UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL - HUANCAVELICA

TESIS

"INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE UN MODELO NUMÉRICO"

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

PRESENTADOS POR:

Bach. PARIONA ESCOBAR, Rober Marcelino

Bach. HUAMANÍ CASO, María Elena

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCAVELICA - PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Huancavelica, a los veintidós días (22) del mes de diciembre del año 2021, siendo las diecisiete horas (17:00), se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los docentes: **M.Sc. Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES (PRESIDENTE), Mg. Jorge Luis ORTEGA VARGAS (SECRETARIO), M.Sc. Iván Arturo AYALA BIZARRO (ASESOR),** designados con Resolución de Decano Nº 339-2021-FCI-UNH, de fecha 02 de diciembre del 2021, a fin de proceder con la sustentación y calificación virtual mediante el aplicativo MEET del informe final de tesis titulado: "INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RIO MANTARO MEDIANTE UN MODELO NUMÉRICO", presentado por los Bachilleres **Rober Marcelino PARIONA ESCOBAR y María Elena HUAMANI CASO,** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**. Finalizada la sustentación virtual a horas 18;50; se comunicó a los sustentantes y al público en general que los Miembros del Jurado abandonarán el aula virtual para deliberar el resultado:

Rober Marcelino PARIONA ESCOBAR

APROBADO [x] POR ...UNANIMIDAD.....

DESAPROBADO [ ]

María Elena HUAMANI CASO

APROBADO [x] POR ...UNANIMIDAD.....

DESAPROBADO [ ]

En señal de conformidad, firmamos a continuación:

Presidente | Secretario | Vocal

V° B° Decano

Título

“INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE UN MODELO NUMÉRICO”

Autores

Bach. PARIONA ESCOBAR, Rober Marcelino.

Bach. HUAMANI CASO, Maria Elena.

Asesor

M.Sc. Ing. AYALA BIZARRO, Iván Arturo.

Dedicatoria

A Dios, a mis queridos padres, a las personas que me apoyaron en mi formación académica, en lo económico y moral, a quienes que me dan ese gran gesto para seguir adelante. A todos ellos les dedico esta investigación científica.

Rober Marcelino Pariona Escobar

A mis progenitores Maria y Gregorio, por el apoyado en todo momento por sus consejos y sus valores inculcados. A mis hermanas, Saturmina, Gladys, Nerida y Betsy por su ejemplo de perseverancia y constancia que las caracteriza, A mi amado novio por la paciencia y amor que brinda incondicional. A mi hijo, por traer alegría, amor a mi vida con su existencia.

María Elena Huamaní Caso

Agradecimientos

Gracias a Dios por permitir hacer realidad esta investigación que lleva por título: “INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE UN MODELO NUMÉRICO”, gracias a nuestras familias por el apoyo incondicional en lo económico y en lo moral, gracias todos los ingenieros de Universidad Nacional de Huancavelica de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil-Huancavelica, por brindarnos sus conocimientos necesarios para hacer realidad esta investigación. ¡Gracias!

Índice

Portada i
Título iii
Autores iv
Asesor v
Dedicatoria vi
Agradecimientos vii
Índice viii
Índice de tablas xiv
Resumen xx
Abstract xxi
Introducción xxii
CAPÍTULO I 23
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 23
1.1. Descripción del problema 23
1.2. Formulación de problema 28
1.2.1. Problema general 28
1.2.2. Problemas específicos 28
1.3. Objetivos 29
1.3.1. Objetivo general 29
1.3.2. Objetivos específicos 29
1.4. Justificación 30
CAPÍTULO II 31

MARCO TEÓRICO 31

2.1. Antecedentes 31

2.1.1. Antecedentes internacionales 31

2.1.2. Antecedentes nacionales 34

2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación 35

2.2.1. Cauces meándricos 35

2.2.2. Depósito de sedimentos en cauces meándricos 36

2.2.3. Origen de los sedimentos 38

2.2.4. Transporte de sedimentos 39

2.2.5. Mecanismos de transporte de sedimentos en un cause 44

2.2.6. Modalidades del transporte de sedimentos 45

2.2.7. Medición del transporte de sedimentos 47

2.2.8. Transporte de sedimentos de fondo 47

2.2.9. Transporte de sedimentos en suspensión 51

2.2.10. Sedimentación 55

2.2.11. Propiedas fisícas del sedimento 58

2.2.12. Tamaño y forma del sedimento 58

2.2.13. Capacidad hidráulica 60

2.2.14. Cálculo hidráulico 60

2.2.15. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos 65

2.2.16. Modelo numérico y ecuaciones del Iber 67

2.2.17. Batimetría 70
2.2.18. Fotogrametría 72
2.3. Definiciones de términos 73
2.4. Variables de estudio 74
2.4.1. Variable independiente 74
2.4.2. Variable dependiente 75
2.5. Operacionalización de variables 75
CAPÍTULO III 76
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 76
3.1. Ámbito temporal y espacial 76
3.2. Tipo de investigación 77
3.3. Nivel de investigación 77
3.4. Método de investigación 78
3.5. Diseño de investigación 78
3.6. Población, muestra y muestreo 78
3.6.1. Población 78
3.6.2. Muestra 79
3.6.3. Muestreo 79
3.7. Técnicas de recolección de datos 79
3.7.1. Instrumentos de recolección de datos 79

3.7.2. Procedimientos de recolección de datos 80

3.8. Técnicas y procesamiento de análisis de datos 80

3.8.1. Procesamiento de datos 80

3.8.2. Análisis e interpretación de datos 80

CAPÍTULO IV 81

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 81

4.1. Análisis de información 81

4.1.1. Reconocimiento y exploración de campo 85

4.1.2. Levantamiento topográfico 88

4.1.3. Fotogrametría 90

4.1.4. Batimetría 96

4.1.3. Extracción y análisis de suelos 104

4.1.4. Simulación hidráulica mediante un modelo numérico Iber 114

4.2. Discusión de resultados 134

4.2.1. Análisis de velocidades para un caudal de 900 m3/s 134

4.2.2. Análisis de calados para un caudal de 900 m3/s 139

4.2.3. Análisis de la capacidad hidráulica del puente Ccota 144

4.2.4. Análisis de sedimentación y la erosión para un caudal 900 m3/s 145

Conclusiones 147

Recomendaciones 148

Referencias bibliográficas 149

Anexos 152

Matriz de consistencia 153

Certificado del laboratorio de mecánica de suelos 155

Planos del levantamiento topográfico 156

Plano de planta y perfil longitudinal Prog. 0+000 - 1+000 157

Plano de planta y perfil longitudinal Prog. 1+000 - 1+2000 158

Plano de secciones transversales Prog. 0+000 - 0+360 159

Plano de secciones transversales Prog. 0+360 – 0+700 160

Plano de secciones transversales Prog. 0+700 – 1+000 161

Plano de secciones transversales Prog. 1+000 – 1+280 162

Plano de secciones transversales Prog. 1+280 – 1+640 163

Plano de secciones transversales Prog. 1+640 – 2+000 164

Plano de planta topográfica del puente Ccota 165

Plano de cortes del puente Ccota 166

Plano de ubicación y localización 167

Planos de resultados de la Modelación Hidráulica 168

Plano topográfico de la MH Prog. 0+000 – 1+1200 169

Plano topográfico de la MH Prog. 1+200 – 2+000 170

Plano de perfiles longitudinales de la MH Prog. 0+000 – 2+000 171

Plano de rugosidades de Manning de la MH 172

Plano de velocidades para un Q=900 m3/s con 5 alcat. la MH 173

Plano de tirantes para un Q=900 m3/s con 5 alcat. de la MH 174

Plano de cota de agua para un Q=900 m3/s con 5 alcat. de la MH.....175
Plano de velocidades para un Q=900 m3/s con 3 alcat. de la MH.....176
Plano de tirantes para un Q=900 m3/s con 3 alcat. de la MH.....177
Plano de cota de agua para un Q=900 m3/s con 3 alcat. de la MH.....178
Plano de velocidades para un Q=300 m3/s con 5 alcat. de la MH.....179
Plano de tirantes para un Q=300 m3/s con 5 alcat. de la MH.....180
Plano de cota de agua para un Q=300 m3/s con 5 alcat. de la MH.....181
Plano de secciones transversales MH Prog. 0+000 - 0+350.....182
Plano de secciones transversales MH Prog. 0+350- 0+900.....183
Plano de secciones transversales MH Prog. 0+900- 1+350.....184
Plano de secciones transversales MH Prog. 1+350- 1+850.....185
Plano de secciones transversales MH Prog. 1+850- 2+150.....186

Índice de tablas

Tabla 1 *Modos de movimiento del sedimento* 55

Tabla 2 *Clasificación de partículas* 59

Tabla 3 *Fricción de pared. ks es la altura de rugosidad de la pared* 69

Tabla 4 *Operacionalización de variables* 75

Tabla 5 *Tabla de BMs y estaciones* 88

Tabla 6 *Tabla de puntos de control de la altura* 92

Tabla 7 *Coordenadas topográficas de la batimetría* 99

Tabla 8 *Análisis granulométrico* 105

Tabla 9 *Porcentajes de material* 106

Tabla 10 *Módulo de fineza* 106

Tabla 11 *Límites de Atterberg* 106

Tabla 12 *Diámetro efectivos:* 107

Tabla 13 *Clasificación del suelo a una profundidad de 2 m* 108

Tabla 14 *Ensayo de compresión Triaxial de M- 1* 110

Tabla 15 *Ensayo de compresión Triaxial de M- 2* 111

Tabla 16 *Ensayo de corte directo ASTM D3080* 111

Tabla 17 *Líneas de perforación* 112

Tabla 18 *Descripción de los sondeos S- 01* 113

Tabla 19 *Tabla de resultados de coeficiente de Manning(n)* 118

Tabla 20 *Tabla de velocidades para un caudal de 900 m3/s* 134

Tabla 21 *Velocidades críticas para un caudal de 900 m3/s* 137

Tabla 22 *Tabla de calados para un caudal de 900 m3/s* 139

Tabla 23 *Tabla de comparación de calados críticos para un caudal de 900 m3/s*..... 142

Tabla 24 *Tabla de erosión y sedimentación*..... 146

Índice de figuras

Figura 1 *Cause meándrico en el tramo del puente Ccota* 24

Figura 2 *Acumulación de sedimentos en la batería de alcantarillas* 25

Figura 3 *Represamiento del río Mantaro en el puente Ccota* 26

Figura 4 *Inundación de la carretera Huancayo – Ayacucho* 27

Figura 5 *Cauce meándrico* 35

Figura 6 *Meandros activos y abandonados en un río.* 37

Figura 7 *Curva de capacidad de transporte* 40

Figura 8 *Esquema de producción de sedimentos* 42

Figura 9 *Representación esquemática de la carga total de sedimento* 44

Figura 10 *Modos de transporte de sólidos* 46

Figura 11 *Distribución vertical de concentraciones* 52

Figura 12 *Método de Lane y Kalinske* 53

Figura 13 *Método de Einstein* 54

Figura 14 *Elemento de cálculo de la sobreelevación* 61

Figura 15 *Zona de mayor sobreelevación en un puente oblicuo* 62

Figura 16 *Características hidráulicas* 62

Figura 17 *La topografía del fondo marino* 71

Figura 18 *Fotogrametría* 72

Figura 19 *Ubicación del puente Ccota en el río Mantaro* 76

Figura 20 *Depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas* 85

Figura 21 *Sedimento en la batería de alcantarilla* 86

Figura 22 *Remanso hidráulico* 87

Figura 23 *Inundación de la carretera Central Sur* 87

Figura 24 *Día del levantamiento topográfico* 89

Figura 25 *Levantamiento topográfico con Dron* 89

Figura 26 *Vuelo fotogramétrico* 90

Figura 27 *Punto de control marcado con yeso* 91

Figura 28 *Inicio del plan de vuelo* 93

Figura 29 *Dron Phatom 4 Pro en vuelo* 93

Figura 30 *Ortofoto del relieve topográfico* 94

Figura 31 *DEM del terreno del relieve topográfico* 95

Figura 32 *Vista panorámica del puente Ccota* 96

Figura 33 *Levantamiento batimétrico* 97

Figura 34 *Vista panorámica del levantamiento batimétrico* 98

Figura 35 *Levantamiento batimétrico presencia de la prisma* 98

Figura 36 *Vista en 3D del relieve topográfico* 102

Figura 37 *Secciones de control del puente* 103

Figura 38 *Análisis granulométrico* 104

Figura 39 *Curva granulométrica por tamizado* 107

Figura 40 *Carta de plasticidad* 108

Figura 41 *Calicata 1 margen izquierdo de río Mantaro* 109

Figura 42 *Calicata 2 margen izquierdo de río Mantaro* 109

Figura 43 *Laboratorio Geotécnico del CISMID – UNI* 110

Figura 44 *Estudio de sondeo* 112

Figura 45 *Simulación hidráulica con el software Iber* 114

Figura 46 *Dibujo isométrico en 3D del puente Ccota* 115

Figura 47 *Construcción del Modelo Digital de Elevación* 116

Figura 48 *Mapa de coeficientes de Manning (n)* 119

Figura 49 *Tamaño de la malla en el cauce del río y en la estructura del puente* 120

Figura 50 *Superficie del río Mantaro tramo del puente Ccota genera en el Iber* 120

Figura 51 *Resultado de la simulación hidráulica del puente Ccota* 121

Figura 52 *Velocidades para un caudal de 900 m3/s con cinco alcantarillas* 122

Figura 53 *Caldos para un caudal de 900 m3/s con 5 alcantarillas* 123

Figura 54 *Número de froude para un caudal de 900 m3/s con 5 alcantarillas* 124

Figura 55 *Velocidades para un caudal de 900 m3/s con 3 alcantarillas* 125

Figura 56 *Caldos para un caudal de 900 m3/s con 3 alcantarillas* 126

Figura 57 *Número de Froude para un caudal de 900 m3/s con 3 alcantarillas* 127

Figura 58 *Capacidad hidráulica del puente Ccota* 128

Figura 59 *Velocidad para una capacidad hidráulica de 300 m3/s* 129

Figura 60 *Calado para una capacidad hidráulica de 300 m3/s* 130

Figura 61 *Número de froude para una capacidad hidráulica de 300 m3/s* 131

Figura 62 *Erosión para un caudal de 900 m3/s* 132

Figura 63 *Sedimentación para un caudal de 900 m3/s* 133

Figura 64 *Gráfica de comparación de velocidades para un caudal de 900 m3/s* 136

Figura 65 *Gráfica de velocidades críticas para un caudal 900 m3/s* 138

Figura 66 *Gráfica de comparación de calados para un caudal 900 m3/s* 141

Figura 67 *Gráfica de comparación de calados críticos* 142

Figura 68 *Sección transversal Prog. 1+200* 143

Figura 69 *Análisis de la capacidad hidráulica del puente Ccota* 144

Figura 70 *Análisis de la sedimentación y la erosión* 145

Figura 71 *Gráfica de sedimentación y erosión* 146

Resumen

El presente trabajo de investigación lleva por título: “INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE UN MODELO NUMÉRICO”, tiene como objetivo principal describir la influencia del depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas en la capacidad hidráulica del puente, y el comportamiento hidráulico, mediante la simulación bidimensional con el software Iber.

Se realizaron diferentes estudios de ingeniería en diferentes etapas, tales como el reconocimiento y exploración de campo mediante las cámaras fotográficas en donde se observó depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas y socavación en el estribo izquierdo de puente. Se realizó levantamiento topográfico aguas arriba y aguas abajo del puente mediante la fotogrametría y la batimetría en donde se encontró una pendiente promedio del tramo de 0.00625 m/m. Se realizó calicatas a una profundidad de 2m aguas arriba y aguas abajo del puente, el material que se obtuvo de la extracción y el análisis en el laboratorio de suelos como resultado se tiene grava mal graduada con presencia de limos, tiene diámetro característico D50 de 15.889 mm y coeficiente de Manning (n) de 0.0228.

Para los cálculos del comportamiento hidráulico del rio Mantaro en el tramo del puente Ccota se ha usado el método de volúmenes finitos mediante las ecuaciones de Saint-Venant bidimensionales y para la simulación del trasporte de sedimentos se utiliza una formula empírica de Meyer-Peter Muller y Van Rijn. Como resultado se obtuvo lo siguiente: para un caudal de 900.00 m3/s, el promedio de la velocidad media es 2.89 m/s, la velocidad máxima es 5.07 m/s, la velocidad mínima es 0.24 m/s, la capacidad hidráulica del puente es 300 m3/s aproximados, la sedimentación se da en la entrada de la batería de alcantarillas zona convexa del meandro y la erosión en los estribos de la zona cóncava.

Palabra clave: Capacidad hidráulica, depósito de sedimentos y puente Ccota.

Abstract

The present research work is entitled: "INFLUENCE OF SEDIMENT DEPOSIT ON THE HYDRAULIC CAPACITY OF THE CCOTA RÍO MANTARO BRIDGE THROUGH A NUMERICAL MODEL", its main objective is to describe the influence of the sediment deposit in the battery of sewers on the hydraulic capacity of the bridge, and the hydraulic behavior, by means of the two-dimensional simulation with the Iber software.

Different engineering studies were carried out at different stages, such as reconnaissance and field exploration using photographic cameras where sediment deposit was observed in the sewer battery and scour in the left abutment of the bridge. Topographic survey was carried out upstream and downstream of the bridge using photogrammetry and bathymetry, where an average slope of the section of 0.00625 m/m was found. Pits were made at a depth of 2m upstream and downstream of the bridge, the material obtained from the extraction and analysis in the soil laboratory, as a result, has poorly graded gravel with the presence of silt, it has a characteristic diameter D50 of 15,889 mm and Manning's coefficient (n) of 0.0228.

For the calculations of the hydraulic behavior of the Mantaro river in the stretch of the Ccota bridge, the finite volume method has been used by means of the two-dimensional Saint-Venant equations and for the simulation of sediment transport an empirical formula of Meyer - Peter Muller and They go Rijn. As a result, the following was obtained: for a flow of 900.00 m3/s, the average speed is 2.89 m/s, the maximum speed is 5.07 m/s, the minimum speed is 0.24 m/s, the hydraulic capacity of the The bridge is approximately 300 m3/s, sedimentation occurs at the entrance to the sewer battery in the convex zone of the meander and erosion in the abutments of the concave zone.

Keyword: Hydraulic capacity, sediment tank and Ccota bridge.

Introducción

El presente trabajo de investigación se enfoca en describir la influencia del depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas y la socavación en el pie de los estribos, en la capacidad hidráulica del puente Ccota en el río Mantaro. Las altas precipitaciones en el valle del Mantaro se dan entre los meses de diciembre y marzo, periodo en el cual se genera la crecida del caudal del río, provocando inundaciones y deslizamientos de masa de tierra, el cual es trasportado aguas abajo, formando depósito de sedimentos en pocas pendientes y la socavación en pendientes fuertes. El tramo del puente Ccota se encuentra en un cauce meándrico, los sedimentos se depositan en la orilla convexa debido a que las velocidades en ese sitio son menores, las velocidades del flujo en la parte cóncava son mayores que ocasionan la erosión de taludes. Todo este fenómeno afecta las estructuras hidráulicas del puente y afecta el comportamiento hidráulico del río.

Con el transcurrir del tiempo se viene observando depósito de sedimentos en el pie de la batería de alcantarillas, obstaculizando la salida del flujo eficiente, todo este fenómeno trae como consecuencia la disminución de la capacidad hidráulica del puente y la socavación por estrechamiento en los estribos del puente Ccota en el río Mantaro.

Debido al problema del depósito de sedimentos, socavación y el comportamiento hidráulico de la represa de Tablachaca, el cual se encuentra a 20 km aguas arriba del puente Ccota en río Mantaro. El comportamiento hidráulico no controlada de esta represa podría generar desbordamiento y daños en la superestructura del puente, por estas razones es necesario conocer las velocidades, tirantes, capacidad de transporte de sedimentos, la capacidad hidráulica del puente, el caudal máximo de diseño del flujo del puente en un estado más crítico del depósito de sedimento de la batería de alcantarillas, mediante la simulación numérica bidimensional con el software Iber 2D, usado el método de volúmenes finitos mediante las ecuaciones diferenciales de Saint-Venant.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación, se describe los problemas de la presente investigación.

