contrato N° 023-2014 SERVICIO DE CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DEFINITIVO Y EXPEDIENTE TÉCNICO DEL PROYECTO "CONTROL DE DESBORDES E INUNDACIONES EN EL RÍO ICA Y QUEBRADA CANSAS/CHANCHAJALLA".

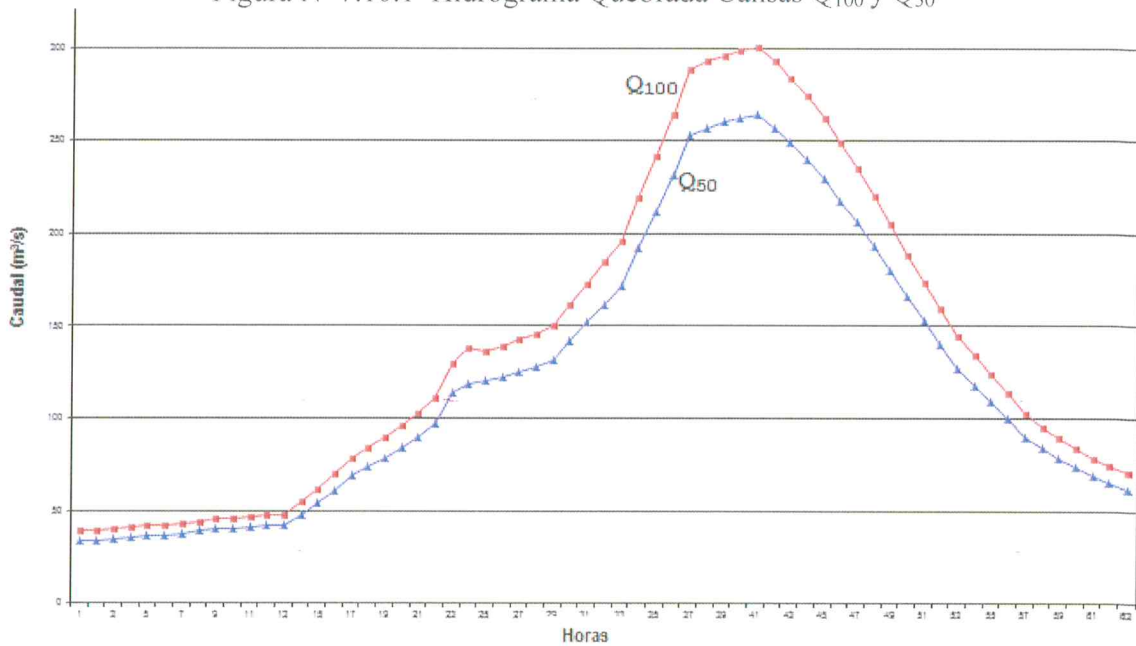
1462

proceda a instalar una estación en la quebrada Cansas o Chanchajalla, instalar estaciones pluviométricas en Cansas y Los Molinos y repotenciar o mejorar las estaciones Tambo, Santiago de Chocorvos y Huamalies.

**7.10 HIDROGRAMA DE LAS AVENIDAS DE DISEÑO**

En las Figuras N° 7.10.1 y 7.10.2 y en el cuadro N° 7.10.1 se presentan los hidrogramas correspondientes a la Quebrada Cansas/Chanchajalla y Río Ica para las avenidas de diseño seleccionadas. Estos hidrogramas han sido generados con el modelo hidrológico HFAM. En las figuras 7.10.3, 7.10.4 y 7.10.5, así como en los cuadros N° 7.10.2 a 7.10.3 se presenta el tránsito de los caudales máximos del río Ica  $Q_{1000}$ ,  $Q_{200}$  y  $Q_{100}$  atenuado por las 4 pozas de disipación proyectadas.