1.1. Descripción del problema

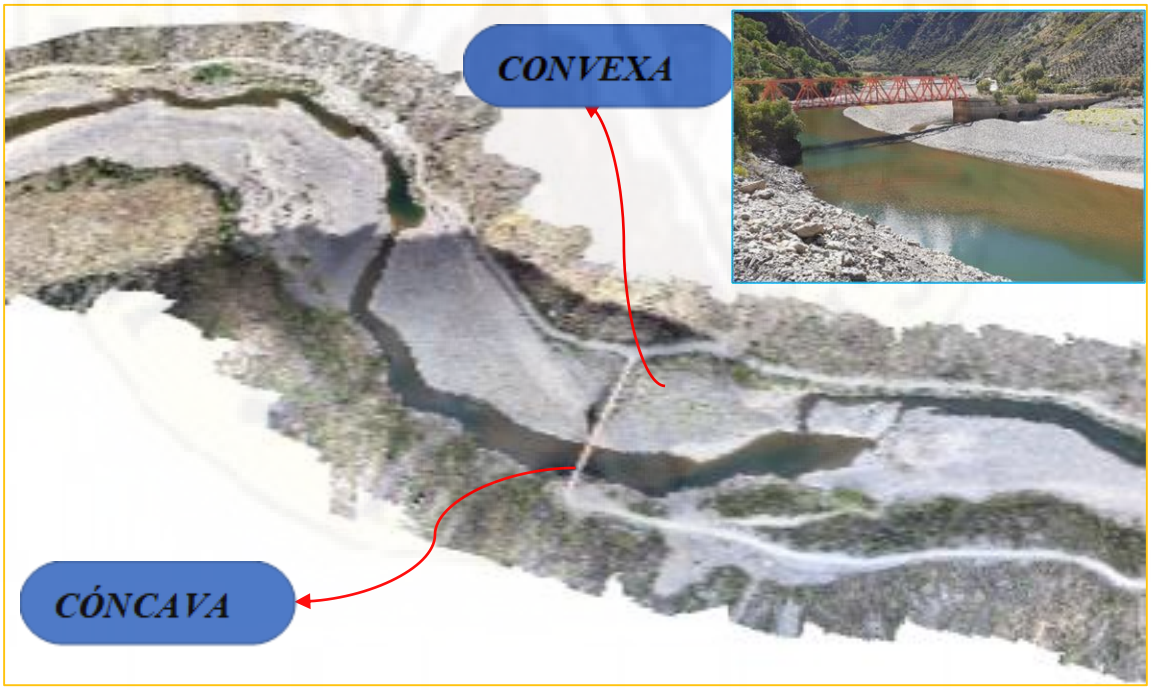
El puente Ccota se encuentra ubicado en el río Mantaro del centro poblado de Añancusi límite con los distritos de Acoria, Cosme, de las provincias de Huancavelica y Churcampa respectivamente del departamento de Huancavelica. Este puente con el transcurrir del tiempo se viene observando el depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas, así mismo la socavación en el pie de los estribos del puente.

El río Mantaro en el tramo del puente Ccota tiene las características de un cauce explayado y un pendiente promedio aproximado 0.00625 m/m, con el estado de flujo supercrítico, con presencia de material de grava, arena, limos y arcillas, lo cual genera una gran acumulación de sedimentos en la batería de alcantarillas provenientes de las quebradas de aguas arriba del río que existe transporte de sedimentos por arrastre que no pueden ser evaluados en las condiciones actuales, puesto que la información es nula.

El tramo del puente Ccota es cauce meándrico del río Mantaro, en donde se muestra una curva hacía la izquierda respecto al sentido del flujo, en el margen izquierdo del río se encuentra la parte convexa del meandro, en donde las velocidades del flujo considerablemente son menores, donde los sedimentos desprendidos se depositan en la orilla convexa y en el margen derecho del río se encuentra la parte cóncava del meandro, donde las velocidades del flujo considerablemente son mayores que ocasiona la erosión del talud y el lecho. Como se muestra en la siguiente (Figura 1) la batería de alcantarillas del puente Ccota se ubica en la parte convexa del meandro que está sufriendo la obstrucción por el depósito de sedimentos que afecta el paso del flujo eficiente, este fenómeno considerablemente influye en la capacidad hidráulica del puente, en la parte cóncava del meandro se encuentra empotrado el estribo derecho del puente donde las velocidades son mayores que ocasiona la erosión y el deterioro al concreto armado.

Figura 1

Cause meándrico en el tramo del puente Ccota



Nota. Cause meándrico, tramo del puente Ccota del río Mantaro. Fuente: elaboración propia.

Según el registro fotográfico (Figura 2) tomada en el mes de febrero del año 2020, observamos acumulación de sedimentos en la batería de alcantarillas del puente Ccota, además podemos observar la presencia de sedimentos rocosos en su mayoría cantos rodados obstruccionando el comportamiento de flujo del río.

Figura 2

Acumulación de sedimentos en la batería de alcantarillas

Nota. Batería de alcantarillas del puente Ccota en el río Mantaro. Fuente: elaboración propia.

Podemos evidenciar según el registro fotográfico (Figura 3) tomada en el mes de marzo del año 2020, que se observa represamiento del río Mantaro en el puente Ccota, debido a que en la batería de alcantarillas se encuentra la acumulación de sedimentos obstruyendo el paso del flujo creciente. Debido a las altas precipitaciones que se presentan en la región y el aumento del caudal del río ocasionará una grave emergencia en la Carretera Central sur del tramo del puente Ccota.

En el mes de marzo del año 2020, el río presentó una fuerte creciente y represamiento debido a que la acumulación de sedimentos en la batería de alcantarillas impida el paso del flujo, como se muestra en la siguiente (figura 3).

Figura 3

Represamiento del río Mantaro en el puente Ccota

Nota. Depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas del puente Ccota en el río Mantaro obstruyen el paso de flujo formando un remansó hidráulico. Fuente: elaboración propia.

Lo que se reafirma con la acumulación del depósito de sedimento en la batería de alcantarillas del puente Ccota en los últimos años la capacidad hidráulica disminuye.

El estrechamiento del cauce por el depósito de sedimento en la batería de alcantarillas del puente Ccota produce pérdida de energía en sobreelevación de la superficie del flujo hacia aguas arriba de la sección de control. Esta sobreelevación es la altura de remanso del flujo.

El represamiento y el remanso del flujo provoca desborde del río aguas arriba del puente Ccota en la carretera red vial nacional Huancayo - Ayacucho, podemos evidenciar según el registro fotográfico (Figura 4) tomada en el mes de marzo del año 2020.

Figura 4

Inundación de la carretera Huancayo – Ayacucho

Nota. La inundación del río Mantaro en la carretera Huancayo – Ayacucho a 30 mts aguas arriba del puente Ccota. Fuente: elaboración propia.

La acumulación de sedimentos en la batería de alcantarillas ocasiona fallas en la operación del puente, de continuar así el fenómeno en un corto tiempo se verán desbordamientos y fallas en la superestructura del puente, que afectará el tránsito vehicular y peatonal y la pérdida económica, que afecte económicamente al Gobierno Regional de Huancavelica y por ende generaría el malestar en la población.

Por lo expuesto anteriormente, se cree conveniente desarrollar la investigación “Influencia del depósito de sedimento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico”.

1.2. Formulación de problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo se viene dándose la influencia del depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo se viene dándose la influencia del depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas en el remanso hidráulico del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico?
- ¿Cómo se viene dándose la influencia del depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas en el tirante hidráulico del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico?
- ¿Cómo se viene dándose la influencia del depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas en las velocidades hidráulicas del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico?
- ¿Cómo se viene dándose la influencia del depósito de sedimento en la batería de alcantarillas en la erosión de las estructuras hidráulicas del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico?
- ¿Cómo se viene dándose la influencia del depósito de sedimento en la batería de alcantarillas con 5 alcantarillas en funcionamiento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico?
- ¿Cómo se viene dándose la influencia del depósito de sedimento en la batería de alcantarillas con 3 alcantarillas en funcionamiento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Describir la influencia del depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico.

1.3.2. Objetivos específicos

- Describir la influencia del depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas en el remanso hidráulico del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico.
- Describir la influencia del depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas en el tirante hidráulico del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico.
- Describir la influencia del depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas en las velocidades hidráulicas del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico.
- Describir la influencia del depósito de sedimento en la batería de alcantarillas en la erosión de las estructuras hidráulicas del puente Determinar Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico.
- Describir la influencia depósito de sedimento en la batería de alcantarillas con 5 alcantarillas en funcionamiento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico.
- Describir la influencia depósito de sedimento en la batería de alcantarillas con 3 alcantarillas en funcionamiento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico.

1.4. Justificación

Borja (2012) en su libro de metodología de la investigación para ingenieros sostiene que: “El investigador debe sustentar adecuadamente las razones por las cuales su proyecto de investigación es importante para la ciencia y el conocimiento” (p.19).

En ese sentido, la presente investigación se realiza respetando los lineamientos de la metodología de la investigación, asimismo rigiéndose bajo la normativa del área de investigación de la Universidad Nacional de Huancavelica, por lo que la “ Influencia del depósito de sedimento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico” sea de un aporte para contribuir con su desarrollo.

El fenómeno de transportes de sedimentos y socavación es algo natural en el comportamiento hidráulico del río que no se puede evitar, sin embargo, se puede estimar y controlar, en el puente Ccota se ha visto un problema de depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas y la socavación por estrechamiento al pie del estribo.

El depósito de sedimento afecta a la capacidad hidráulica del puente Ccota provocando un remanso hidráulico aguas arriba, teniendo en cuenta estos problemas, en la presente investigación se plantea en estimar la capacidad hidráulica máxima del puente Ccota para las condiciones más críticas del depósito de sedimento batería de alcantarillas mediante un modelo numérico.

Este aporte nos permitirá controlar el comportamiento hidráulico del caudal de la represa de Tablachaca que se encuentra aguas arriba del puente Ccota, así mismo plantear una solución al depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas para evitar las inundaciones y fallas en la superestructura del puente. Esta investigación es muy importante para la ciencia y generar un nuevo conocimiento, el cual podrá ser tomado en consideración en futuros proyectos de investigación e inversión, siendo los principales beneficiarios los pobladores de la zona.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Pérez (2017), realizó la tesis de maestría: *"Influencia del depósito de sedimento en el comportamiento de una batería de compuertas"*, en la Universidad Nacional Autónoma de México. Tuvo por objetivo general: analizar estas obras en los laboratorios para su mejor funcionamiento, por lo que se realizaron modelos físicos a escala. La conclusión a la que se llegó la investigación es: El modelo fisco y sus mediciones se notó que a medida que se aumentan los depósitos en las configuraciones de sedimentos, no solo en las proximidades del canal, sino también aguas arriba en distancias más prolongadas a la estructura de control los efectos y alteraciones se marcan cada vez mas de forma directa en los tirantes, en el comportamiento del flujo y de cierta forma en las líneas corrientes. En consecuencia, conforme el depósito de sedimentos aumenta, se necesita de más carga (H) para desalojar un mismo gasto que sin la presencia de estos.

Salmerón (2017), realizó la tesis de pregrado: *"Simulación física y numérica del depósito de sedimentos a la entrada de un embalse"*, en la Universidad Nacional Autónoma de México. Tuvo por objetivo general: simular el comportamiento del material sólido transportado y detectar las zonas de mayor depósito con el fin de regular el flujo de sedimentos que se presentará hacia aguas abajo de la presa, mediante un modelo físico a escala reducida de la entrada del embalse, como resultado de la investigación fueron los siguientes: la conclusión a la que se llegó es: en el modelo numérico no se representa de forma exacta el tamaño de las partículas sedimentadas; por ejemplo, si yo quisiera conocer la zona de depósito con diámetros iguales a 0.1 mm, el programa no puede precisarlo como se hace en el modelo físico, entonces lo que hace el programa es ubicar las zonas con rangos de diámetros, tanto en el modelo físico como en el modelo numérico, indica muy bien las zonas y la cantidad de mayor depósito en el modelo que va desde el cadenamiento 139+500 hasta 141+000 que representan entre el 60 y 70% del material colocado en los modelos.

Marco, Marín & Castillo (2015), realizaron un artículo científico *"Estimación numérica de la capacidad hidráulica de puentes como elementos de control en la Rambla del Albujón"*, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas de España. Tuvo por objetivo general: utilizar la estructura de un puente situado en Fuente Álamo para estimar el caudal en el tramo alto de la Rambla del Albujón cuando se producen los episodios de flujo torrencial. Las conclusiones a la que se llegaron son: Este trabajo forma parte de un estudio en detalle del sistema hidráulico de la cuenca de la Rambla del Albujón. Las estimaciones de los caudales en este trabajo sirven para analizar la bondad de los datos hidrológicos obtenidos por Marín (2011). Posteriormente, se realizará el estudio del transporte de sedimentos a lo largo de la rambla. Los datos obtenidos servirán para conocer las condiciones de entrada a los sistemas de captación de rejas de fondo existentes en las zonas semiáridas del sureste español.

Zambrano (2015), realizó la tesis doctoral: *"Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG"* en la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona. Tuvo por objetivo general: desarrollar un modelo conceptual y computacional que simule adecuadamente la producción, erosión, transporte y sedimentación, de manera distribuida espacial y temporalmente, para un evento de lluvia en pequeñas cuencas de cabecera de áreas urbanas (inferiores a 100 ha). La conclusión a la que se llegó es: 1) El modelo permite simular con un buen nivel de precisión la producción de sedimentos en la cuenca, y además permite visualizar las zonas de mayor o menor producción de estos, debido a que es un modelo distribuido con interfaz a un SIG. 2) El modelo permite la utilización de parámetros reales con poco o nada de calibración. Los resultados de la simulación de escorrentía superficial son más ajustados en la medida en que se cuenta con valores de conductividad hidráulica confiables ya que es el parámetro más influyente en la definición de la infiltración y por tanto en la escorrentía superficial. Sin embargo, el contenido de humedad inicial define considerablemente el inicio del hidrograma y la caudal punta, y aunque puede ser calibrado, es un parámetro que puede variar considerablemente entre eventos. 3) La estimación de la producción de sedimentos es bastante sensible a la granulometría del material en cada sección de la cuenca, lo que dificulta una correcta predicción en cada subcuenca. 4) Para realizar una correcta calibración de los sedigramas simulados, es importante tener en cuenta el coeficiente de erosionabilidad del suelo original, así como el esfuerzo cortante crítico. La producción de sedimentos es sensible a la selección de dichos parámetros, especialmente el primero, y por tanto se requiere determinarlos de la manera más ajustada posible. 5) Para los eventos con intensidades de precipitación más altas, se tiende a sobreestimar la producción de sedimentos, ya que el esfuerzo cortante es muy alto, y por tal razón el esfuerzo cortante crítico debe ser considerado variable según la variación de las características hidráulicas. Sin embargo, los análisis realizados en esta investigación no son concluyentes y por tanto se requiere más investigación sobre la utilización del esfuerzo cortante crítico.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Chavez & Cipiran (2019), realizó la tesis de pregrado: *"Influencia del puente Chuquillanqui y terraplén de acceso en la sedimentación del río Chuquillanqui, tramo puente Chuquillanqui"*, en la universidad privada Antenor Orrego, Perú. Tuvo por objetivo general: determinar la influencia del puente Chuquillanqui y terraplén de acceso en la sedimentación del río Chuquillanqui, tramo puente Chuquillanqui, como resultados de la investigación fueron los siguientes. La conclusión a la que se llegó es: Que el puente y terraplén de acceso si tienen una influencia significativa en la sedimentación del río Chuquillanqui, pues estos elementos han ido modificando la pendiente considerablemente aguas arriba como aguas abajo, con la propuesta se estima que el río recupere su pendiente de una manera natural con el transcurrir del tiempo.

Castillo & Chávez (2019), realizo la tesis de pregrado *"Estudio de la pérdida de capacidad hidráulica del río Chicama en el sector galaxia"*, en la universidad privada Antenor Orrego, Perú. Tuvo por objetivo general: Realizar un estudio de la pérdida de capacidad hidráulica del río Chicama en el sector Galaxia. La conclusión a la que se llegaron son: 1) De la exploración de campo realizada antes de iniciar los trabajos de topografía se puede indicar que el río en ese tramo genera 3 brazos haciendo un ancho total del río de 800 m. Durante las avenidas del 2017 el agua llego a invadir la carretera de penetración a la sierra erosionando un tramo de la carretera. Se atribuye esta causa al transporte de sedimentos lo cual ha generado una sedimentación en el tramo de estudio. 2) Los caudales analizados son desde el año 1971 hasta 2018, encontrándose los caudales altos bajos y extraordinarios. Durante el periodo de análisis existen caudales extraordinarios que van desde los 500 m3/s hasta los 1800 m3/. 3) Se propuso una sección estable de 100m en el tramo de la sección del Rio Chicama en el sector Galaxia, debido a que es el ancho promedio de Rio en esa zona del Rio Chicama.

2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación

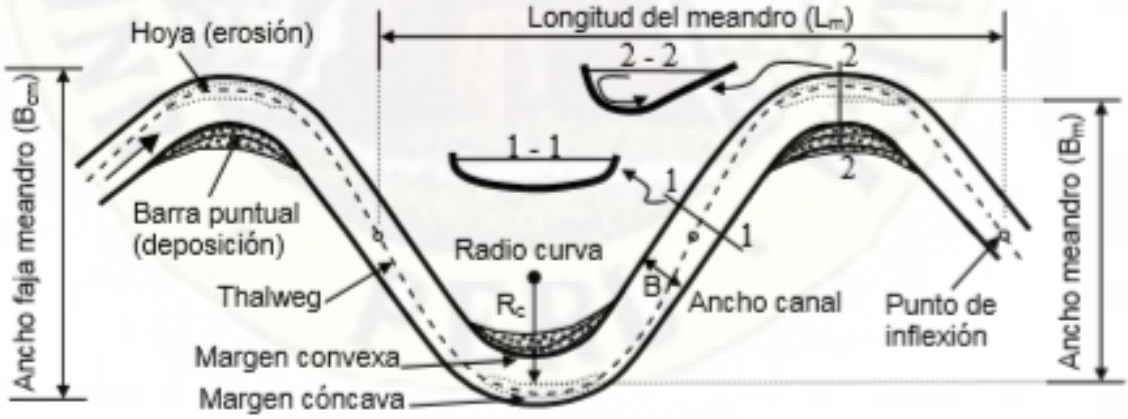
Según los diferentes autores tenemos las siguientes nociones básicas:

2.2.1. Cauces meándricos

Un cauce meándrico presenta una configuración planimétrica sinuosa, con Ps≥1.5, formada por una serie de tramos curvos unidos mediante tramos rectos relativamente cortos (Figura 5). En los tramos curvos la fuerza centrífuga origina una pendiente transversal de la superficie del agua y un flujo helicoidal. Este flujo helicoidal, cuya magnitud es aproximadamente 10-15 % de la velocidad media longitudinal, en la parte superior fluye hacia la margen cóncava (zona externa de la curva) y en la parte inferior (lecho) fluye hacia la margen convexa (zona interna de la curva)La velocidad media longitudinal es máxima en la zona externa de la curva, donde se verifica erosión de margen y se desarrollan hoyas profundas en el lecho, mientras en la zona interna se originan barras puntuales por deposición de sedimentos (Basile, 2018).

Figura 5

Cauce meándrico



Nota. Representación esquemática de un meandro. Fuente: (Basile, 2018)

2.2.2. Depósito de sedimentos en cauces meándricos

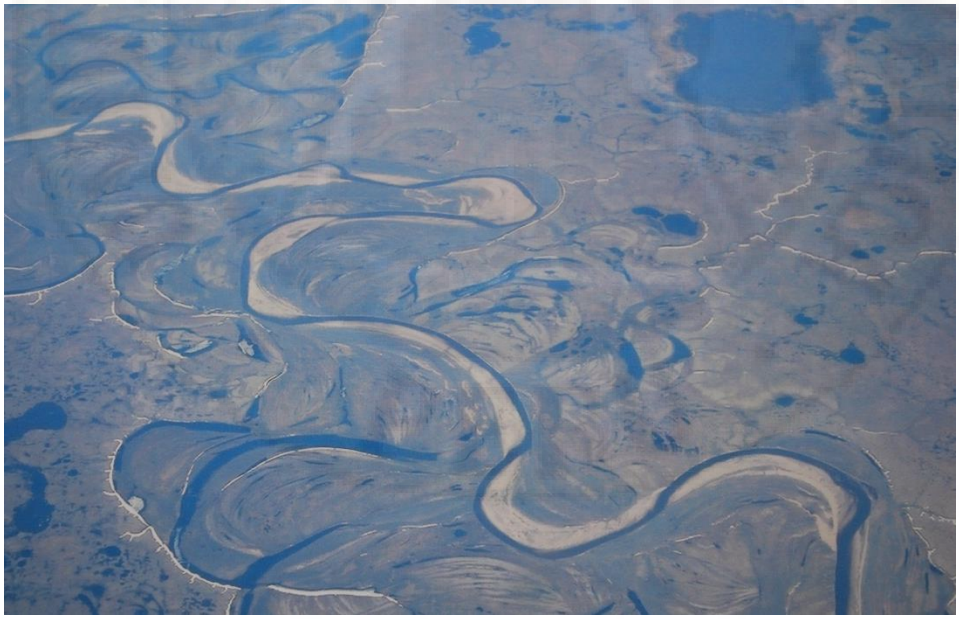
Los depósitos sedimentarios en sistemas de cauces meándricos pueden ser de: i) barras puntuales, ii) albardones, iii) llanura de inundación, iv) lóbulos de derrame y v) cauce abandonado. Muchos de estos depósitos también se encuentran en otras tipologías de cauces. Los depósitos de barras puntuales se generan en las zonas internas de las curvas del cauce, se caracterizan por una disminución gradual de la granulometría y por una sucesión ideal de facies debidas a migración de formas de fondo. Los depósitos de albardones se originan a partir de los sedimentos más gruesos del transporte en suspensión, los cuales se depositan en las adyacencias de la margen durante los desbordes del cauce. Se caracterizan por la alternancia de arenas, limos y arcillas, debido a variaciones del nivel del agua en el río y de los caudales líquidos y sólidos derivados a la planicie. Pueden estar cubiertos por vegetación. Los depósitos de llanuras de inundación se encuentran en las zonas más alejadas del cauce. Están formados por sedimentos de grano fino, los cuales han sido transportados en suspensión y depositados en la planicie por pérdida de competencia del flujo. Tienden a desarrollar poco espesor y pueden contener grandes cantidades de material vegetal. Los depósitos de lóbulos de derrame se producen por la rotura de los albardones durante las crecidas. El sedimento que conforma el albardón es transportado y se deposita en inmediaciones de las brechas. Generalmente presentan lentes de arena, intercalados con arcillas y limos de la llanura de inundación. Finalmente, los depósitos de cauce abandonado dependen del mecanismo mediante el cual se produjo la rectificación del meandro. Estos mecanismos son descriptos brevemente en el punto que sigue. Si el cauce es abandonado por el mecanismo de corte por incisión, el abandono es gradual, el relleno del cauce abandonado se produce gradualmente, primero mediante sedimentos gruesos (arenas) transportados por el fondo y luego, cuando se va alcanzando el cierre definitivo del cauce, con sedimentos finos (arcillas y limos)

transportados en suspensión. Si el cauce es abandonado debido al mecanismo de corte por estrangulamiento, el abandono es brusco y se crea un lago en forma de herradura de caballo, el cual es rellenado preponderantemente por sedimentos finos transportados en suspensión. (Basile, 2018, pp. 27- 28)

En la sección transversal las corrientes de fondo y las superficiales crean un movimiento circulatorio en donde las velocidades del flujo descendente en la orilla cóncava son mayores y en la margen convexa son considerablemente menores. Esta distribución de velocidades se produce porque en la orilla cóncava el flujo es más denso y su recorrido es más corto y en la margen convexa el recorrido es mayor. Así, las corrientes superficiales (libres de sedimentos) descienden en la margen cóncava y erosionan el talud el lecho, perdiendo velocidad. Los sedimentos desprendidos son arrastrados hacia la orilla convexa en donde se depositan debido a la baja velocidad en ese sitio, como se muestra en la siguiente figura (Ochoa, 2011).