Figura N° 7.10.1 Hidrograma Quebrada Cansas  $Q_{100}$  y  $Q_{50}$



**CONSORCIO RIO ICA**

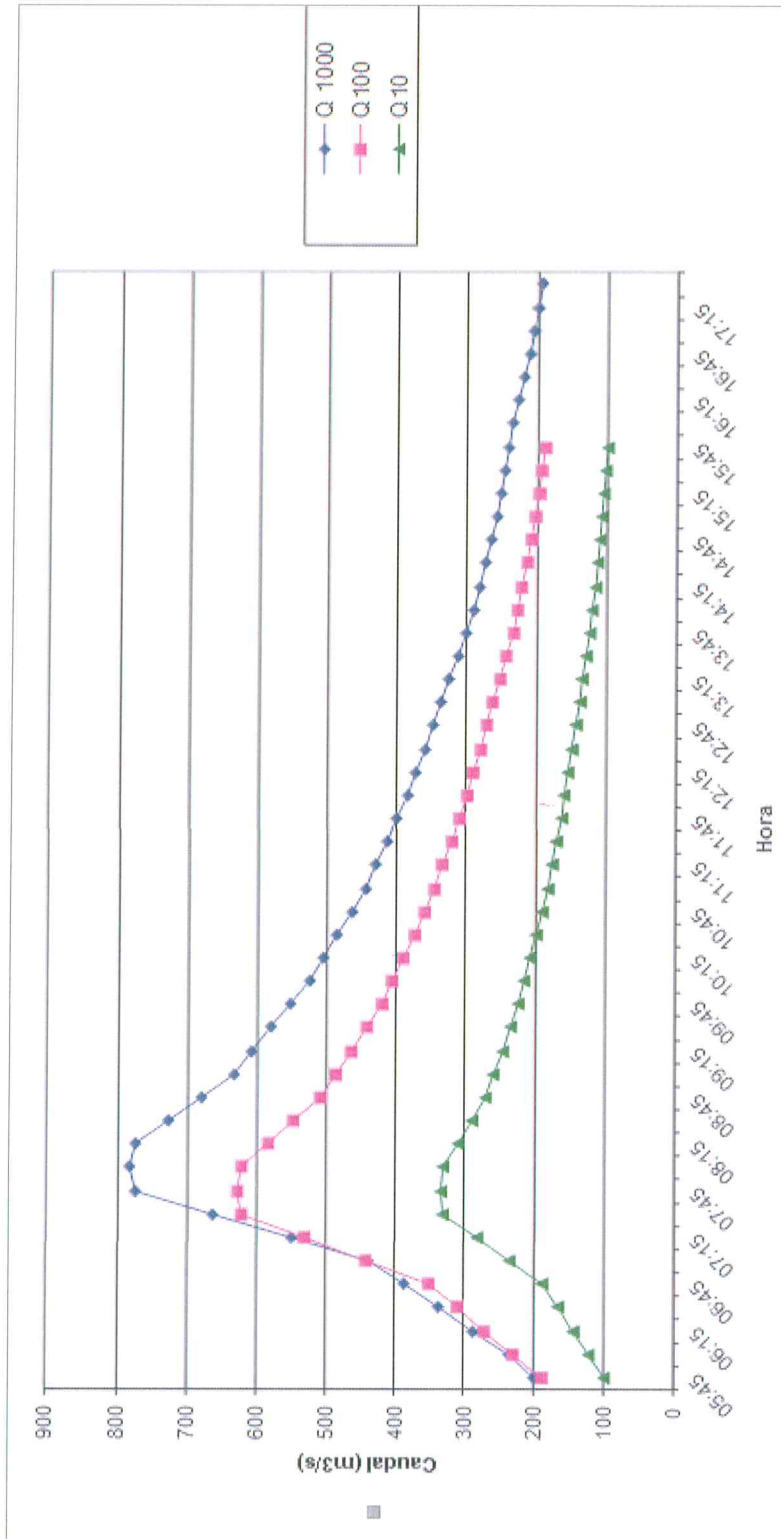
JUAN JÓRGE LOPEZ DELGADO  
Representante Legal