Figura 6

Meandros activos y abandonados en un río.



Nota. Depósito de sedimentos en las partes convexas de los meandros de elevada sinuosidad de la península de Yamal (Rusia). Fuente: (Wikipedia, 2006)

2.2.3. Origen de los sedimentos

Según Paredes (2012): La precipitación y la escorrentía denudan y erosionan las cuencas hidrográficas. Una cantidad considerable del perfil superior del suelo es acarreado hacia los ríos y finalmente, transportado por el flujo. Cuando disminuye la velocidad del agua, el material acarreado se deposita gradualmente. Su acumulación eleva el lecho de los ríos e incrementa el riesgo de desborde hacia las planicies. El sedimento en un momento y lugar dado, está presente como sedimento suspendido (carga suspendida), sedimento de fondo (carga de fondo) o ambos. La carga de fondo se incorpora a la carga suspendida o viceversa según la magnitud que adquiera el esfuerzo de cizalladura en la cercanía del lecho. (p.1)

La palabra sedimento hace referencia a los materiales finos y gruesos que están presentes en el fondo de un cauce. En general, son producto de la erosión hídrica de los suelos con escasa cobertura vegetal, situados en las vertientes de las cuencas hidrográficas. Durante un evento de tormenta, la escorrentía arrastra el material erosionado hasta un dren, quebrada o río, donde se deposita temporalmente. Una creciente puede acarrear gran parte del sedimento hacia la zona baja del cauce principal. Esta zona se denomina planicie aluvial. La escasa pendiente del cauce en la planicie aluvial favorece la sedimentación progresiva del material acarreado; en principio, los gruesos y finalmente los finos. La cantidad de sedimento erosionado en la fuente (suelos susceptibles a la erosión hídrica) y la entregada en un punto aguas abajo no son iguales. En este sentido, se usan tres parámetros para caracterizar el fenómeno. (Paredes, 2012, p.1)

2.2.4. Transporte de sedimentos

Una vez el suelo es desprendido, el sedimento es transportado aguas abajo primordialmente por el flujo de agua, aunque también puede ser transportado por el impacto de las gotas de lluvia. El transporte por impacto suele ser muy poco representativo dentro de los procesos de transporte, de modo que normalmente es despreciado. La escorrentía del caudal sólido y su transporte aguas abajo ocurre desde que la intensidad de precipitación excede la tasa de infiltración. Por esta razón, la erosionabilidad del suelo decrece a medida que la tasa de infiltración se incrementa. Una vez empieza la escorrentía, la cantidad y el tamaño del material transportado se incrementa con la velocidad del flujo de agua (Zambrano, 2015).

Muchos algoritmos que describen los procesos del transporte de sedimentos han sido desarrollados e incorporados en los modelos de base física. La mayor parte de estos algoritmos están fundamentados en el concepto de Capacidad de Transporte. Como ya se indicó, la Capacidad de Transporte es la capacidad que tiene el flujo para transportar los sedimentos. A pesar de esta limitación también se debe limitar la cantidad de sedimento que se puede erosionar o si no el modelo continuaría erosionando ilimitadamente lo que puede resultar irreal (Zambrano, 2015).

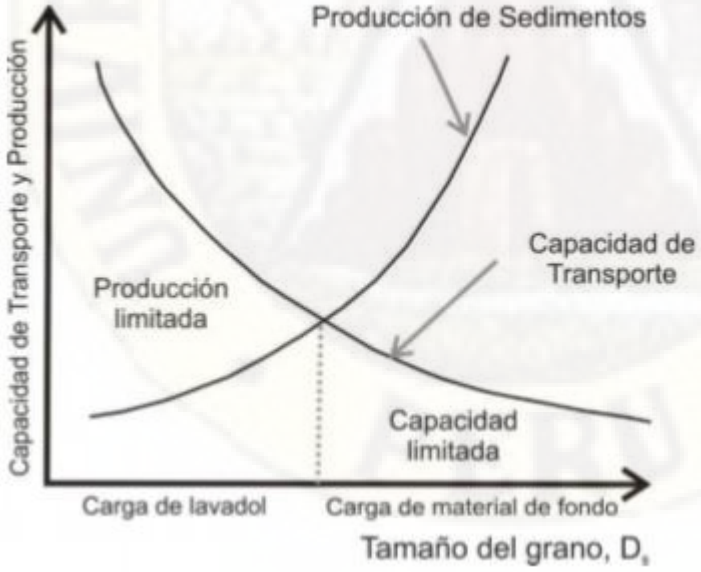
En la Figura 6, se muestra que la producción de sedimentos y la capacidad de transporte presentan un comportamiento inverso. Al principio la capacidad de transporte es alta pero la provisión de sedimentos es baja de modo que el proceso de erosión está limitado por la producción de sedimentos (Supply limited). Una vez superado el punto de equilibrio, el flujo sólido estará controlado por la Capacidad de transporte (Transport Limited) (Zambrano, 2015).

Para American Society of Civil Engineers que realizó el manual de Task Committee for the Preparation of the Manual on Sedimentation es (citado por Zambrano, 2015, p. 65), sostiene que:

> La mayor parte de los algoritmos de Capacidad de Transporte fueron desarrollados para drenajes aluviales y han sido adaptados para flujos superficiales poco profundos. Para flujos aluviales se reconocen dos tipos de movimiento: el flujo de fondo ("bed load") y el flujo suspendido ("suspended load") y dos tipos de flujo sólido según el tamaño de la partícula: flujo de lavado o "wash load" y carga de sedimentos de fondo o "bed Sediment load". La suma del flujo de lavado, el flujo de material suspendido y la carga de fondo suponen la totalidad del flujo de sedimentos.

Figura 7

Curva de capacidad de transporte



Nota. Curvas de capacidad de transporte versus producción de sedimentos. Fuente: Julien (citado por Zambrano, 2015, p.65)

Estas definiciones son muy importantes porque en flujos aluviales pueden ser diferenciados claramente, pero no así en flujos superficiales poco profundos, donde las partículas en general son muy homogéneas y además el flujo es muy superficial no distinguiéndose un flujo de fondo como tal. Por tanto, se utilizan las formulaciones para carga en suspensión o las formulaciones para carga total para estimar la producción de sedimentos en flujos urbanos (Zambrano, 2015).

Julien (1998) y American Society of Civil Engineers (2007) (citado por Zambrano, 2015, p. 65), sostienen que:

> Para carga en suspensión existen algunas formulaciones empíricas directas que están definidas a través de la capacidad de transporte como se indicó anteriormente. Dichos algoritmos se revisarán más adelante. Por otra parte, más recientemente se han planteado las ecuaciones de continuidad de masa (o ecuaciones de advección – difusión) para modelar el transporte de sedimentos en suspensión (que corresponde al material más fino).

Según Zambrano (2015), afirma que. Para plantear la ecuación de continuidad de masa se toma como referencia un volumen de control como el que se muestra en la Figura 8. En dicho volumen las entradas de sedimentos menos las pérdidas deben ser iguales a la variación de almacenamiento de sedimento en dicho volumen.

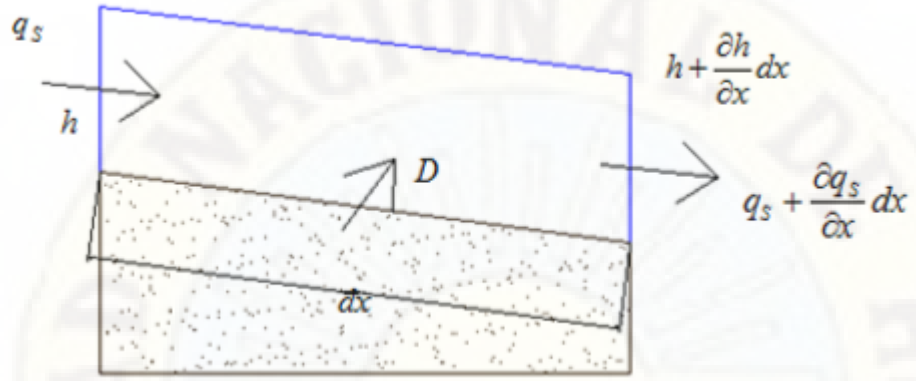
$$V = \left(h + \frac{\partial h}{\partial x} dx + h\right) * \frac{1}{2} * dx \approx h * dx$$

La cantidad de sedimento presente en el volumen de control se obtiene multiplicando el volumen de agua V por la concentración másica de sedimentos C. La variación en la masa de sedimento en un infinitesimal de tiempo se expresa como:

$$\frac{\partial (c * h * dx)}{\partial t} dt$$

Figura 8

Esquema de producción de sedimentos



Nota. Esquema de la producción de sedimentos en un volumen control. Fuente: Hernández (citado por Zambrano, 2015, p.66)

Según Zambrano (2015), afirma: Si se considera que no se produce sedimentación, las entradas menos las salidas de sedimento en el volumen de control en un diferencial de tiempo se describen con la siguiente expresión:

$$q_s dt + Ddxdt - \left(q_s \frac{\partial q_s}{\partial x} dx\right) dt = 0$$

Donde D es el desprendimiento producido en el terreno (Definido como cualquiera de los procesos que se consideren dominantes, desprendimiento por impacto o por flujo, y re-desprendimiento por impacto o por flujo). Operando los términos y aplicando el principio de continuidad en la masa de sedimento se obtiene la ecuación:

$$\frac{\partial q_s}{\partial x} dxdt + \frac{(\partial\, q_s/v)}{\partial t} dxdt = Ddxdt$$

La propuesta por Foster y Meyer (1972) y por Bennet (1974) (citado por Zambrano, 2015, p. 67), sostienen que:

> Considerando que el calado es el producto del caudal por el inverso de la velocidad y que la concentración es el producto del caudal sólido unitario por el inverso del caudal, se obtiene la ecuación de gobierno en el proceso erosivo.

Según la investigación “Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG” Zambrano (2015), afirma la ecuación:

$$\frac{\partial \mathrm{q_s}}{\partial \mathrm{x}} + \frac{\partial (\mathrm{q_s/v})}{\partial \mathrm{t}} = \mathrm{D_f} + \mathrm{D_i}$$

Donde q_s es la Carga de sedimentos (masa por unidad de ancho por unidad de tiempo) $(kg/m.s)$, h la profundidad del flujo (m), D_i el desprendimiento del suelo por impacto (kg/m^2), D_f el desprendimiento o sedimentación del suelo por acción de la escorrentía (kg/m^2) y x y t son las variables independientes de espacio y tiempo. En la ecuación, el término $\partial q_s/\partial x$ representa el cambio en la tasa de flujo de sedimentos a lo largo de la pendiente, y el término $\partial(q_s/v)/\partial t$ representa el cambio en el almacenamiento de sedimentos en el tiempo. Considerando que $q_s = Q * C$, donde C es la concentración de sedimentos (kg/m^3) la ecuación puede ser reescrita de la siguiente manera:

$$\frac{\partial (Q * C)}{\partial x} + \frac{\partial (C * A)}{\partial t} = D_f + D_i$$

Donde Q es el caudal (m^3/s), y A es el área mojada (m^2).

Haan, Barfield y Hayes (1994) (citado por Zambrano, 2015, p. 67), sostienen que: “Para flujos poco profundos y gradualmente variables, el segundo término puede ser despreciado, resultando así la ecuación de continuidad de la masa para flujo permanente que ha sido ampliamente utilizada”.

$$\frac{\partial q_s}{\partial x} = D_f + D_i$$

La ecuación de continuidad de masa es la más ampliamente utilizada para la simulación de flujos rápidos, tanto para flujos permanentes como para flujos no permanentes. Sin embargo, al igual que en la modelación de flujos líquidos, los flujos urbanos deben ser modelados con las ecuaciones del flujo no permanente, para capturar las rápidas variaciones que se producen en la producción de sedimentos debidos a las altas

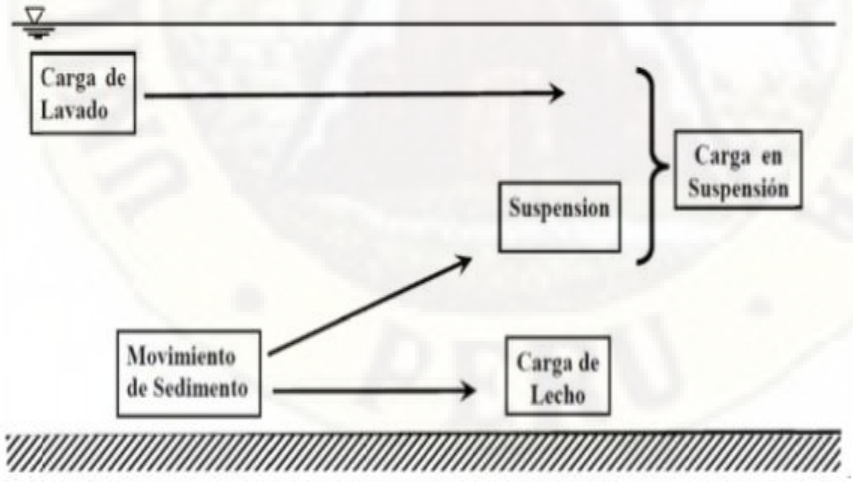
intensidades relevancia de estos en el área a analizar. Lo más común es incluir el desprendimiento por flujo, aunque también se puede representar el desprendimiento por impacto. Sin embargo, modelos como el de Hairsine y Rose, proponen incluir los cuatro procesos de desprendimiento (Zambrano, 2015).

2.2.5. Mecanismos de transporte de sedimentos en un cause

Según Paredes (2012), la carga de sedimentos es la cantidad total de materia transportado por un cauce en un punto dado. Esta se calcula sumando las cargas de fondo, suspendida y lavada. La carga de fondo se refiere al acarreado por el flujo y en contacto permanente con el lecho. Las cargas de lavado son los son las partículas finas transportadas en suspensión y que se han incorporado al flujo, aguas arriba. Finalmente, la carga de suspensión engloba las partículas que transporta la corriente y proviene de la carga fondo situada sobre el lecho como se muestra en la siguiente figura.

Figura 9

Representación esquemática de la carga total de sedimento



Nota. Esquema del Procedimiento de la carga de sedimentos es la cantidad total de materia transportado en un cauce aluvial. Fuente: (Paredes, 2012)

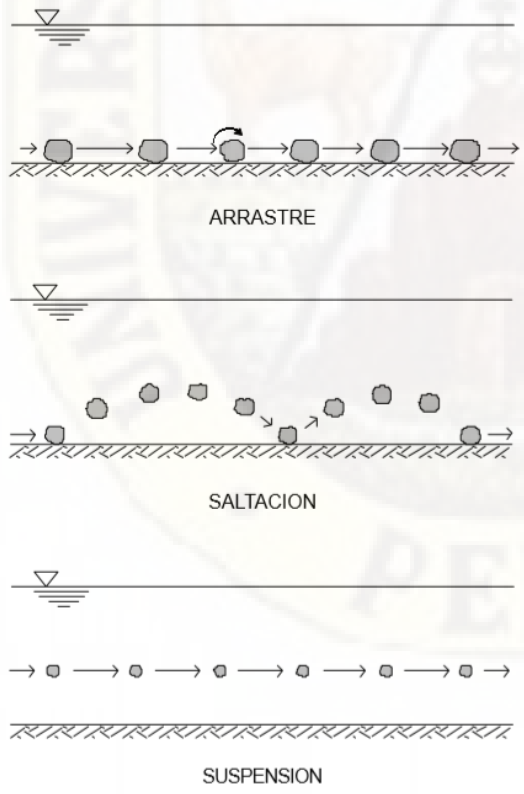
2.2.6. Modalidades del transporte de sedimentos

Examinemos ahora, muy brevemente, las características generales del transporte sólido de los ríos, teniendo en mente las estructuras hidráulicas que en ellos se construye. Cuando el fondo de un canal es rígido, de concreto, por ejemplo, la sección transversal está definida. La relación entre las diferentes variables se establece mediante una ecuación como la de MANNING o CHEZY. El gasto es función de la pendiente, rugosidad del contorno y tamaño de la sección transversal. En cambio, en un fondo móvil el lecho está sometido a procesos de erosión y sedimentación. Esto determina no solo una configuración variable del fondo, sino también un cambio en la resistencia al escurrimiento, expresada en términos de la rugosidad. A su vez, los cambios morfológicos de la sección transversal determinan variaciones en el transporte sólido, con lo que el problema se complica aún más. La descripción matemática del modo como se transportan las partículas sólidas en una corriente líquida es sumamente compleja. Cualquier modelo que pretenda describir el movimiento de las partículas, tiene que ser, necesariamente, el producto de una profunda esquematización, vale decir de una simplificación del modo como ocurren los fenómenos. El flujo real es tridimensional. El flujo ideal, que corresponde a las fórmulas, es bidimensional, tal como lo hemos visto en los diferentes libros de autores. Esta profunda diferencia, añadida a otros factores, hace que frecuentemente se presenten divergencias notables entre lo previsto "teóricamente" y lo observado posteriormente. Bajo el supuesto anterior podemos distinguir entre aquellas partículas que van permanentemente en contacto con el fondo y que ruedan o se deslizan constituyendo el arrastre o transporte sólido de fondo, y aquellas que van en suspensión. Algunas partículas se transportan de un modo peculiar: a saltos. A esta modalidad se le denomina transporte por "saltación". En (Figura 10) se aprecia los modos de transporte. El material de arrastre, que está constituido por las partículas de mayor tamaño, rueda o se desliza siempre en contacto con el fondo y avanza en forma de rizos, dunas y barras (siempre que la granulometría lo permita). La velocidad de una partícula sólida es en

general inferior a la de la corriente. El material en suspensión está constituido por las partículas más finas, y prácticamente se halla distribuido en toda la sección transversal. Teóricamente la concentración es mínima en la superficie y máxima cerca del fondo. En la práctica es usual que en los ríos de alta velocidad (en los que la turbulencia se encuentra plenamente desarrollada), la concentración sea prácticamente la misma en toda la sección transversal, siempre que las partículas sean muy pequeñas. La velocidad con la que avanza una partícula sólida en suspensión es prácticamente igual a la de la corriente en ese punto. No es fácil establecer y definir un límite claro y nítido entre las dos modalidades de transporte antes señaladas. Cualquier alteración que ocurra en la velocidad de la corriente puede determinar de inmediato un cambio en la modalidad de transporte (Rocha, 1998).

Figura 10

Modos de transporte de sólidos



Nota. Esquema de modos de transporte de sólidos de sedimentos. Fuente: (Rocha, 1998)

2.2.7. Medición del transporte de sedimentos

Las mediciones del transporte de sedimentos, la composición granulométrica del transporte y las propiedades del sedimento del lecho, constituyen un patrimonio de datos básicos en estudios y proyectos de obras fluviales. Tales datos se utilizan para caracterizar el proceso de transporte y el balance sólido en un tramo de río, para cuantificar procesos erosivos a escala de cuenca, para calibrar ecuaciones de transporte, para validar modelos morfodinámicos, para calibrar distintas metodologías de medición, etc. Los instrumentos y técnicas de medición difieren en función del tipo de transporte de sedimentos que se entiende medir, es decir, transporte de fondo o transporte en suspensión. (Basile, 2018, p.149)

Por otra parte, para la medición del transporte, en la elección del instrumental y de las técnicas de medición también influyen el tipo de río, su morfología, el régimen de caudales y las características del material del lecho, como, por ejemplo, ríos de régimen intermitente o ríos efímeros con lechos de sedimentos de granulometría extendida (arenas, gravas, cantos rodados, etc.) y ríos de llanura perennes con lechos preponderantemente arenosos. (Basile, 2018, p.149)

2.2.8. Transporte de sedimentos de fondo

El transporte de fondo está constituido por el sedimento que se mueve por arrastre, rodadura o saltación en un estrato cerca del lecho del río. Este tipo de transporte es difícil de medir por varias razones. Cualquier dispositivo que se coloca sobre o cerca del lecho puede perturbar el flujo y la velocidad de movimiento de la carga sólida. Más importante aún, el transporte de fondo y la velocidad del agua en proximidades del lecho varían considerablemente con respecto al espacio y al tiempo. (Basile, 2018, p.150)

Para Martín en el año 2003 en su libro de Ingenieria de ríos (citado por Ramirez, 2021, p.98), sostiene que:

> Las ecuaciones de transporte de fondo tratan de cuantificar el caudal sólido en función de sus características hidráulicas y de las características geométricas y granulométricas del cauce. La complejidad de la mecánica del transporte de sedimentos es tal que no ha podido proponerse una verdadera ecuación dinámica del transporte de la fase sólida de un flujo de agua y sólidos. En su lugar han florecido ecuaciones empíricas, semiempíricas o basadas en distintas teorías y que da dan razón de ciertas observaciones.

Ramirez (2021), explica, para el cálculo de transporte de sedimentos de fondo hay que hallar la naturaleza de la siguiente función:

$$t_F = A_1(\tau_O - \tau_C)^{B_1}$$

donde:

$t_F =$ transporte de sólido de fondo específico (por unidad de ancho),

$A_1\ y\ B_1 =$ dependen de la fórmula particular de que se trate,

$(\tau_O - \tau_C) =$ exceso de fuerza tractiva de la corriente.

Ramirez (2021), explica que las fórmulas para el transporte de sólido de fondo podrían también expresarse así:

$$t_F = A_2(Q - Q_O)^{B_2}$$

donde:

$t_F =$ transporte de sólido de fondo específico (por unidad de ancho),

$A_2\ y\ B_2 =$ dependen de la fórmula particular de que se trate,

$Q_o =$ caudal critico de iniciación de movimiento.

2.2.8.1. Ecuación de Meyer Peter y Muller (1948)

$$t_F" = 0.79(uT_O - T_C)^{3/2}$$

$t_F"$ = transporte sólido por unidad de ancho en kg/s/m (pesado bajo el agua).

$$t_F = \frac{\gamma_s}{(\gamma_s - \gamma)} t_F"$$

$t_F"$ = transporte sólido por unidad de ancho en kg/s/m (pesado fuera del agua). Coeficiente de rizos:

$$u = \left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{3/2}$$

Si no hay información:

$$\frac{k_s}{k_r} = 0.85$$

$k_s =$ coeficiente de rugosidad total del lecho (Strickler)=$1/n; n$ es el coeficiente de Manning total del lecho de arena considerado formas de fondo y granos, en lechos de grava solo rugosidad de ocasionada de granos.

$k_r =$ rugosidad originada por partículas del fondo,d_{90} en metros

$$k_r = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$$

$$T_C = 0.047\gamma_s^{"} d$$

$$\gamma_s^{"} = \gamma_s - \gamma$$

Para el esfuerzo cortante crítico T_C el valor $d \approx d_{50}; \gamma_s =$ Densidad de sólido $\frac{kg}{m^3}; \gamma =$ densidad del agua kg/m^3

2.2.8.2. Ecuación de Einstein – Brown (1950)

Plantea la relación entre los parámetros: intensidad de transporte Φ e intensidad de flujo $\Psi = 1/T_*$ es el Parámetro de Shields.

$$\Phi = 40\left(\frac{1}{\Psi}\right)^3; \quad \Psi <= 5.5$$

$$0.465\Phi = e^{-0.391\Psi}; \quad \Psi <= 5.5$$

donde:

$$\Phi = \frac{qb}{\gamma_s F[g(s-1)d^3]^{1/2}}$$

$$F = \left[\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{gd^{3(s-1)}}\right]^{1/2} - \left[\frac{36v^2}{gd^{3(s-1)}}\right]^{1/2}$$

$$\Psi = \frac{(\gamma_s - \gamma)d}{T_o}; \quad s = \frac{\gamma_s}{\gamma}$$

$qb =$ transporte de sedimentos de fondo pesado fuera del agua; (kg/s/m).

$v =$ viscosidad cinemática; (m^2/s).

$\gamma_s =$ peso específica de material sólido; (kg/m^2).

$T_o =$ esfuerzo cortante actuante: (kg/m^3).

$s =$ peso específico relativo.

El rango que trabajaron en laboratorio es:

$$1.25 < s < 4.25$$

$$0.315 < d_s < 28.6mm$$

donde d_s es el rango de diámetro de partículas. El valor d (diámetro representativo del lecho) varia aproximado en el rango $d_{35}\ a\ d_{45}$.

2.2.9. Transporte de sedimentos en suspensión

> El transporte en suspensión está conformado por el transporte en la columna de agua del material del lecho y de la carga de lavado. El transporte en suspensión de sedimentos del lecho, es decir, originado a partir del material presente en el lecho, depende de las condiciones hidrodinámicas y de la composición granulométrica del mismo. En este tipo de transporte, las partículas pierden contacto con el lecho y realizan trayectorias largas, comparables a la profundidad del flujo, sostenidas por las pulsaciones turbulentas de la corriente hídrica. La tendencia a la sedimentación de una partícula en suspensión es continuamente compensada por la acción difusiva del campo de flujo turbulento. El perfil de concentración de sedimentos en suspensión del material del lecho en la columna de agua no es uniforme. La concentración de sedimentos en suspensión disminuye a medida que uno se mueve desde el fondo a la superficie. La turbulencia produce la difusión de sedimento desde las zonas de alta concentración cerca del lecho hacia las zonas de baja concentración cerca de la superficie del agua. (Basile, 2018, p.167)

Para Rocha en el año 1998 en su libro de Introducción a la hidráulica fluvial (citado por Ramirez, 2021, p.109), sostiene que:

> El material sólido en suspensión transportado por un río, así como el de fondo, proviene de la erosión de la cuenca. La suspensión está constituida por las partículas finas, las que se distribuyen en toda la sección transversal del río y dan color al agua.

Ramirez (2021) afirma: “Para la determinación del gasto sólido en suspensión lo más conveniente es recurrir a mediciones in situ, y que, dada la gran variabilidad de los fenómenos y estas deben tener gran frecuencia en épocas de avenidas” (p.109).

Ramirez (2021), explica que el caudal sólido en suspensión puede ser relacionado con el caudal liquido mediante la expresión

$$Q_S = C Q_l$$

donde:

$Q_{S=}$ caudal sólido en suspensión; kg/s

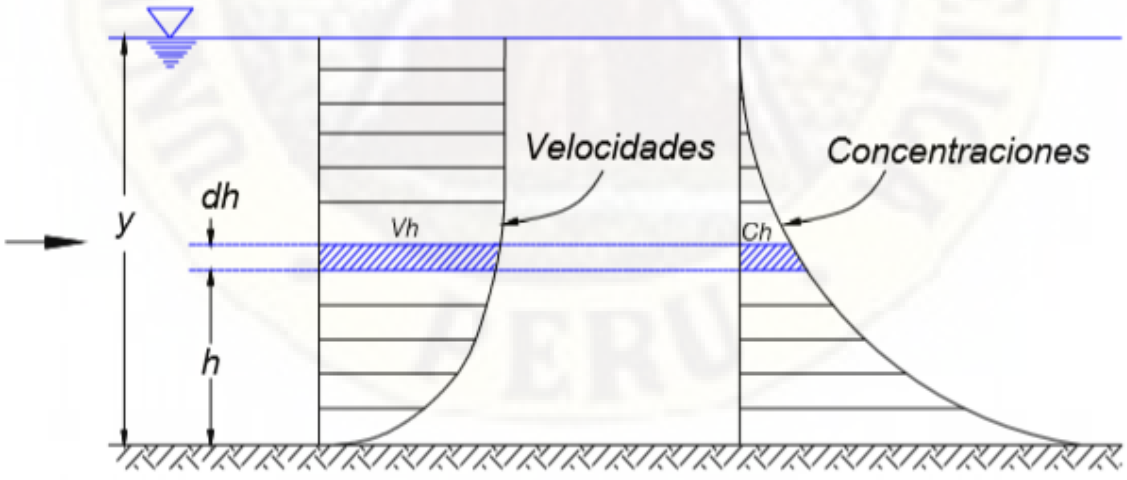
$Q_{l=}$ caudal líquido; m3/s

$C_=$ concentración media de sedimentos; kg/m3

Ramirez (2021), afirma que: Como consecuencia de los estudios teóricos y experimentales efectuados por varios investigadores se estableció una ecuación que permite calcular la distribución vertical de concentraciones en un canal. La suposición básica consiste en considerar un canal con movimiento permanente y uniforme en el que el flujo sea bidimensional como se muestra en la siguiente figura:

Figura 11

Distribución vertical de concentraciones



Nota: Distribución vertical de concentraciones y esquema de definición para el cálculo del gasto sólido en suspensión. Fuente: (Ramirez, 2021, p.110)

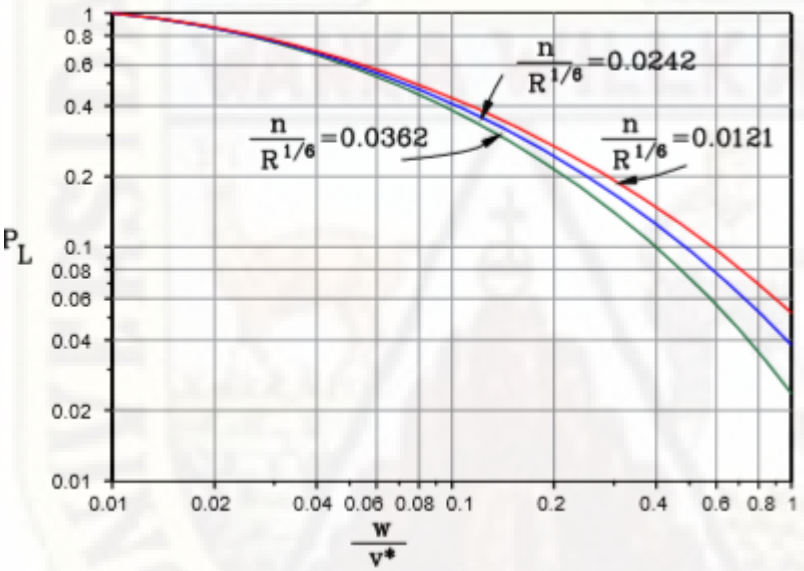
2.2.9.1. Ecuación de Lane y Kalinske (1941)

Es un método para estimar el transporte de sólido en suspensión viene dado por:

$$q_{sw} = qC_aP_Lexp\left(\frac{15wa}{v_*R}\right)$$

Figura 12

Método de Lane y Kalinske



Nota: Valores de coeficiente P_L. Fuente: (Ramirez, 2021, p.112)

donde:

q_{sw} = caudal sólido en suspensión especifico; kg/m/s,

q = caudal liquida especifico,$m^3/s/m$,

C_a = concentración de sedimentos a una distancia "a"; Kg.solido/Kg.agua,

w = velocidad de caída correspondiente a $d_{50;}m/s$,

R = radio hidráulico (canal ancho tirante); m,

v_*= velocidad de corte, m/s.

2.2.9.2. Ecuación de Einstein (1950)

$$q_{sw} = 11.6U'_* C_a a \left\{2.303\ log\left(\frac{30.2D}{\Delta}\right) I_1 + I_2\right\}$$

donde:

C_a= concentración de sedimentos a una distancia “a”; Kg.solido/Kg.agua,

D = tirante del agua; m,

U'_* = velocidad de corte; m/s,

q = caudal del líquido especifico; $m^3/s/m$,

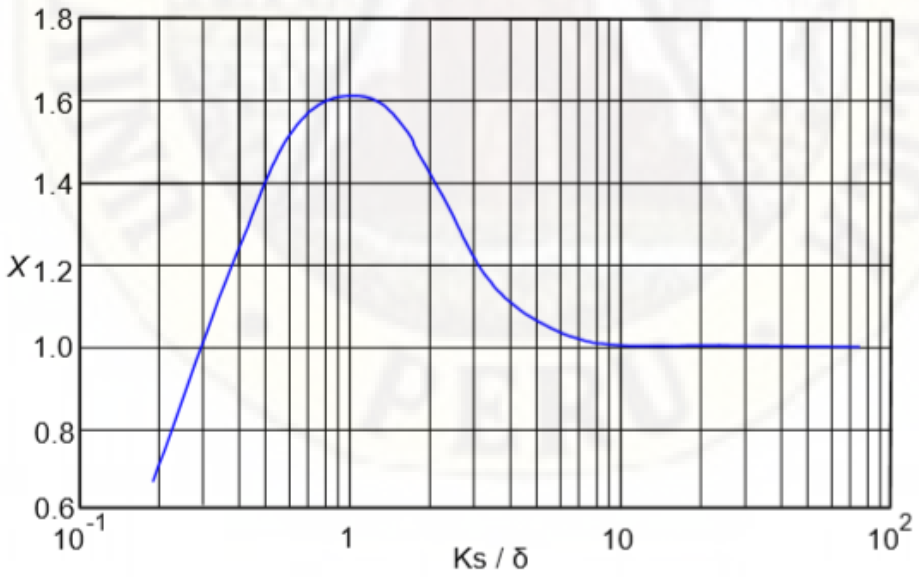
q_{sw} = caudal sólido en suspensión especifico $kg/s/m$,

$I_1\ y\ I_2$ = Valores de integrales.

$$a = 2d_{65} \qquad \Delta = k_s/x = d_{65}/X$$

Figura 13

Método de Einstein



Nota: Valores de X. Fuente: (Ramirez, 2021, p.113)

2.2.10. Sedimentación

Por último, el proceso de sedimentación ocurre cuando la Capacidad de Transporte del flujo (CT) es menor que la cantidad de suelo disponible para ser transportado (q_s) (Tabla 1), la Capacidad de Transporte, es función de la velocidad del flujo, de modo que cualquier cosa que reduce la velocidad del flujo aumenta la sedimentación. El sedimento es depositado comenzando con las partículas más grandes. Las partículas, las pequeñas y los finos seguirán hacia aguas abajo, enriqueciendo las zonas bajas con finos, de modo que las distribuciones de tamaños de las partículas erosionadas tienen un impacto considerable en los procesos de erosión- sedimentación (Zambrano, 2015).

Tabla 1

Modos de movimiento del sedimento

	Caso	Sedimentación	Transporte	Erosión
I	$\mathrm{CT} < q_s$	X	X	
II	$\mathrm{CT} = q_s$		X	
III	$\mathrm{CT} > q_s$		X	X

Nota: Modos de movimiento del sedimento para diferentes casos de la capacidad de transporte flujo (Tc) y de la carga de sedimentos del flujo (Qs). Fuente: Aksoy y Kavvas (citado por Zambrano, 2015, p.68)

> Según Zambrano (2015): La Capacidad de Transporte (CT) es definitiva para la definición de la cantidad de sedimentos que puede ser transportada y por tanto la cantidad que puede ser sedimentada. La modelación del transporte y sedimentación de las partículas se puede abordar de dos maneras. En el primer caso, la sedimentación se presenta una vez que el caudal sólido q_s ,supera la Capacidad de Transporte CT, es decir que se presenta o sedimentación o desprendimiento. En este tipo de modelación la sedimentación se presentará en las partes bajas de la corriente. (p.68)

Para Foster, Flanagan, Nearing, Lane, Risse y Finkner (citado por Zambrano, 2015, pp.68- 69), sostiene que:

> De otra parte, otros modelos simulan la ocurrencia de ambos fenómenos de manera paralela. Esto se presenta de esta manera: ya que se modelan diferentes tamaños de partículas, por lo que la sedimentación del material grueso puede ocurrir de manera independiente del material fino. Muchos de estos modelos suponen una ecuación diferente para estimar la sedimentación a partir de cuándo la capacidad de transporte es superada, por ejemplo, la ecuación propuesta por Foster et al., (1995) que se muestra en la ecuación:

$$d = \frac{\beta * v_s}{q} * (CT - q_s)$$

donde d es la tasa de sedimentación $(kg/m^2.s)$, β es un coeficiente de turbulencia inducido por el impacto de la lluvia (en WEPP toma el valor de 0.5), V_s es la velocidad de asentamiento del sedimento (m/s), q es el caudal unitario (m^2/s), CT la Capacidad de Transporte $(kg/m{\cdot}s)$ y q_s la carga de sedimentos $(kg/m{\cdot}s)$.

Para School of Civil Engineering and Geosciences. Newcastle University (citado por Zambrano, 2015, p.69), sostiene que:

> Otros modelos que realizan el transporte del sedimento diferenciando tamaños de partículas determinan la sedimentación del material que se encuentra en suspensión de manera independiente del resto de material. Tal es el caso de SHETRAN, donde se modela la sedimentación de las partículas finas utilizando la siguiente expresión:

$$d = w * v_s * C_f * \rho_s * \left(1 - \frac{\tau}{\tau_{dcf}}\right) si\ \tau < \tau_{dcf}$$

donde w es el ancho efectivo del canal (m), V_s la velocidad de asentamiento de las partículas m/s, c_f la concentración de los finos en suspensión m^3/m^3, ρ_s la

densidad de las partículas de sedimentos (kg/m^3), τ el esfuerzo corte y τ_{dcf} un valor crítico para la ocurrencia de la sedimentación.

Por otra parte, el modelo de Hairsine y Rose (citado por Zambrano, 2015, p.69), considera que:

> El proceso de sedimentación de forma paralela a la ocurrencia de los procesos de sedimentación de forma paralela a la ocurrencia de los procesos de desprendimiento. Las ecuaciones utilizadas para modelar el proceso de sedimentación son las siguientes:

$$\frac{\partial(hc_i)}{\partial t} + \frac{\partial(qC_i)}{\partial x} = D_i + D_{ri} + D_f + D_{rf} - d_i$$

$$\frac{\partial m_i}{\partial t} = d_i - D_i - D_{ri}$$

> donde d_i es la tasa de sedimentación para la partícula $i(kg/m^2.s)$, V_{si} es la velocidad de asentamiento de la partícula $i(m/s)$, C_{si} es la concentración de sedimentos para la partícula i(m/s), C_{si} es la concentración de sedimentos para la partículas i(kg/m^3).

> Zambrano (2015), en su tesis doctoral afirma que: Existe mucha controversia sobre la modelación de los procesos de sedimentación y desprendimiento de manera simultánea. Aun no existen estudios concluyentes que indique un mejor ajuste utilizando del modelo de Hairsine y Rose, que los resultados obtenidos con el modelo de Foster y Meyer. (p.69)

Aunque para Govers, Giménez, y Van Oost (citado por citado por Zambrano, 2015), indican que: El modelo de Hairsine y Rose arrojo resultados similares a los obtenidos con el modelo de Foster y Meyer, lo que anotan como un ejemplo de que se puede obtener resultados similares de producción de sedimentos con diferentes variables

y parámetros de entrada, basados en los estudios de Merten, Nearing, Borges, Beuselinck, Hairsine, Sander y Govers que realizaron entre los años 2001 y 2002. En el mismo estudio, los autores indican que para utilizar el modelo sedimentológico propuesto por Hairsine y Rose es conveniente realizar ajustes utilizando el esfuerzo cortante o la fuerza de corte por unidad de longitud en vez de la potencia de flujo.

2.2.11. Propiedas fisícas del sedimento

"Existen dos tipos de sedimentos, los de material cohesivo que engloba las arcillas y limos, y los de material no cohesivo asociado a las arenas y gravas. Solo se tratará los sedimentos no cohesivos" (Paredes, 2012, p.3).

2.2.12. Tamaño y forma del sedimento

> Según Rocha (1998), existen diferentes clasificaciones para identificar a una partícula de tamaño determinado. En la Tabla X se presenta la perteneciente a la American Geophysical Union (A.G.U.), confeccionada en base al diámetro. El tamaño de los cantos rodados y guijarros se puede medir directamente. El de las gravas y arenas se mide mediante mallas, y el de limos y arcillas se determina por medio de sedimentación o con microscopio. (p.90)

> Según Paredes (2012), las partículas naturales de sedimento tienen formas irregulares, sin embargo, en la práctica se asume que son esféricas. El diámetro del sedimento es un término de uso común en hidráulica fluvial. Se refiere al diámetro de las partículas que forman parte de una muestra y asociadas a un porcentaje de pasante determinado. (p.3)

> Basile (2018), la forma descrita la geometría de la partícula independientemente de su tamaño, densidad o composición mineralógica. La forma es importante debido a su influencia en el movimiento de la partícula en el seno de la corriente

hídrica. Por ejemplo, a igualdad de volumen y densidad de sedimento, una partícula esférica tendrá una velocidad y densidad de sedimento, una partícula esférica tendrá velocidad de sedimentación mayor que la correspondiente a una partícula chata. En efecto, la partícula esférica tiene una superficie menor y consecuentemente una menor resistencia hidrodinámica. (p.131)

Tabla 2

Clasificación de partículas

1) Canto rodados (250-4000mm)	muy grandes	4000-2000 mm
	grandes	2000-1000mm
	medianos	1000-500mm
	pequeños	500-250mm
2) Guijarros (64-250mm)	grandes	250-125mm
	pequeños	125-64mm
3) Gravas (2-64mm)	muy gruesa	64-32mm
	gruesa	32-16mm
	media	16-8mm
	fina	8-4mm
	muy fina	4-2mm
4) Arenas (0,062-2mm)	muy gruesa	2-1mm
	gruesa	1-0,5mm
	media	0,5-0,25mm
	fina	0,25-0,125mm
	muy fina	0,125-0,062mm
5) Limos (4a62µ)=(0,004 a 0,062mm)		
6) Arcilla (0,24 a 4µ)=(0,00024 a 0,004mm)		

Nota: Clasificación de partículas de acuerdo a la American Geophysical Union (A.G.U.)
Fuente: (Rocha, 1998)

2.2.13. Capacidad hidráulica

Martín (2003), explica : se entiende por la capacidad hidráulica el caudal máximo que puede ser transportado en una sección de una obra hidráulica, la capacidad es otra forma de referirse a la resistencia al flujo (fricción o rugosidad).