GUSTAVO LIZARES ARCE  
INGENIERO AGRÍCOLA  
CIP. 70355

**CONSORCIO RIO ICA**

Ing Abelardo De La Torre V.  
JEFE DE ESTUDIO

Figura 7.10.2 Hidrograma del río Ica  $Q_{1000}$ ,  $Q_{100}$  y  $Q_{10}$



CONSORCIO RIO ICA

JUAN JORGE LOPEZ DELGADO  
Representante Legal

GUSTAVO LIZARES ARCE  
INGENIERO AGRICOLA  
CIP. 70355

CONSORCIO RIO ICA

Ing Abelardo De La Torre V.  
JEFE DE ESTUDIO

Cuadro N° 7.10.1

HIDROGRAMAS DEL RIO ICA Y QUEBRADA CANSAS/CHANCHAJALLA  
GENERADOS CON EL MODELO HIDROLOGICO HFAM

| HORA  | RIO ICA  |   |  | QUEBRADA CANSAS/CHANCHAJALLA                        |  |
|-------|--|---|--|---|--|
|       | PERIODO DE RETORNO<br>1000 AÑOS<br>m <sup>3</sup> /s | PERIODO DE RETORNO<br>100 AÑOS<br>m <sup>3</sup> /s | PERIODO DE RETORNO<br>10 AÑOS<br>m <sup>3</sup> /s | PERIODO DE RETORNO<br>100 AÑOS<br>m <sup>3</sup> /s | PERIODO DE RETORNO<br>50 AÑOS<br>m <sup>3</sup> /s |
| 05:45 | 200  | 188   | 100  | 39  | 34   |
| 06:00 | 235  | 229   | 122  | 39  | 34   |
| 06:15 | 286  | 270   | 144  | 40  | 35   |
| 06:30 | 337  | 310   | 165  | 41  | 36   |
| 06:45 | 387  | 352   | 187  | 42  | 37   |
| 07:00 | 438  | 441   | 235  | 42  | 37   |
| 07:15 | 550  | 531   | 282  | 43  | 38   |
| 07:30 | 662  | 621   | 330  | 44  | 39   |
| 07:45 | 774  | 628   | 334  | 46  | 40   |
| 08:00 | 783  | 621   | 330  | 46  | 40   |
| 08:15 | 774  | 583   | 310  | 47  | 41   |
| 08:30 | 727  | 546   | 290  | 48  | 42   |
| 08:45 | 681  | 509   | 271  | 48  | 42   |
| 09:00 | 634  | 487   | 259  | 55  | 48   |
| 09:15 | 607  | 465   | 247  | 62  | 54   |
| 09:30 | 580  | 443   | 235  | 70  | 61   |
| 09:45 | 552  | 421   | 224  | 79  | 69   |
| 10:00 | 525  | 405   | 215  | 84  | 74   |
| 10:15 | 505  | 389   | 207  | 90  | 79   |
| 10:30 | 485  | 373   | 198  | 96  | 84   |
| 10:45 | 465  | 358   | 190  | 103   | 90   |
| 11:00 | 446  | 345   | 183  | 111   | 97   |
| 11:15 | 430  | 333   | 177  | 130   | 114  |
| 11:30 | 415  | 321   | 171  | 138   | 119  |
| 11:45 | 400  | 308   | 164  | 135   | 121  |
| 12:00 | 384  | 298   | 159  | 139   | 122  |
| 12:15 | 372  | 289   | 154  | 143   | 125  |
| 12:30 | 360  | 279   | 148  | 146   | 128  |
| 12:45 | 348  | 270   | 144  | 150   | 132  |
| 13:00 | 337  | 261   | 139  | 162   | 142  |
| 13:15 | 325  | 251   | 134  | 173   | 152  |
| 13:30 | 313  | 242   | 129  | 185   | 162  |
| 13:45 | 302  | 232   | 124  | 196   | 172  |
| 14:00 | 290  | 226   | 120  | 219   | 192  |
| 14:15 | 282  | 220   | 117  | 242   | 212  |
| 14:30 | 274  | 213   | 113  | 264   | 232  |
| 14:45 | 266  | 207   | 110  | 288   | 253  |
| 15:00 | 258  | 202   | 107  | 293   | 257  |
| 15:15 | 252  | 197   | 105  | 296   | 260  |
| 15:30 | 246  | 192   | 102  | 299   | 262  |
| 15:45 | 240  | 188   | 100  | 301   | 264  |
| 16:00 | 235  |   |  | 293   | 257  |
| 16:15 | 227  |   |  | 284   | 249  |
| 16:30 | 219  |   |  | 274   | 240  |
| 16:45 | 211  |   |  | 262   | 230  |
| 17:00 | 205  |   |  | 249   | 218  |
| 17:15 | 200  |   |  | 235   | 206  |
| 17:30 | 194  |   |  | 220   | 193  |
|       |  |   |  | 205   | 180  |
|       |  |   |  | 189   | 166  |
|       |  |   |  | 174   | 153  |
|       |  |   |  | 160   | 140  |
|       |  |   |  | 145   | 127  |
|       |  |   |  | 135   | 118  |
|       |  |   |  | 124   | 109  |
|       |  |   |  | 114   | 100  |
|       |  |   |  | 103   | 90   |
|       |  |   |  | 95  | 84   |
|       |  |   |  | 90  | 79   |
|       |  |   |  | 84  | 74   |
|       |  |   |  | 79  | 69   |
|       |  |   |  | 75  | 65   |
|       |  |   |  | 71  | 62   |

CONSORCIO RIO ICA

JUAN JORGE LOPEZ DELGADO  
Representante Legal

GUSTAVO LIZARES ARCE  
INGENIERO AGRÍCOLA  
CIF. 70355

CONSORCIO RIO ICA

Ing Abelardo De La Torre V.  
JEFE DE ESTUDIO