2.2.14. Cálculo hidráulico

EL cálculo hidráulico de un puente significa en primer lugar determinar su capacidad de desagüe (o bien, como comprobación, si el caudal de proyecto pasa bajo él) y en segundo lugar determinar la sobreelevación de nivel provocado por el puente. Para el estudio de la capacidad se realiza un cálculo en régimen permanente gradualmente variado. Suponiendo que el régimen es lento, hay que conocer las secciones del río agua abajo del puente. Cuanto más lejos se llegue con el levantamiento topográfico y batimétrico, más caro será el estudio, pero mayor será la independencia del resultado con respecto a la condición de contorno en la sección extremo de agua abajo. Las secciones del control (por ejemplo, un azud) hacen el cálculo más fácil y más preciso porque puede establecerse con más seguridad el valor del nivel H en el contorno (Martín, 2003).

Martín (2003), explica que: el cálculo de la sobreelevación podría realizarse por el mismo método, pero teniendo en cuenta los fenómenos locales agudos que se producen. Siguiendo el esquema de la (Figura 14), tal cálculo en movimiento variado ha de hacerse entre una sección a distancia 1L agua arriba del puente, el puente mismo y una sección a distancia 4L aguas abajo aproximadamente. El puente se representa por las secciones de su cara anterior y posterior. Los coeficientes de pérdida de carga localizada λ, en la contracción y expansión que causa el puente, suelen ser mayores que los de estrechamiento y ensanchamiento de un cauce (0.1 y 0.3 respectivamente), pues pueden valer 0.3 y 0.5 en términos medios. Definiendo el grado de obstrucción del puente como $m = Q' / Q$ siendo Q el caudal total y Q' el caudal que pasaría por el área perdida al

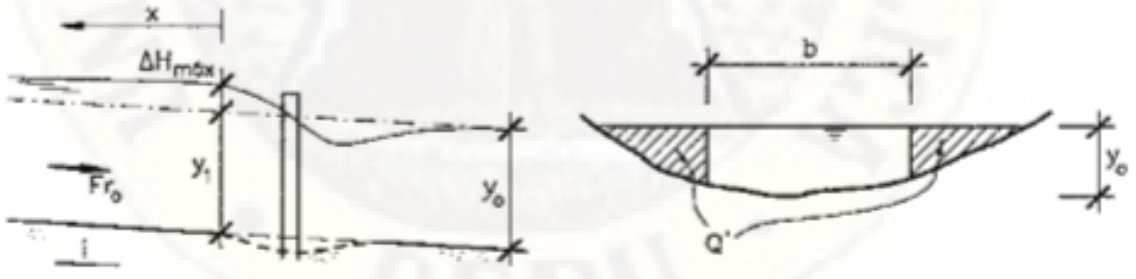
construir el puente (área raya en la figura 5), una bueno aproximación para $\sum \lambda$ (suma de contracción y expansión) es $\sum \lambda = mC$, donde C es el coeficiente de arrastre conocido en mecánica de fluidos, que depende de la forma del obstáculo y el número de Reynolds ($C \approx 2$ para un rectángulo en movimiento turbulento desarrollado). Hay también numerosas formulas empíricas para calcular la sobreelevación ΔH mediante:

$$\Delta H = \lambda(V^2/2g) \; donde \; V = Q/A, \lambda = 6\, m^2, m = Q'/Q$$

donde Q es el caudal de proyecto (caudal total) y A es el área del vano libre (es decir, el vano de anchura b en donde se pone el nivel de agua dado por el calado y_0, trasladado desde aguas abajo). En la sobreelevación también influyen la forma y alineación de pilas es estribos situados en el vano y la alineación del puente. La mayoría sobreelevación ocurre en los rincones "muertos" de puentes oblicuos (como se muestra en la siguiente figura), razón por la que se pueden proyectar pequeños vanos de alivio en los rincones. La fórmula permite representar la reducción de la sobreelevación a medida que se va erosionando la sección del puente (aumento de área A).

Figura 14

Elemento de cálculo de la sobreelevación



Nota. Elemento de cálculo de la sobreelevación. Fuente: (Martín, 2003)

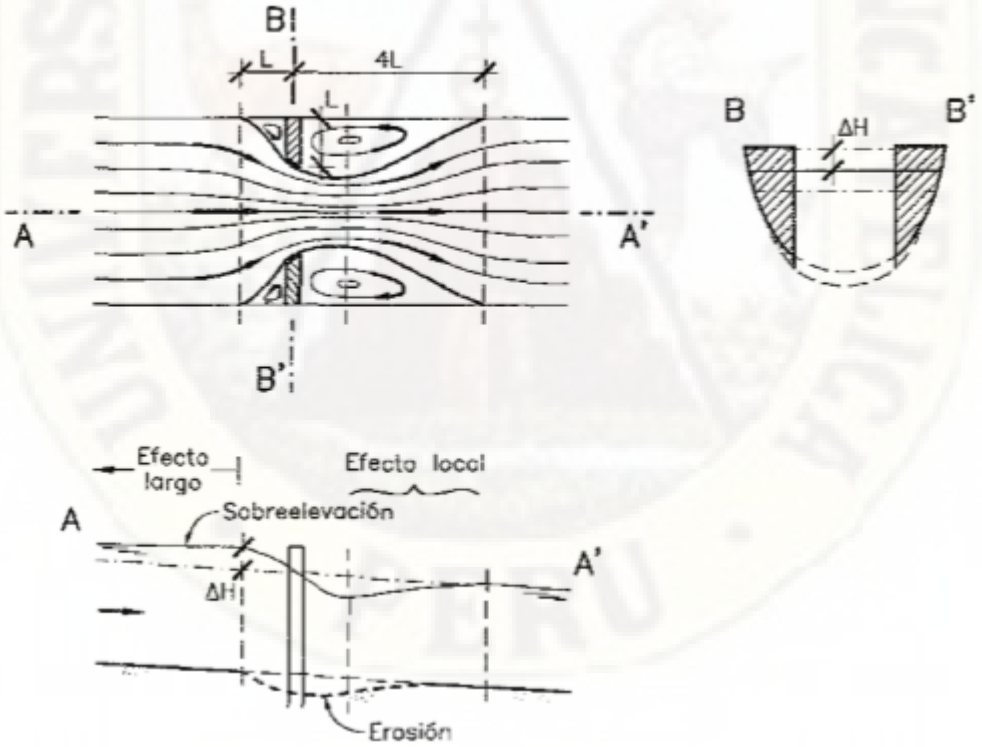
Figura 15

Zona de mayor sobreelevación en un puente oblicuo

Nota. Zona de mayor sobreelevación en un puente oblicuo. Fuente: (Martín, 2003)

Figura 16

Características hidráulicas



Nota. Características hidráulicas del paso de agua bajo un puente (perfil, sección transversal y planta) (régimen lento). Fuente: (Martín, 2003)

Martín (2003), afirma: cuando un puente entra en carga se pueden seguir usando los métodos anteriores, pero también puede considerarse como un desagüe en presión entre los niveles (y energías) de agua arriba y aguas abajo. Considerado así, el coeficiente de desagüe se puede aproximar por $C_d = 1/\sqrt{(1+mC)}$. Se recuerda que $Q = C_d A\sqrt{(2g\Delta H)}$. El efecto de la sobreelevación hacia agua arriba (el remanso propiamente dicho) se calcula nuevamente en régimen permanente gradualmente variado. Una aproximación de este cálculo es la expresión $\Delta H(x) = \Delta H max e^{-x/x0}$ con $Xo = 0.3(y1/i)(1 - Fr^2o)$ donde x es la distancia desde el puente y Fr_0 el número de Froude agua arriba (Figura 14).

2.2.14.1. Caudal o gasto

Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2015) define como: "Es el volumen de agua por unidad de tiempo, que pasa por una sección de cauce. Las unidades normales son; metros cúbicos por segundo (m3/s) o litros por segundo (l/s)" (p.8).

ANA (2015), explica que, el caudal depende directamente del área de la sección transversal a la corriente y de la velocidad media del agua, este concepto se representará por la siguiente fórmula.

$$Q = \mathrm{A} \times \mathrm{V}$$

dónde:

Q: caudal o gasto (m3/seg),

A: área de la sección transversal (m2),

V: velocidad media del agua en la sección Hidráulica (m/seg).

2.2.14.2. Sección transversal

Según Guevara, (2016): Los cauces aluviales están en un continuo estado de ajuste de la forma de su sección transversal, la que depende de la interrelación de ocho variables: (Caudal, ancho, profundidad, Velocidad, pendiente o gradiente, rugosidad del material del lecho, tamaño de la carga de sedimentos y Volumen de sedimento transportado).

2.2.14.3. Tirante hidráulico

El tirante hidráulico es la altura de la profundidad del flujo, distancia vertical entre el fondo y la superficie libre agua, en una sección transversal de un canal abierto.

2.2.14.4. Velocidad hidráulica

La velocidad hidráulica es la rapidez del fluido, en un canal abierto que es directamente proporcional a la pendiente del cauce.

2.2.14.5. Pendiente hidráulica

> Ochoa (2011), sustenta: La pendiente de la superficie del agua se asume igual a la pendiente promediada del fondo e idénticamente igual a la pendiente hidráulica. De cualquier manera, la pendiente que define el comportamiento del flujo es la pendiente hidráulica, que también se denomina pendiente de fricción, pendiente de la línea de energía pendiente motriz o gradiente hidráulico. (pp. 30, 31)

2.2.15. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos

> Según (Bladé, Cea, Corestein, Escolano, Puetas, Vázquez, Dolz y Coll, 2012), afirma que Iber es: una herramienta de modelización numérica del flujo de agua en lámina libre en 2 dimensiones. La herramienta, llamada Iber, combina un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos, y utiliza el método de volúmenes finitos para resolver las ecuaciones correspondientes. Al módulo de cálculo se le ha adaptado una interfaz que se basa en el software de preproceso y posproceso GiD, desarrollado por CIMNE. El resultado es una herramienta de modelización numérica del flujo de agua y sedimentos en ríos y estuarios, que utiliza esquemas numéricos avanzados especialmente estables y robustos en cualquier situación, pero especialmente adecuados para flujos discontinuos y, en concreto, para cauces torrenciales y regímenes irregulares. (p.3)

La modelación matemática del flujo de agua en un río con Iber consiste en predecir los valores que toman las variables hidráulicas (calado, velocidades, caudal, etc.) a partir de la resolución mediante métodos numéricos de unas ecuaciones obtenidas con una serie de hipótesis. Para el estudio de los efectos de la propagación de avenidas en ríos se pueden utilizar modelos unidimensionales o bidimensionales. La necesidad de estudiar cada vez fenómenos más complejos, y la observación que en la naturaleza se encuentran muchas situaciones, donde el flujo parece ser efectivamente bidimensional —es decir, predominan las dimensiones horizontales sobre la vertical—, junto con la creciente capacidad y velocidad de los ordenadores, ha llevado al uso de ecuaciones y esquemas bidimensionales (ecuaciones de aguas someras). Actualmente existe una variedad de herramientas para la resolución del flujo de agua en lámina libre en 2 dimensiones. Algunas de las más consolidadas, como Mike-21, Sobek o Tuflow2D, utilizan esquemas en diferencias finitas, lo que conlleva limitaciones en la flexibilidad de la malla y en el cálculo de soluciones con discontinuidades. Otras, como Telemac2D, los distintos módulos de cálculo de SMS

y FLO-2D, utilizan elementos finitos, lo que permite más flexibilidad en la malla de cálculo al trabajar con mallas no estructuradas. La tendencia actual se decanta claramente hacia la metodología de volúmenes finitos, aprovechando los importantes desarrollos habidos en las últimas décadas con este tipo de esquemas para las ecuaciones de las aguas someras. Algunas de las herramientas disponibles y que utilizan volúmenes finitos son Infoworks, Guad2D, las últimas versiones de Mike-21 e Iber. Iber es un modelo matemático bidimensional para la simulación del flujo en ríos y estuarios desarrollado a partir de la colaboración del Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de la Coruña), del Grupo de Ingeniería Matemática (Universidad de Santiago de Compostela), del Instituto Flumen (Universidad Politécnica de Catalunya y Centre Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería) y promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Iber es un modelo numérico desarrollado directamente desde la administración pública española en colaboración con las universidades mencionadas y diseñado para ser especialmente útil a las necesidades técnicas específicas de las confederaciones hidrográficas en la aplicación de la legislación sectorial vigente en materia de aguas. Algunos de los campos de aplicación de la versión actual de Iber son: 1) Simulación del flujo en lámina libre en cauces naturales. 2) Evaluación de zonas inundables. Cálculo de las zonas de flujo preferente. 3) Cálculo hidráulico de encauzamientos. 4) Cálculo hidráulico de redes de canales en lámina libre.5) Cálculo de corrientes de marea en estuarios. 6) Estabilidad de los sedimentos del lecho. 7) Procesos de erosión y sedimentación por transporte de material granular (Bladé et al., 2012).

2.2.16. Modelo numérico y ecuaciones del Iber

Bladé et al. (2012) afirma que: El módulo hidrodinámico de Iber resuelve las ecuaciones de St. Venant bidimensionales, incorporando los efectos de la turbulencia y rozamiento superficial por viento:

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial hU_x}{\partial x}+\frac{\partial hU_y}{\partial y}=0$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hU_x)+\frac{\partial}{\partial x}\left(hU_x^2+g\frac{h^2}{2}\right)+\frac{\partial}{\partial y}(hU_xU_y)$$

$$=-gh\frac{\partial Z_b}{\partial x}+\frac{\tau_{s,x}}{\rho}-\frac{\tau_{b,x}}{\rho}+\frac{\partial}{\partial x}\left(v_t h\frac{\partial U_x}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(v_t h\frac{\partial U_x}{\partial y}\right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hU_y)+\frac{\partial}{\partial x}(hU_xU_y)+\frac{\partial}{\partial y}\left(hU_y^2+g\frac{h^2}{2}\right)$$

$$=-gh\frac{\partial Z_b}{\partial y}+\frac{\tau_{s,y}}{\rho}-\frac{\tau_{b,y}}{\rho}+\frac{\partial}{\partial x}\left(v_t h\frac{\partial U_y}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(v_t h\frac{\partial U_y}{\partial y}\right)$$

en donde h es calado, $U_x.U_y$ son las velocidades horizontales promediadas en profundidad, g es la aceleración de la gravedad, ρ es la densidad del agua, Z_b es la cota del fondo,τ_s es la fricción en la superficie libre debida al rozamiento del fondo y v_t es la viscosidad turbulencia. La fricción de fondo se evalúa mediante la forma de Manning como:

$$\tau_{b,x}=\rho gh\frac{n^2U_x|U|^2}{h^{4/3}} \qquad \tau_{b,y}=\rho gh\frac{n^2U_y|U|^2}{h^{4/3}}$$

la fuerza de rozamiento realizada por el viento sobre la superficie libre se calcula a partir de la velocidad del viento a 10m de altura, utilizando para ello la ecuación de Van Dorn:

$$\tau_{s,x}=\rho C_{VD}|V_{10}|V_{x,10}\quad \tau_{s,y}=\rho C_{VD}|V_{10}|V_{y,10}$$

donde $V_{x,10}, V_{y,10}$ son las 2 componentes de la velocidad del viento a 10m de altura, $|V_{10}|$es el módulo de la velocidad del viento a 10m de altura C_{VD} es un coeficiente de arrastre superficial que se calcula en función de la velocidad del viento a partir de la siguiente expresión:

$|V_{10}| < 5{,}6\ m/s \rightarrow C_{VD} = 1{,}2.10^{-6}$

$|V_{10}| \geq 5{,}6\ m/s \rightarrow C_{VD} = 1{,}2.10^{-6} + 2{,}25.10^{-6}\left(1 - \frac{5{,}6}{|V_{10}|}\right)^2$

Todas las funciones y parámetros que aparecen en las ecuaciones hidrodinámicas (incluyendo el coeficiente de Manning y la velocidad del viento) pueden imponerse de forma variable tanto espacial como temporalmente (Bladé et al., 2012).

Bladé et al. (2012) afirma que: La viscosidad turbulenta se calcula mediante modelos de turbulencia específicos para las ecuaciones de agua someras promediados en profundidad. Iber incluye 3 modelos de turbulencia promediados en profundidad: el modelo parabólico, un modelo de longitud de mezcla y el modelo $k - \varepsilon$ de Rastogi y Rodi. En el modelo parabólico se calcula la viscosidad turbulenta como:

$v_t = 0{,}068ufh \qquad u_f = \sqrt{\tau_b/\rho}$

siendo u_f la velocidad de fricción de fondo. Utilizando la fórmula de Manning para calcular la fricción de fondo, se obtiene la siguiente expresión para la viscosidad turbulenta:

$v_t = 0{,}068\sqrt{gm}\,|U|h^{5/6}$

en el modelo de longitud de mezcla para agua someras, la viscosidad turbulenta se calcula mediante la siguiente expresión:

$v_t = [min(0{,}267kh, kd_{wall})]^2\sqrt{2S_{ij} + \left(2{,}34\frac{uf}{kh}\right)^2} \quad S_{ij}\frac{1}{2}\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right).$

Tabla 3

Fricción de pared. ks es la altura de rugosidad de la pared

Tipo de régimen	$\boldsymbol{k_s^+ = k_s u * / v}$	$\boldsymbol{\lvert u \rvert = \frac{u_*}{k} Ln(E.d^+)}$
Turbulento liso	$k_s^+ < 5$	$E = 9{,}0$
Transición liso-rugoso	$5 < k_s^+ < 70$	$E = (0{,}11 + 0{,}033.k_s^+)^{-1}$
Turbulento rugoso	$k_s^+ > 70$	$E = 30/k_s^+$

Nota: Tabla de Fricción de pared k_s es la altura de rugosidad de la pared. Fuente: (Bladé, Cea, Corestein, Escolano, Puetas, Vázquez, Dolz y Coll, 2012)

en donde k=0,41 es la constante de von Karman y d_{wall} es la distancia desde el punto considerado a la pared más cercana. El modelo $k-\varepsilon$ de Rastogi y Rodi [6] resuelve una ecuación de transporte para la energía cinética turbulenta k y para la tasa de disipación de energía turbulenta ε:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial U_x K}{\partial x} + \frac{\partial U_y k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial_{xj}}\left(\left(v + \frac{vt}{\sigma k}\right)\frac{\partial k}{\partial xj}\right) + 2vt\, S_{ij}S_{ij} + ck\frac{u_f^3}{h} - \varepsilon$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial U_x \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial U_y \varepsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial_{xj}}\left(\left(v + \frac{vt}{\sigma \varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial_{xj}}\right)$$

$$+c_\varepsilon \frac{\varepsilon}{K} 2v_t S_{ij}S_{ij} + c_3 \frac{u_f^4}{h^2} - c_{\varepsilon 2}\frac{\varepsilon^2}{k}$$

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \qquad c_k = {c_f}^{-1/2} \qquad c_\varepsilon = 3{,}6 c_k^{3/2} c_{\varepsilon 2} c_\mu^{1/2} \qquad c_f = \frac{\tau_b}{\rho}\frac{1}{|U|^2}$$

$$c_\mu = 0{,}09 \quad c_{\varepsilon 1} = 1{,}44 \quad c_{\varepsilon 2} = 1{,}92 \qquad \sigma_k = 1{,}0 \qquad \sigma_\varepsilon = 1{,}31$$

2.2.17. Batimetría

Crane and Machinery 2019 (citado por Acosta & Bendezu, 2019, pp.55- 56), sostiene que:

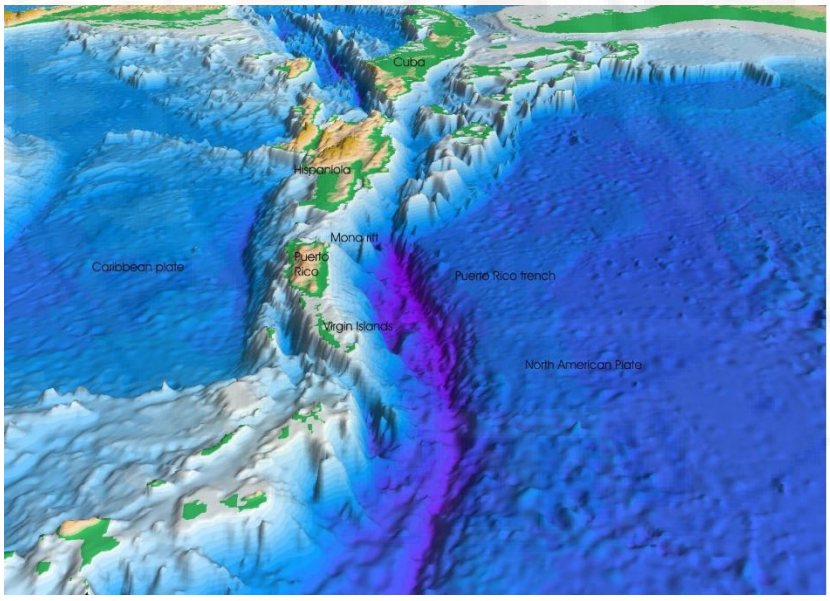
> La batimetría es el levantamiento que nos ayuda a determinar la topografía del fondo de los mares, lagos, presas, ríos y canales. El término batimétrico se refiere originalmente a la medida de la profundidad del océano en relación con el nivel mar. IDEAM (2019), una batimetría se refiere al levantamiento topográfico del relieve de superficies del terreno cubierto por el agua, sea este el fondo del mar o el fondo de los lechos de los ríos, 56 ciénagas, humedales, lagos, embalses, etc., es decir, la cartografía de los fondos de los diferentes cuerpos de agua. Al igual que en los levantamientos topográficos convencionales, se determinan las coordenadas X, Y y Z, esta última corresponde a las profundidades de los cuerpos de agua levantados. A partir de los puntos muestreados, se pueden definir líneas con el mismo valor de profundidad, estas líneas reciben el nombre de isobatas. El conjunto de todas las isobatas de una determinada zona, daría lugar al modelo batimétrico que determinará los fondos y el relieve de los cuerpos de agua y todas aquellas anomalías que en ellos puedan existir. Las aplicaciones de los levantamientos batimétricos son muy amplias, permiten estimar los volúmenes almacenados en los cuerpos de agua y conocer la dinámica de los lechos de ríos, identificando zonas de socavación y áreas de depósito, que en ocasiones puede ocasionar la formación de islas en el río; también ofrece información para la navegación en grandes ríos. Particularmente los levantamientos batimétricos son insumos indispensables para aplicar cualquier software de modelación hidráulica, lo cual permite evaluar el tránsito de crecientes con fines de pronóstico hidrológico.

Campillos en el año 2017 (citado por Acosta & Bendezu, 2019, pp.56- 57), sostiene que:

> La batimetría, es la medición de las profundidades marinas para determinar la topografía del fondo del mar. Su medición implica la obtención de datos con los valores de la profundidad y la posición de cada uno de los puntos muestreado. Estos puntos de posición, al igual que ocurre con la altimetría, están formados por coordenadas de puntos X, Y, Z. El estudio de la batimetría se lleva a cabo mediante diferentes técnicas, el uso de cada una de ellas puede dar diferentes resultados en función de la precisión utilizada. Entre las técnicas más usadas destacan los ecosondas Monohaz y Multihaz. Este sistema permite emitir ondas de sonido que miden la distancia entre la superficie del agua y el fondo marino, así como objetos suspendidos en esta o que reposan en el fondo.

Figura 17

La topografía del fondo marino



Nota. La topografía del fondo marino cerca de la Fosa de Puerto Rico. Fuente: (Wikipedia, 2006)

2.2.18. Fotogrametría

Según Buill, Núñez & Rodríguez en el 2003 (citado por Acosta & Bendezu, 2019, p.65), sostiene que: “La fotogrametría es el conjunto de técnicas, instrumentos y matemáticas, que permiten obtener coordenadas tridimensionales de un objeto, a partir de la información bidimensional extraída de una o varias fotografías”.

Lehmann en el 1975 (citado por Acosta & Bendezu, 2019, p.65), sostiene que la: “Fotogrametría es la medida de un objeto cualquiera, tanto en lo que se refiere a su forma como a su situación, ejecutada por medio de fotografías del mismo objeto”.

Fotogrametría es la ciencia capaz de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, de esa manera obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado. Esta definición es en esencia, la adoptada por la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS). (Jimenez, Magaña, & Soriano, 2019, p.47)

Figura 18

Fotogrametría

Nota. Levantamientos topográficos con Dron por medio de la Fotogrametría. Fuente: (Jimenez, Magaña, & Soriano, 2019, p.47)

2.3. Definiciones de términos

- ***Aluvial:*** es la parte orográfica de un cauce ante un eventual de máximas avenidas.
- ***Agua somera:*** son las aguas de limitada profundidad, no más de 30 metros.
- ***Batimetría:*** es la medición de las profundidades del río.
- ***Calado:*** es el tirante o altura de la profundidad del flujo.
- ***Capacidad hidráulica:*** es la capacidad de desagüe de un caudal sobre una sección transversal en una estructura hidráulica.
- ***DEM:*** es el Modelo Digital de Elevaciones de una superficie de terreno.
- ***Granulometría:*** es la clasificación y distribución de tamaño de material sólida**.**
- ***Iber:*** es un software que permite realizar el cálculo de flujo en ríos y modelación matemática bidimensional.
- ***Modelo numérico:*** según Salmerón (2017) define "se hace en relación a la dimensionalidad donde se analiza el vector velocidad de flujo en el espacio. Este puede clasificarse en modelos unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales" (p.45).
- ***MDT:*** es el Modelo Digital de Terreno más conocido como modelo digital de elevaciones.
- ***Río:*** según Ochoa (2011) afirma: Es formado naturalmente, por donde fluye corrientes de agua relacionado con su caudal, y con los cambios climáticos de lecho, que desemboca en el mar.
- ***Rugosidad:*** es la resistencia de las paredes de un cauce, es la relación entre el caudal, altura y material de fondo.
- ***Sedimento:*** el término sedimento es usado en el contexto de sedimento aluvial, es decir, partículas minerales o fragmentos de roca parental, que han sido erosionadas, transportadas y depositadas por el flujo hídrico (Brasile 2018, p1).

2.4. Variables de estudio

Según Arias (2012), “Variable es una característica o cualidad; magnitud o cantidad, que puede sufrir cambios, y que es objeto de análisis, medición, manipulación o control en una investigación” (p. 57).

2.4.1. Variable independiente

2.4.1.1. Depósito de sedimento

Guevara (2016), sutenta: Es la acumulación de materiales de limo, arcilla, arena, grava y roca que transporta una corriente están asociados con la configuración geológica de la cuenca de drenaje.

> Basile (2018), afirma: Los depósitos de sedimentos aluviales son formados por los materiales detríticos transportados por el agua y depositados debido a una pérdida de competencia del flujo (disminución de velocidad). Sedimentos fluviales es el término general de los detritos que forman los depósitos dejados por un río, los cuales incluyen material fino (limo, arcilla) y material grueso (arena, grava, cantos rodados, etc.). Los sedimentos fluviales se encuentran en: i) el cauce principal del río; ii) la planicie aluvial, creada por divagación del cauce y depósitos durante inundaciones; iii) el fondo de lagos y embalses; iv) los conos de deyección (abanicos aluviales), v) el fondo de estuarios, donde pueden estar interestratificados con sedimentos transportados por el mar al estuario y vi) las formaciones deltaicas. (p.3)

> Basile (2018), afirma: Los depósitos de sedimentos coluviales están formados por material detrítico que cae por la acción de la gravedad y se acumula formando taludes y conos de derrubios al pie de laderas. Su composición es idéntica al material originario. (p.3)

2.4.2. Variable dependiente

2.4.2.1. Capacidad hidráulica

Guevara (2016), sustenta: Es la característica física, en función a la sección transversal, rugosidad, pendiente, y velocidad para obtener un caudal, que se puede manejar la operación en condiciones normales de una estructura hidráulica de un cauce abierto.

Martín (2003), suestenta: La capaccidad hidraullica de un puente es el caudal máximo que puede ser transportado por una sección determinada, es la determinacion su capaciadad desesague.

2.5. Operacionalización de variables

Tabla 4

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Medición
Variable independiente: *Depósito de sedimento*	Porcentaje	(30%, 60% y 100%)	Volumen (m3)
	Granulometría	(Grava, Arena, Limos y Arcilla)	Tamaño (mm)
Variable dependiente: *Capacidad hidráulica*	Caudal	Caudal máximo	Caudal (m3/s)
	Sección de control	Sección transversal	Área mojada(m2)
	Tirante	Tirante máximo	Tirante(m)
	Pendiente	Inclinación del río	Porcentaje (%)
	Velocidad	Velocidad del flujo	Velocidad(m/s)
	Coeficiente de rugosidad	Coeficiente de rugosidad	Adimensional
	Remanso hidráulico	Remanso	Longitud (m)

Nota: Tabla de Operacionalización de variables. Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito temporal y espacial

El periodo que comprende la investigación será durante el año 2020- 2021, esta investigación está comprendida 1.5 km aguas arriba y 1.0 km aguas del puente Ccota del río Mantaro, de la carretera que une las provincias de Huancavelica y Churcampa del departamento de Huancavelica, Perú.

Figura 19

Ubicación del puente Ccota en el río Mantaro

Nota. Puente Ccota en el río Mantaro desde el espacio Google Earth. Fuente: elaboración propia.

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada. “Los proyectos de ingeniería civil están ubicados dentro de este tipo de clasificación, siempre y cuando solucionen alguna problemática” (Borja, 2012, p.10).

“Es llamada también constructiva o utilitaria, se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta y las consecuencias prácticas que de ella se deriven” (Sánchez & Reyes, 2006, pp.40- 41).

3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo, Arias (2012), afirma: La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos. (p.26)

Su misión es observar y cuantificar la modificación de una o más características en un grupo, sin establecer relaciones entre estas. Es decir, cada característica o variable se analiza de forma autónoma o independiente. Por consiguiente, en este tipo de estudio no se formulan hipótesis, sin embargo, es obvia la presencia de variables. (Arias, 2012, p.25)

El nivel de investigación es descriptivo, Sánchez & Reyes (2006) afirman: Son las investigaciones que tratan de recoger información sobre el estado actual del fenómeno. Así por ejemplo son estudios descriptivos: Las caracterizaciones, la elaboración de perfiles y los diagnósticos descriptivos. Los estudios descriptivos nos llevan al conocimiento actualizado de fenómeno tal como se presenta. (p.45)

"Los estudios descriptivos miden de forma independiente las variables y aun cuando no se formulen hipótesis, tales variables aparecen enunciadas en los objetivos de investigación" (Arias, 1999, p.20).

3.4. Método de investigación

El Arias (2012), afirma: "El método científico es el conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas de investigación mediante la prueba o verificación de hipótesis" (p.19). Por lo tanto, como expresa Arias el método de la investigación es el método científico.

3.5. Diseño de investigación

Según Borja (2012), afirma: "Las investigaciones no experimentales no establecen, ni pueden probar relaciones causales directas entre dos variables o entre dos elementos" (p.13). Generalmente las investigaciones de nivel descriptivo son investigaciones no experimentales, bajo estas consideraciones demostradas, el diseño de investigación será no experimental.

3.6. Población, muestra y muestreo

3.6.1. Población

Borja (2012) afirma: "Se denomina población o universo al conjunto de elementos o sujetos que serán motivo de estudio" (p.30).

Bajo este criterio, la población para esta investigación es el cauce del río Mantaro en toda su longitud, siendo esta de 739 km aproximado.

3.6.2. Muestra

Para Morales (citado por Arias, 2012, p.110), define que la muestra “es un subconjunto representativo de un universo o población”.

Bajo este criterio, la muestra para esta Investigación es el tramo de 1.5 km, siendo 1.0 km aguas arriba y 0.5 km aguas abajo del puente Ccota en el río Mantaro.

3.6.3. Muestreo

Borja (2012) afirma: “En esta selección de los elementos no depende de la probabilidad sino criterio del investigador” (p.32).

Bajo este criterio, el muestreo es no probabilístico.

3.7. Técnicas de recolección de datos

Las principales técnicas que se utilizará en este estudio serán:

- observación,
- medición,
- descripción.

3.7.1. Instrumentos de recolección de datos

El instrumento a utilizar en estas técnicas será:

- la revisión documentaría,
- cámaras fotográficas,
- equipos topográficos,
- herramientas manuales.

3.7.2. Procedimientos de recolección de datos

- levantamientos topográficos en superficie,
- batimetría de la profundidad del río Mantaro,
- exploración de suelos (calicata).

3.8. Técnicas y procesamiento de análisis de datos

Para procesar y analizar los datos se utilizó los siguientes programas.

3.8.1. Procesamiento de datos

- Microsoft Excel 2016,
- Pix4Dmapper Pro,
- Auto CAD Civil 3D 2019,
- Arc GIS 10.2,
- HEC HMS,
- IBER 2.4,
- laboratorio de mecánica de suelos.

3.8.2. Análisis e interpretación de datos

El análisis e interpretación de datos se da a partir de los resultados obtenidos con el software IBER 2.4, la descripción de datos obtenidos como: Capacidad hidráulica del puente, romanzo hidráulico, velocidades, tipo de flujo, régimen del flujo y la influencia del depósito de sedimentos en las características hidráulicas del puente Ccota en el río Mantaro.

CAPÍTULO IV

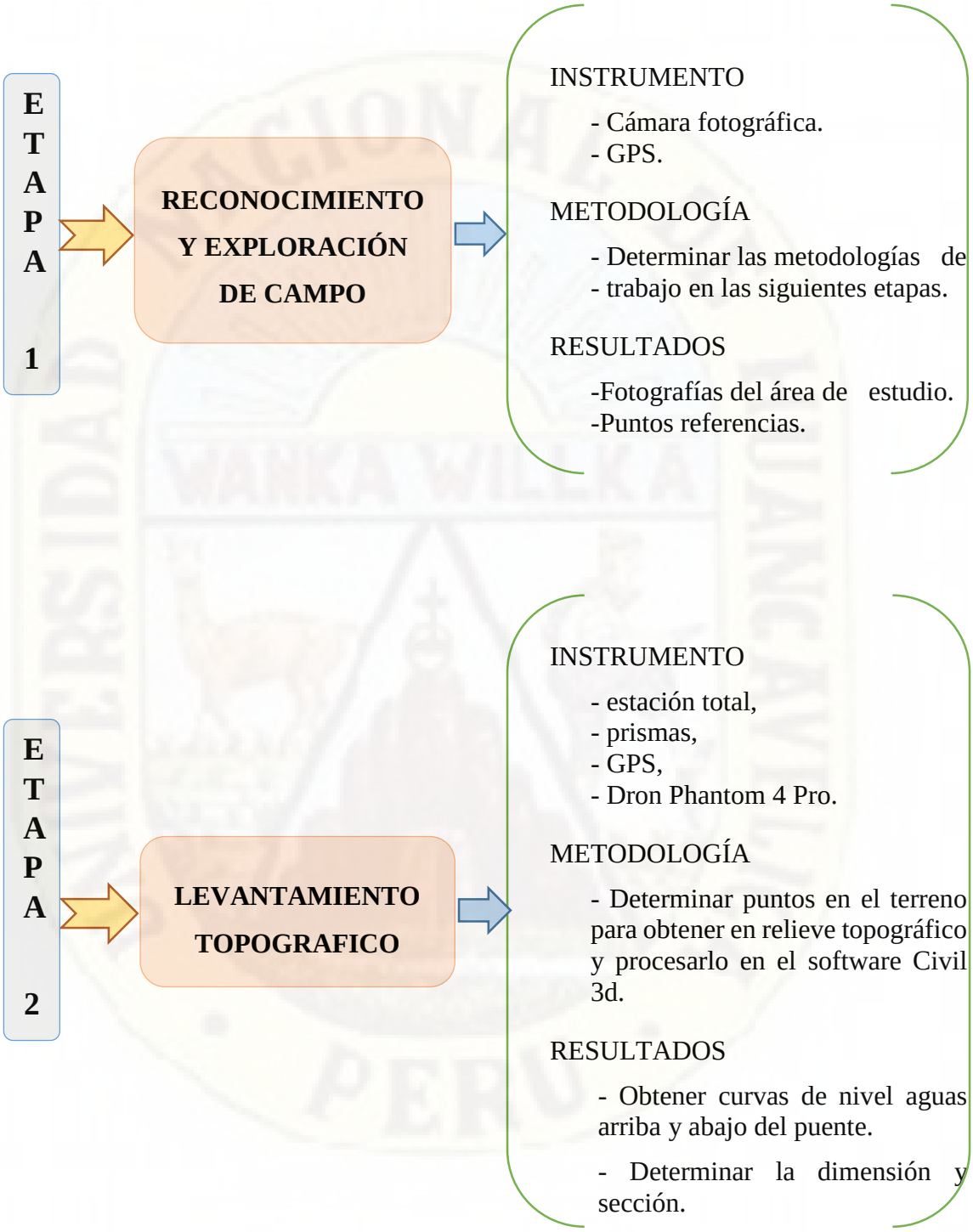
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

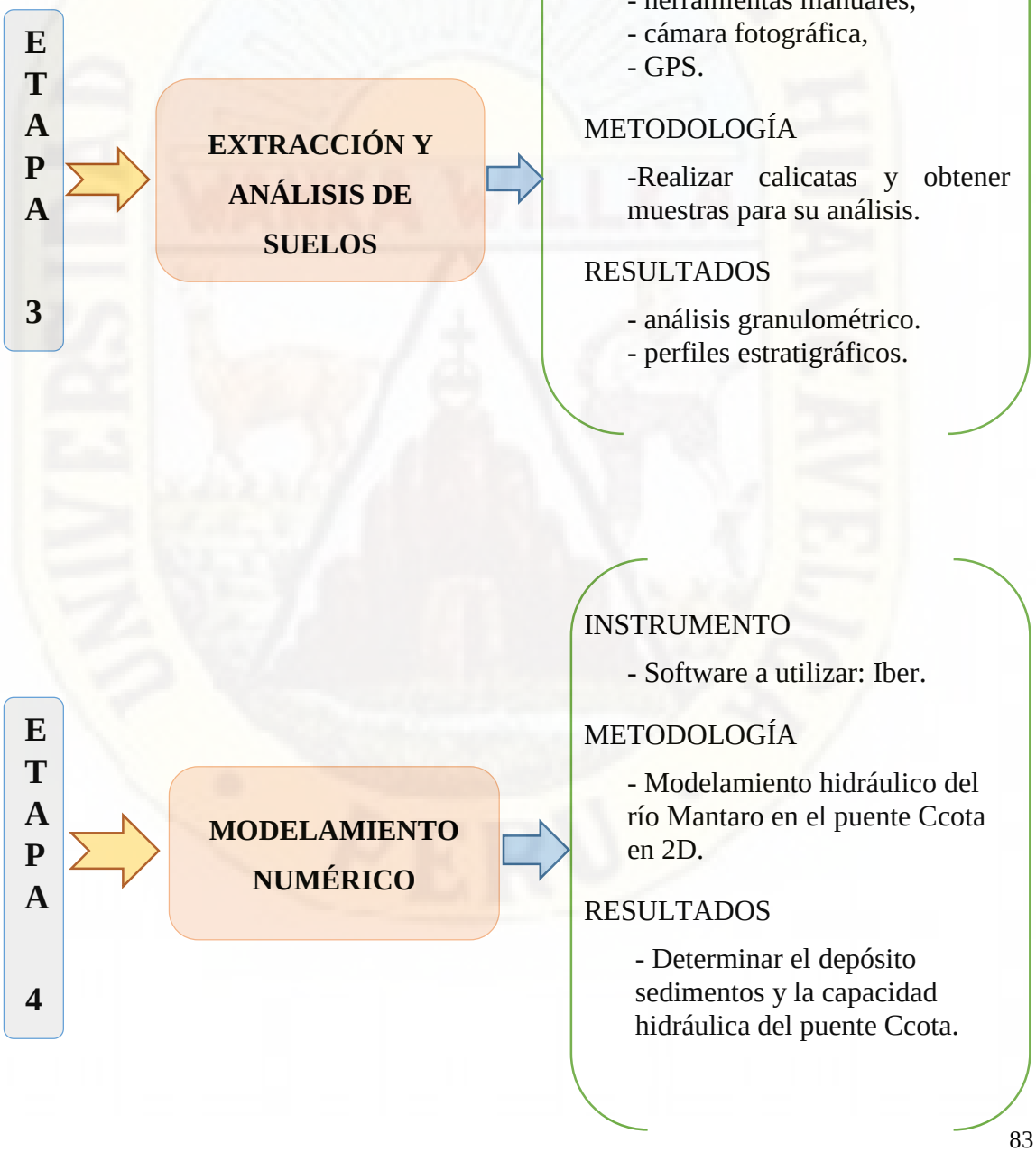
Este capítulo muestra la presentación y discusión de resultados.

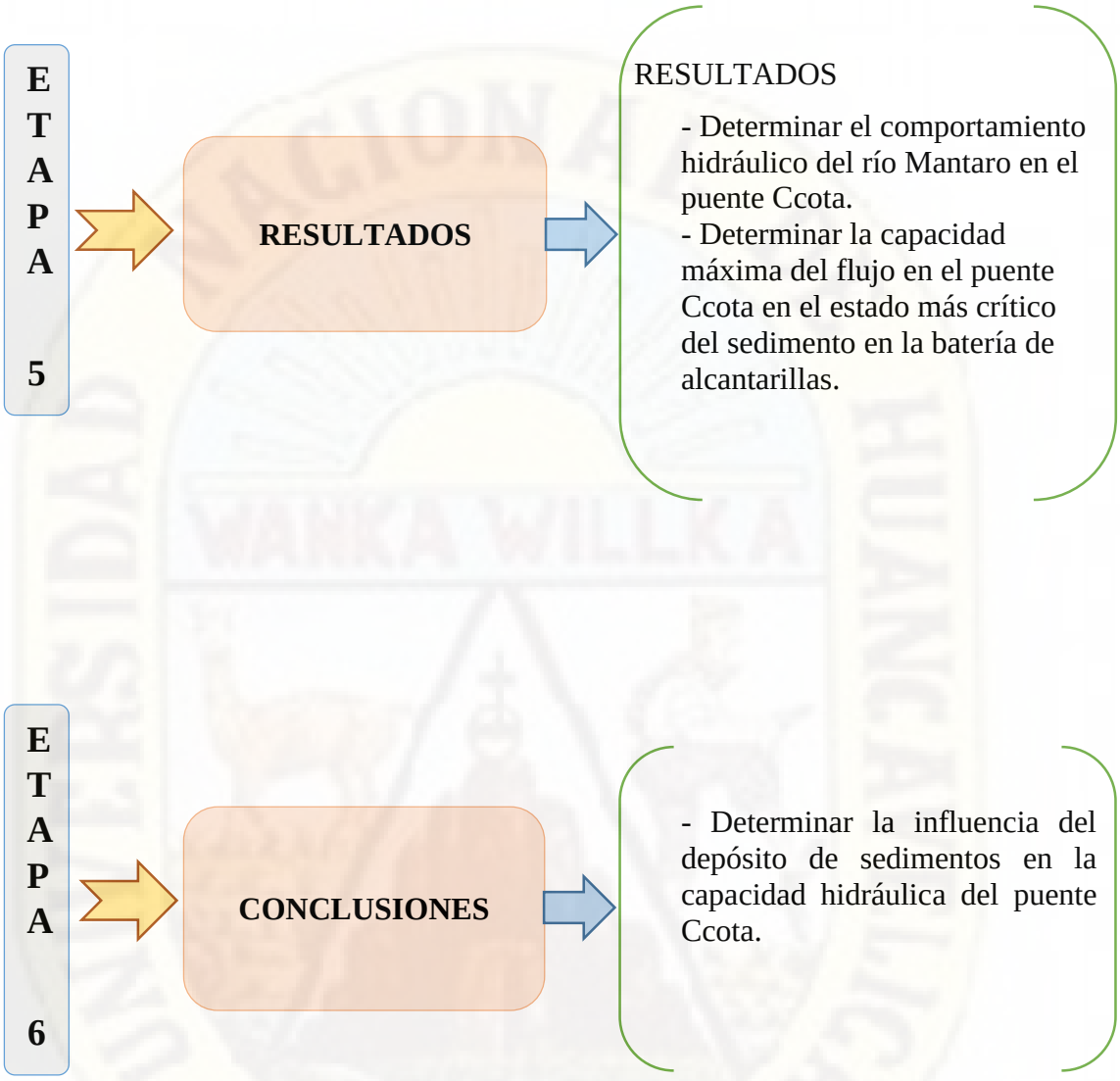
4.1. Análisis de información

En esta investigación se calculó los objetivos propuestos a partir de los problemas detectados haciendo el uso del método científico hasta lograr los resultados trazados.

La investigación comprende de siete etapas la etapa uno constituye el reconocimiento y exploración del campo en la cual se determinará el problema que se encuentra en el área de estudios, la etapa dos comprende el levantamiento topográfico, con la cual se determinó el relieve topográfico, la etapa tres constituye la recolección de datos, se realiza la medición de la profundidad del río, la etapa cuatro comprende el procesamiento de datos, utilizaremos diferentes softwares, en la etapa cinco se constituye el modelamiento numérico, en cual se utiliza el software del Iber, en la etapa seis se determinarán los resultados y en la última etapa siete, se determinaron las conclusiones de la investigación.


ETAPA 1
RECONOCIMIENTO Y EXPLORACIÓN DE CAMPO
INSTRUMENTO
- Cámara fotográfica.
- GPS.
METODOLOGÍA
- Determinar las metodologías de
- trabajo en las siguientes etapas.
RESULTADOS
-Fotografías del área de estudio.
-Puntos referencias.
ETAPA 2
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO
INSTRUMENTO
- estación total,
- prismas,
- GPS,
- Dron Phantom 4 Pro.
METODOLOGÍA
- Determinar puntos en el terreno para obtener en relieve topográfico y procesarlo en el software Civil 3d.
RESULTADOS
- Obtener curvas de nivel aguas arriba y abajo del puente.
- Determinar la dimensión y sección.


ETAPA 3
EXTRACCIÓN Y ANÁLISIS DE SUELOS
INSTRUMENTO
- herramientas manuales,
- cámara fotográfica,
- GPS.
METODOLOGÍA
-Realizar calicatas y obtener muestras para su análisis.
RESULTADOS
- análisis granulométrico.
- perfiles estratigráficos.
ETAPA 4
MODELAMIENTO NUMÉRICO
INSTRUMENTO
- Software a utilizar: Iber.
METODOLOGÍA
- Modelamiento hidráulico del río Mantaro en el puente Ccota en 2D.
RESULTADOS
- Determinar el depósito sedimentos y la capacidad hidráulica del puente Ccota.


ETAPA 5
RESULTADOS
RESULTADOS
- Determinar el comportamiento hidráulico del río Mantaro en el puente Ccota.
- Determinar la capacidad máxima del flujo en el puente Ccota en el estado más crítico del sedimento en la batería de alcantarillas.
ETAPA 6
CONCLUSIONES
- Determinar la influencia del depósito de sedimentos en la capacidad hidráulica del puente Ccota.

4.1.1. Reconocimiento y exploración de campo

En esta etapa de reconocimiento y exploración de campo, se realizó durante el año 2020, mediante fotografías, se logró obtener evidencias claras del depósito de sedimentos en batería de alcantarillas del puente Ccota, como se muestra en las siguientes figuras.

Según el registro fotográfico tomada en el mes de febrero del año 2020, observamos acumulación de sedimentos en la batería de alcantarillas del puente Ccota, además podemos observar la presencia de sedimentos rocosos en su mayoría cantos rodados obstruccionando el comportamiento de flujo del río.

Figura 20

Depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas

Nota. Depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas fotografía tomada en el mes de máximas avenidas del año 2020. Fuente: elaboración propia.

Figura 21

Sedimento en la batería de alcantarilla

Nota. Depósito de Sedimentos en la batería de alcantarillas. Fuente: elaboración propia.

Así mismo, se logró tomar una fotografía en tiempos de máximas avenidas en los meses de enero a abril donde ocurre altas precipitaciones, se puede visualizar claramente el remanso hidráulico aguas arriba del depósito sedimentos en la batería de alcantarillas del puente Ccota río Mantaro.

El puente Ccota se encuentra ubicado en el tramo de la Carretera Central sur Huancayo- Ayacucho, el remanso hidráulico producido por depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas inunda la carretera como se muestra en las siguientes figuras tomadas en el mes de marzo del año 2020.

Figura 22

Remanso hidráulico

Nota. Represamiento del flujo en la entrada de batería de alcantarillas. Fuente: elaboración propia.

Figura 23

Inundación de la carretera Central Sur

Nota. Sobreelevación del flujo a 20m de la batería de alcantarillas. Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Levantamiento topográfico

El trabajo del levantamiento topográfico se realizó el 21 de junio del 2021, en tiempos de estiaje para tener mejor visualización del relieve topográfico y tener mayor precisión, donde nos encaminamos al lugar con los equipos topográficos respectivos, los cuales comprende: Estación total Leica TS06 plus, Dron Phantom 4 Pro, trípode, prisma, cinta métrica y tres radios Motorola. El levantamiento topográfico en la zona de estudio se realizó en una longitud de 1 km aguas arriba y 0.5 km aguas abajo del puente Ccota en el río Mantaro, este levantamiento se desarrolló a partir de dos puntos de BMs, BM-1 y E-02, la fotogrametría se realizó de una altura de vuelo 80 m desde el nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME), y la batimetría se realizó con la estación total hasta una profundidad de 3.5 m debajo del nivel de aguas mínimas en tiempos de estiaje que como cota tiene 2569.95 m.s.n.m del río Mantaro del puente Ccota, asimismo 100 m aguas arriba y 80 m aguas abajo del dicho puente.

Tabla 5

Tabla de BMs y estaciones

Punto	Norte	Este	Elevación	Descripción	Zona
1	8609584.231	533328.085	2580.000	BM-1	18S
2	8608824.649	533005.102	2590.170	E-01	18S
3	8609591.703	533332.187	2579.971	E-02	18S
4	8610033.863	533836.290	2585.609	E-03	18S

Nota. Tabla de BMs y estaciones en coordenadas topográficas monumentandos y pintados en puntos fijos. Fuente: elaboración propia.

Figura 24

Día del levantamiento topográfico

Nota. Fotografía tomada el día del levantamiento en el puente Ccota río Mantaro presencia con prismas y estación. Fuente: elaboración propia.

Figura 25

Levantamiento topográfico con Dron

Nota. Fotografía tomada el día del levantamiento en el puente Ccota río Mantaro presencia del Dron Phantom 4 Pro. Fuente: elaboración propia.

4.1.3. Fotogrametría

El trabajo del levantamiento topográfico de la fotogrametría se realizó en un clima soleado para tener la mejor visualización y resolución de las imágenes del relieve topográfico del terreno mediante cinco vuelos programados a una altura de 80 m nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME), en donde se logró cubrir el área requerida para la investigación, en el cual se hizo toma de fotografías con una buena resolución, tomándose un tiempo de vuelo 30 min cada vuelo.

Figura 26

Vuelo fotogramétrico

Nota. Fotografía tomada el día del levantamiento en el puente Ccota río Mantaro momento instante del inicio del vuelo del Dron Phantom 4 Pro. Fuente: elaboración propia.

a) Metodología de trabajo

Se utilizó la Estación total Leica TS06 plus y prismas para el control de puntos que se marcó con el yeso todo el margen izquierdo y margen derecho de cauce del río Mantaro en tramo del puente Ccota un total de 18 marcas, puntos de control para el control de la altura los cuales son necesarias para georreferenciar en el gabinete las fotografías captadas con el Dron Phantom 4 Pro.

Figura 27

Punto de control marcado con yeso

Nota. Fotografía tomada el día del levantamiento en el puente Ccota río Mantaro presencia del punto de referencia marcado con yeso. Fuente: elaboración propia.

Tabla 6

Tabla de puntos de control de la altura

Punto	Este	Norte	Elevación	Descripción	Zona
1	533158.453	8609046.285	2577.087	MARCA	18S
2	533077.347	8609033.661	2570.830	MARCA	18S
3	533205.953	8609326.494	2572.524	MARCA	18S
4	533272.739	8609274.932	2575.915	MARCA	18S
5	533385.631	8609573.063	2576.612	MARCA	18S
6	533277.453	8609622.045	2580.410	MARCA	18S
7	533589.585	8609710.818	2577.462	MARCA	18S
8	533722.549	8609772.998	2584.141	MARCA	18S
9	533835.143	8610032.968	2585.573	MARCA	18S
10	533710.551	8610012.489	2575.516	MARCA	18S
11	533672.268	8610403.228	2588.499	MARCA	18S
12	533645.131	8610188.388	2574.402	MARCA	18S
13	533672.267	8610403.217	2588.513	MARCA	18S
14	533660.624	8609871.014	2575.866	MARCA	18S
15	533613.108	8610294.982	2575.962	MARCA	18S
16	533783.281	8610176.715	2583.823	MARCA	18S
17	533526.301	8609798.662	2574.912	MARCA	18S
18	533315.717	8609610.214	2571.829	MARCA	18S

Nota. Tabla de puntos topográficos de referencia marcados con yeso puestos en el margen derecho e izquierdo de cauce de río Mantaro puente Ccota. Fuente: elaboración propia.

Se realizó cinco planes de vuelo con el Dron Phantom 4 Pro, 1 km aguas arriba y 0.5 km aguas abajo del puente Ccota, un total de 1.5 km de longitud del río Mantaro en tramo del puente Ccota, la altura del vuelo es de 80.00 m que se consideró para evitar pérdida de resolución y tener mayor precisión del relieve topográfico y así poder obtener buenos resultados en la investigación, en la Figura 28 se muestra el posicionamiento del Dron Phatom 4 Pro para el inicio de vuelo y la (Figura 29), se muestra el vuelo programado para poner iniciar la recolección de datos.

Figura 28

Inicio del plan de vuelo

Nota. Fotografía tomada momento al inicio del vuelo. Fuente: elaboración propia.

Figura 29

Dron Phatom 4 Pro en vuelo

Nota. Fotografía tomada durante el vuelo del Phantom 4 Pro. Fuente: elaboración propia.

b) Resultados obtenidos

Como resultado del trabajo de la fotogrametría procesado con Pix4Dmapper Pro se obtuvieron 183418 puntos fotogramétricos (DRONE), en una extensión 725714.117 m2 aproximadamente, también se obtuvieron el relieve topográfico a una resolución de 6.79 cm/pix, DEM y el ortofoto 1 km aguas arriba y 0.5 km aguas abajo del puente Ccota.

Figura 30

Ortofoto del relieve topográfico

Nota. Relieve topográfico obtenidos en Ortofoto 1km aguas arriba y 0.5 km aguas abajo del puente Ccota río Mantaro. Fuente: elaboración propia.

Figura 31

DEM del terreno del relieve topográfico

Nota. DEM del terreno del relieve topográfico obtenidos del Ortofoto 1km aguas arriba y 0.5 km aguas abajo del puente Ccota río Mantaro. Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Batimetría

El trabajo de la batimetría se realizó el 21 de junio del 2021, consiste en el levantamiento topográfico del cauce principal, para este levantamiento topográfico se tuvo el requerimiento de tres primeros y un topógrafo. En el levantamiento se obtuvo, aguas arriba ocho secciones y aguas abajo seis secciones, teniendo una distancia de sección a sección de 10.00 m. Como se muestra en la (Figura32), el margen derecho del río tiene profundidad mayor a 2m y era necesario hacer una batimetría con la estación total para tener la superficie del terreno lo más real posible.

Figura 32

Vista panorámica del puente Ccota

Nota. Vista panorámica del puente Ccota río Mantaro presencia del área donde se realizó la batimetría a profundidades de 2 m a 3.5 m aproximados. Fuente: elaboración propia.

a) Metodología del trabajo

Se realizaron dos puntos de cambio con la estación total Leica TS06 Plus, teniendo dos puntos de base BM-01 y E-02 para orientar el equipo, orientado la estación total se empezó con el levantamiento batimétrico hasta una profundidad de 3.5 m a una longitud del cauce del río a 80 m aguas arriba y 60 m aguas abajo del puente Ccota, como se muestra en la Figura los primeros entraron a la profundidad del río Mantaro para hacer el levantamiento topográfico de la profundidad del flujo.

Figura 33

Levantamiento batimétrico

Nota. Vista del levantamiento batimétrico del puente Ccota río Mantaro presencia del área donde se realizó la batimetría a profundidades de 2 m a 3.5 m. Fuente: elaboración propia.

Figura 34

Vista panorámica del levantamiento batimétrico

Nota. Vista del levantamiento batimétrico del puente Ccota río Mantaro presencia del área donde se realizó la batimetría a profundidades de 2 m a 3.5 m. Fuente: elaboración propia.

Figura 35

Levantamiento batimétrico presencia de la prisma

Nota. Vista del levantamiento batimétrico del puente Ccota río Mantaro presencia del prismero en profundidades del río. Fuente: elaboración propia.

Como resultado del levantamiento topográfico de las profundidades del río Mantaro se obtuvieron coordenadas topográficas que muestran en la Tabla.

Tabla 7

Coordenadas topográficas de la batimetría

Punto	Este	Norte	Elevación	Descripción	Zona
1	533311.245	8609605.001	2571.316	RIO	18S
2	533302.524	8609608.755	2571.297	RIO	18S
3	533297.865	8609610.364	2570.364	RIO	18S
4	533297.548	8609610.730	2570.133	RIO	18S
5	533294.240	8609611.443	2569.365	RIO	18S
6	533293.755	8609611.517	2569.313	RIO	18S
7	533289.171	8609614.844	2569.132	RIO	18S
8	533307.420	8609626.130	2571.046	RIO	18S
9	533320.041	8609619.563	2571.498	RIO	18S
10	533314.893	8609622.104	2571.235	RIO	18S
11	533320.285	8609632.093	2571.166	RIO	18S
12	533313.862	8609635.962	2571.133	RIO	18S
13	533300.263	8609630.981	2569.763	RIO	18S
14	533302.765	8609630.384	2570.996	RIO	18S
15	533325.593	8609638.752	2571.082	RIO	18S
16	533319.694	8609642.542	2571.315	RIO	18S
17	533333.843	8609646.944	2570.795	RIO	18S
18	533329.578	8609676.090	2570.103	RIO	18S
19	533327.255	8609652.185	2571.233	RIO	18S
20	533331.755	8609674.142	2571.111	RIO	18S
21	533336.785	8609681.003	2569.882	RIO	18S
22	533343.157	8609659.012	2570.749	RIO	18S
23	533335.666	8609665.191	2571.178	RIO	18S
24	533338.317	8609679.645	2570.808	RIO	18S
25	533354.218	8609669.060	2571.019	RIO	18S
26	533344.743	8609687.008	2569.974	RIO	18S
27	533338.907	8609671.537	2570.848	RIO	18S
28	533338.814	8609671.324	2570.955	RIO	18S
29	533345.732	8609682.557	2570.020	RIO	18S
30	533348.348	8609679.509	2570.004	RIO	18S

Punto	Este	Norte	Elevación	Descripción	Zona
31	533361.715	8609676.505	2570.928	RIO	18S
32	533352.684	8609681.776	2569.963	RIO	18S
33	533340.065	8609665.449	2570.978	RIO	18S
34	533329.495	8609585.436	2581.230	RIO	18S
35	533265.243	8609533.643	2569.003	RIO	18S
36	533276.020	8609532.596	2571.335	RIO	18S
37	533264.644	8609539.844	2568.970	RIO	18S
38	533279.845	8609543.608	2571.104	RIO	18S
39	533283.226	8609537.589	2571.436	RIO	18S
40	533281.648	8609552.122	2570.823	RIO	18S
41	533287.844	8609547.199	2571.355	RIO	18S
42	533262.549	8609557.999	2568.980	RIO	18S
43	533264.734	8609569.716	2570.664	RIO	18S
44	533282.651	8609560.647	2570.608	RIO	18S
45	533291.200	8609556.105	2571.175	RIO	18S
46	533270.642	8609567.698	2571.146	RIO	18S
47	533282.672	8609565.158	2570.440	RIO	18S
48	533284.667	8609578.453	2570.337	RIO	18S
49	533292.811	8609563.209	2571.060	RIO	18S
50	533279.527	8609583.282	2570.491	RIO	18S
51	533280.710	8609590.029	2568.953	RIO	18S
52	533295.143	8609571.993	2571.060	RIO	18S
53	533292.948	8609590.609	2570.681	RIO	18S
54	533299.741	8609584.377	2571.037	RIO	18S
55	533299.736	8609584.362	2571.046	RIO	18S
56	533296.412	8609599.614	2570.848	RIO	18S
57	533306.570	8609595.857	2571.164	RIO	18S
58	533298.219	8609605.590	2570.809	RIO	18S
59	533309.441	8609600.712	2571.275	RIO	18S
60	533284.967	8609604.918	2571.557	RIO	18S
61	533284.532	8609603.720	2571.579	RIO	18S
62	533283.417	8609602.376	2571.558	RIO	18S
63	533282.691	8609601.390	2571.546	RIO	18S
64	533282.331	8609598.376	2571.578	RIO	18S
65	533280.413	8609596.154	2571.568	RIO	18S

Punto	Este	Norte	Elevación	Descripción	Zona
66	533279.119	8609594.680	2571.554	RIO	18S
67	533275.842	8609594.247	2571.542	RIO	18S
68	533274.141	8609592.521	2571.562	RIO	18S
69	533273.240	8609591.006	2571.546	RIO	18S
70	533273.441	8609588.684	2571.603	RIO	18S
71	533287.972	8609613.874	2571.545	RIO	18S
72	533287.664	8609612.216	2571.544	RIO	18S
73	533287.996	8609611.262	2571.550	RIO	18S
74	533287.765	8609610.920	2571.541	RIO	18S
75	533287.016	8609610.679	2571.549	RIO	18S
76	533286.970	8609610.344	2571.538	RIO	18S
77	533286.573	8609610.089	2571.554	RIO	18S
78	533286.187	8609609.729	2571.544	RIO	18S
79	533285.953	8609609.431	2571.570	RIO	18S
80	533286.171	8609608.992	2571.543	RIO	18S
81	533286.154	8609608.520	2571.545	RIO	18S
82	533286.323	8609607.238	2571.550	RIO	18S
83	533285.440	8609606.296	2571.581	RIO	18S
84	533284.604	8609603.820	2571.566	RIO	18S
85	533284.014	8609602.895	2571.561	RIO	18S
86	533282.674	8609601.129	2571.558	RIO	18S
87	533282.355	8609599.233	2571.554	RIO	18S
88	533280.382	8609595.512	2571.547	RIO	18S
89	533273.371	8609591.282	2571.574	RIO	18S
90	533272.660	8609586.785	2571.552	RIO	18S
91	533268.883	8609579.934	2571.547	RIO	18S
92	533267.657	8609578.173	2571.550	RIO	18S
93	533262.881	8609571.809	2571.528	RIO	18S
94	533260.719	8609569.402	2571.584	RIO	18S
95	533255.640	8609562.820	2571.598	RIO	18S
96	533254.625	8609559.308	2571.587	RIO	18S

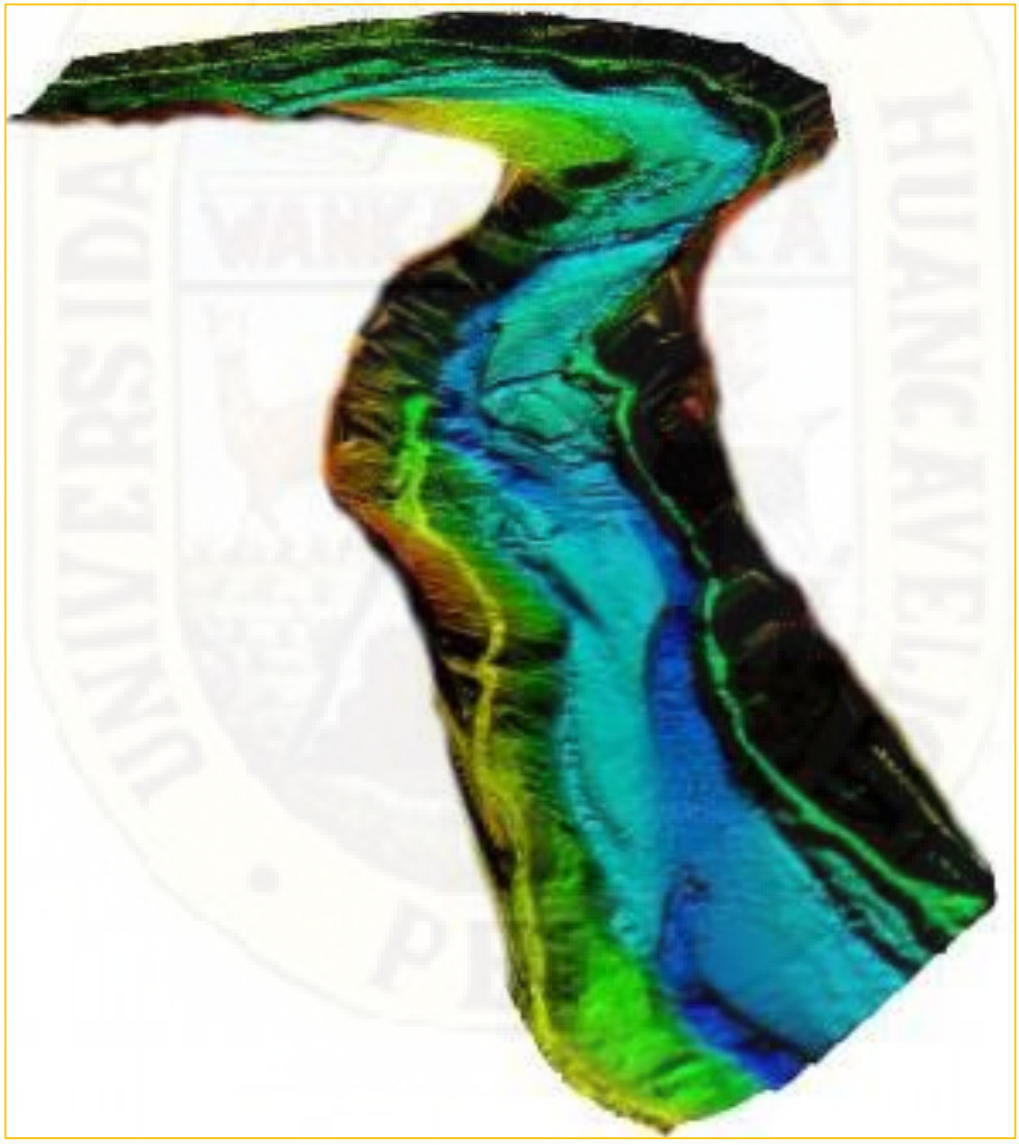
Nota. Coordenadas topográficas de la batimetría obtenidos con la Estación total Leica TS06 plus en el río Mantaro. Fuente: elaboración propia.

b) Resultados obtenidos

Se obtiene un relieve topográfico a mayor precisión como si el cauce fuera un río seco, una vez fusionado la topografía de la fotogrametría y la batimetría.

Figura 36

Vista en 3D del relieve topográfico

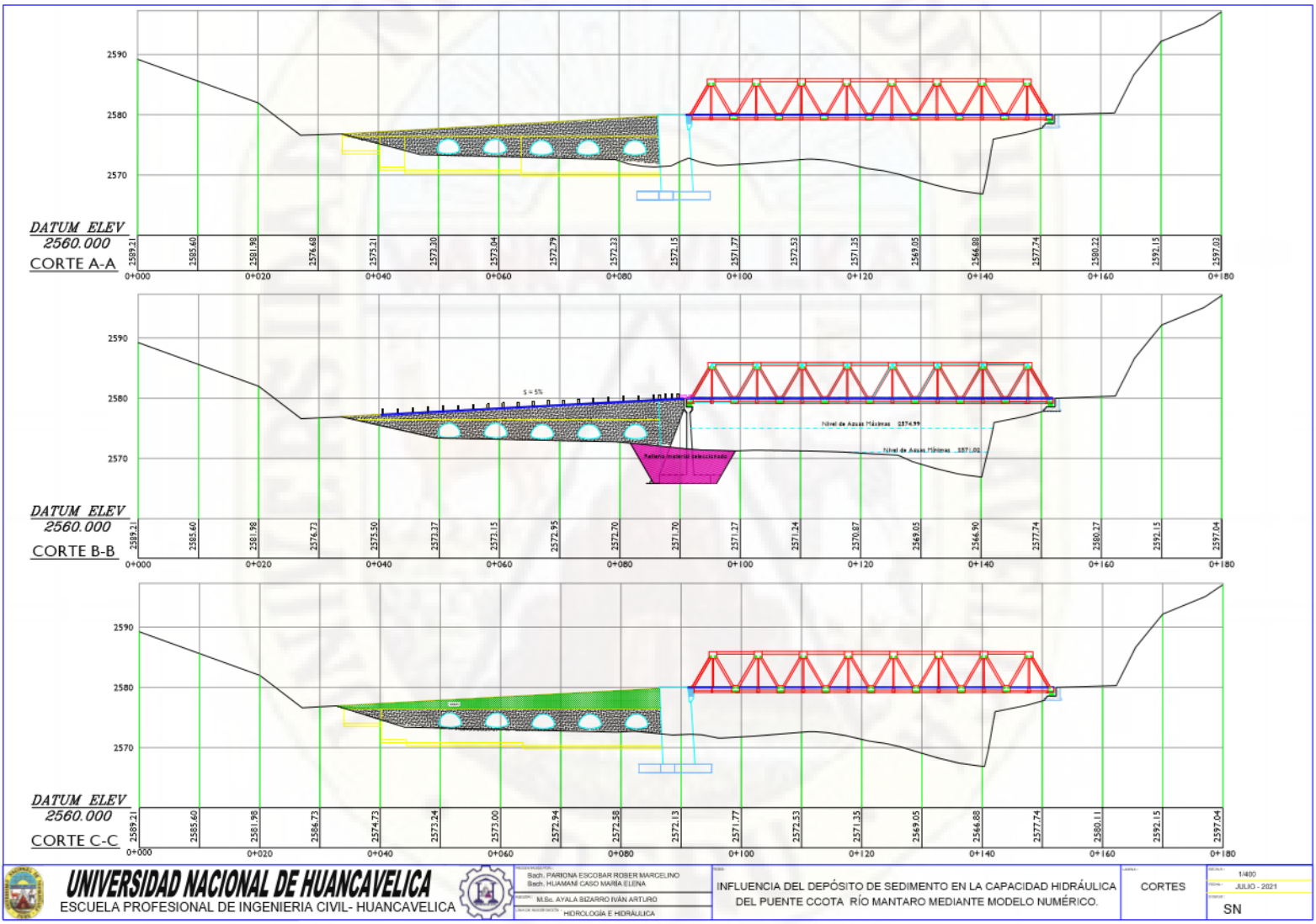


Nota. Vista en 3D del relieve topográfico. Fuente: elaboración propia.

En la siguiente Figura se muestran tres cortes de las secciones transversales del puente Ccota en el río Mantaro.

Figura 37

Secciones de control del puente



Nota. Sección del río Mantaro ubicado debajo del puente Ccota. Fuente: elaboración propia.

4.1.3. Extracción y análisis de suelos

El 15 de mayo del 2021, se realizó la extracción de la muestra para el estudio de la investigación, se realizará el análisis granulométrico del depósito de sedimentos en la margen convexa izquierdo del lecho del río Mantaro donde se ubica la batería de alcantarillas del puente Ccota que está siendo obstruido por el depósito de sedimentos, el análisis granulométrico es muy importante para la investigación. El D_{50} es uno de los datos de entrada para la simulación del transporte de sedimentos en el software IBER.

a) Metodología del trabajo

Se hizo una calicata de 2 m de profundidad para obtener una muestra de 20 kilos, luego se determinó el análisis granulométrico por tamizado de muestras volumétricas.

Figura 38

Análisis granulométrico

Nota. Análisis granulométrico en el laboratorio. Fuente: elaboración propia.

b) Resultados obtenidos

Como resultado del análisis granulométrico en el laboratorio ASTM D- 422 de mecánica de suelos se obtuvo lo siguiente: grava con mezcla de arena sin presencia de finos; con tamaños máximos de 1.5" con un 75.3% más mezcla de arena de consistencia suelta y de color gris sin plasticidad y limos hasta 7.6% como partículas finas (Que pasa la malla Nª 200), Lím. Líq.= 0.0% e Ind. Plast. = 0.0%.

Tabla 8

Análisis granulométrico

Tamices		Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
Ø	(mm)				
5"	127				
4"	101.6				
3"	76.2	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.8	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.1	168.10	6.26%	6.26%	93.74%
1"	25.4	662.60	24.66%	30.91%	69.09%
3/4"	19.05	396.40	14.75%	45.66%	54.34%
1/2"	12.7	234.20	8.71%	54.38%	45.62%
3/8"	9.525	195.80	7.29%	61.66%	38.34%
1/4"	6.35	106.90	3.98%	65.64%	34.36%
N° 4	4.76	64.30	2.39%	68.03%	31.97%
N° 10	2.0	195.80	7.29%	75.32%	24.68%
N° 20	0.84	27.00	1.00%	76.32%	23.68%
N° 30	0.59	27.00	1.00%	77.33%	22.67%
N° 40	0.426	49.90	1.86%	79.18%	20.82%
N° 100	0.149	239.60	8.92%	88.10%	11.90%
N° 200	0.074	114.70	4.27%	92.37%	7.63%
Fondo	0.01	205.10	7.63%	100.00%	0.00%
PESO INICIAL		**2687.4**			

Nota. Análisis granulométrico en el laboratorio. Fuente: elaboración propia.

Tabla 9

Porcentajes de material

PORCENTAJES DE MATERIAL		
GRAVA > TAMIZ N° 4	%	75.3
ARENA < N° 4 -N° 200 >	%	17.0
FINO < N° 200 (Limos y Arcillas)	%	7.6

Nota. Porcentajes de material. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10

Módulo de fineza

Módulo de Fineza	
Tamaño Máximo:	1 1/2"
Módulo de Fineza AF:	
Módulo de Fineza AG:	
Equivalente de Arena:	

Nota. Módulo de fineza. Fuente: elaboración propia.

Tabla 11

Límites de Atterberg

Límites de Atterberg	Parámetros:
LL = 0.00	IP = 0.00
LP = 0.00	IG = 1

Nota. Límites de Atterberg. Fuente: elaboración propia.

Tabla 12

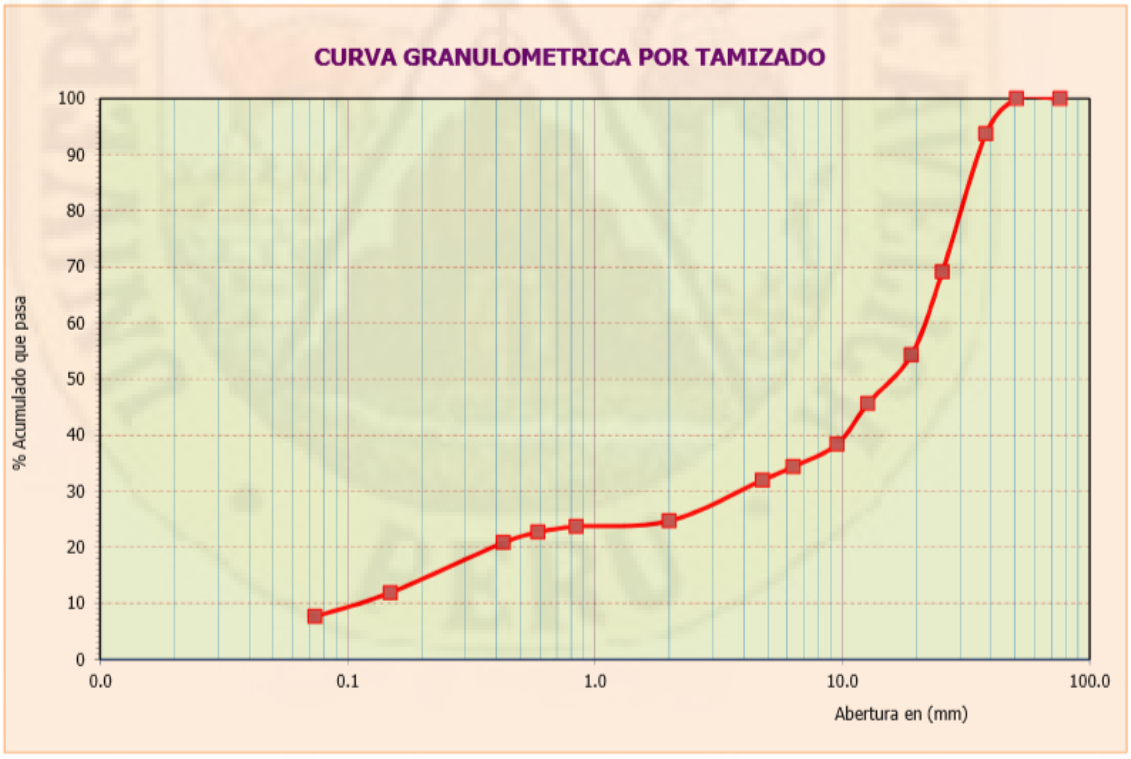
Diámetro efectivos:

Diámetro efectivos (mm):	
D60:	21.487
D30:	4.015
D10 (Diam.Efectivo)	0.116
D50:	15.889
D95:	40.648
Cc =	6.49
Cu =	185.85

Nota. Diámetros efectivos. Fuente: elaboración propia.

Figura 39

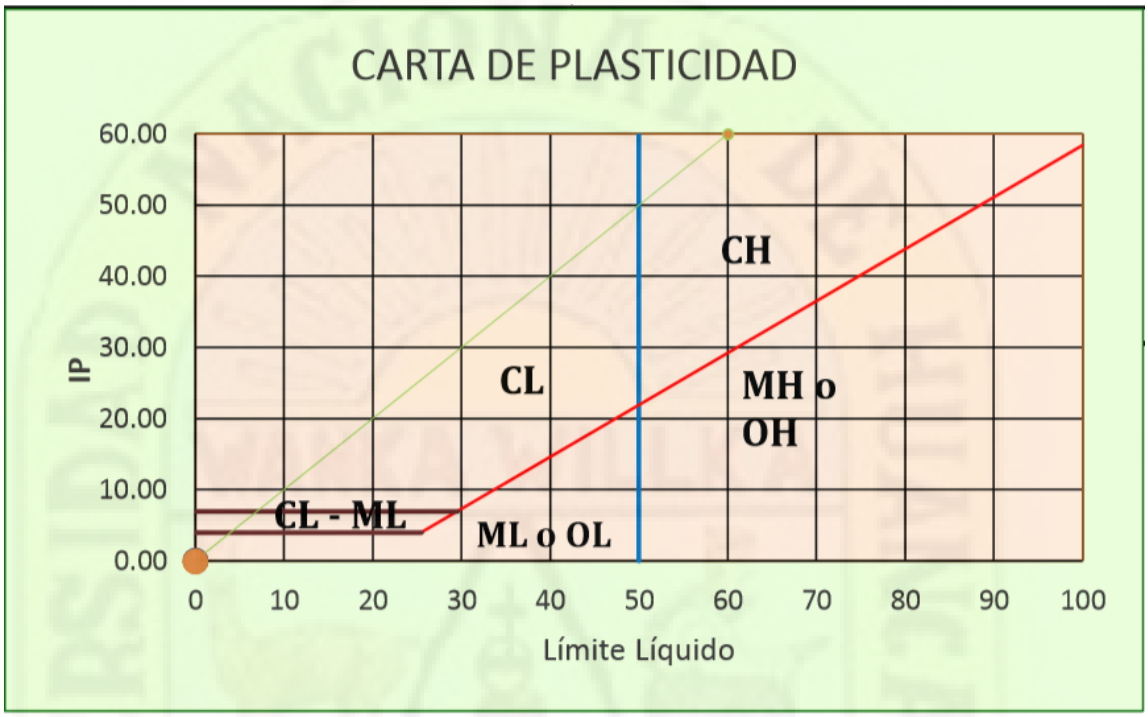
Curva granulométrica por tamizado



Nota. Curva granulométrica por tamizado. Fuente: elaboración propia.

Figura 40

Carta de plasticidad



Nota. Carta de plasticidad. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13

Clasificación del suelo a una profundidad de 2 m

CLASIFICACIÓN DEL SUELO			
SUCS:	**GP GM**	**AASHTO:**	**A1-a(1)**
Grava mal graduada con limo		Grava y Arena con mezcla de Limos	

Nota. Clasificación del suelo a una profundidad de 2 m de calicata en el laboratorio CGOTEP - Huancavelica. Fuente: elaboración propia.

En el año 2010 en el margen izquierdo del río Mantaro, el Gobierno Regional de Huancavelica para la construcción puente Ccota - Añancusi ha realizado una perforación manual (calicata) hasta alcanzar una profundidad de 3.60 metros, la misma que ha servido para desarrollar el perfil estratigráfico en dicha zona, las calicatas se muestran.

Figura 41

Calicata 1 margen izquierdo de río Mantaro

Nota. Calicata 1 margen izquierdo de río Mantaro. Fuente: (Gobierno Regional de Huancavelica, 2010)

Figura 42

Calicata 2 margen izquierdo de río Mantaro

Nota. Calicata 2 margen izquierdo de río Mantaro. Fuente: (Gobierno Regional de Huancavelica, 2010)

Como resultado de ensayos en el laboratorio que fueron analizadas por dos instancias diferentes; la empresa Geo Well Drilling S.A.C. y el laboratorio Geotécnico del CISMID – UNI.

Los resultados en el laboratorio Geotécnico del CISMID – UNI (Ensayo de Compresión Triaxial), fueron realizados en muestras remoldeadas.

Figura 43

Laboratorio Geotécnico del CISMID – UNI

Nota. Laboratorio Geotécnico del CISMID – UNI. Fuente: (Gobierno Regional de Huancavelica, 2010)

Tabla 14

Ensayo de compresión Triaxial de M- 1

Ensayo de compresión Triaxial de M- 1	
Profundidad	3.00 m
Clasificación SUCS de suelo	GP – grava mal gradada con arena
Cohesión	0
Angulo de fricción	28.70º

Nota. Ensayo de compresión Triaxial de la primera muestra (M-1) en el laboratorio geotécnico del CISMID – UNI. Fuente: (Gobierno Regional de Huancavelica, 2010)

Tabla 15

Ensayo de compresión Triaxial de M- 2

Ensayo de compresión Triaxial de M- 2	
Profundidad	3.60 m
Clasificación SUCS de suelo	GP – grava mal gradada
Cohesión	0
Angulo de fricción	26.50º

Nota. Ensayo en el laboratorio CISMID – UNI. Fuente: (Gobierno Regional de Huancavelica, 2010)

La empresa Geo Well Drilling S.A.C indicada ha realizado estudios de sondeo y a la vez realizó el Ensayo de corte directo mediante la norma ASTM D3080, cuyos resultados son los siguientes:

Tabla 16

Ensayo de corte directo ASTM D3080

Ensayo de corte directo ASTM D3080	
Profundidad	3.60 m
Clasificación SUCS de suelo	GP
Cohesión	0
Angulo de fricción	30.11º

Nota. Ensayo de corte directo ASTM D3080. Fuente: (Gobierno Regional de Huancavelica, 2010)

La empresa Geo Well Drilling S.A.C ha realizado estudios “in situ” de sondeo en el margen izquierdo del rio Mantaro, en la ubicación del estribo y eje de puente, la misma que ha alcanzado una profundidad de 20 m., para lo cual se ha empleado diversas líneas de perforación. El programa de perforaciones ejecutadas desde 02/05/10 hasta 12/05/10 es de 20.00 m, distribuido en un (01) sondaje diamantino en el estribo izquierdo de 16 m.

El método empleado en los sondeos, fue el rotativo con recuperación continua de testigos, es decir, aquel que atraviesa los materiales cortándolos por medio de la acción giratoria de una broca de diamantes a alta velocidad y a presiones adecuadas al tipo de suelo o roca a perforarse.

Figura 44

Estudio de sondeo

Nota. Estudio de sondeo margen izquierdo del río. Fuente: (Gobierno Regional de Huancavelica, 2010)

Las líneas de perforación utilizadas fueron las siguientes:

Tabla 17

Líneas de perforación

Línea	Diámetro de sondeo (mm)	Diámetro de testigos (mm)
HW	117	102
HQ	95.6	77
NQ	75.6	59

Nota. Líneas de perforación. Fuente: (Gobierno Regional de Huancavelica, 2010)

Las brocas utilizadas en las perforaciones de diamantes impregnadas marca Boyles Bros, como fluido de perforación se utilizó solamente agua proporcionada por el río Mantaro. El nivel freático encontrado en la margen izquierda, se encuentra a 0.50 m, sin embargo, en la calicata ejecutada en dicha, margen no se encontró el nivel freático hasta una profundidad de 3.00 m, por lo que se presume que el agua encontrada en el pozo de sondeo se deba al agua empleada para la perforación.

Tabla 18

Descripción de los sondeos S- 01

De	A	Descripción litológica
0	8.5	Grava mal gradada de formas subredondeadas, subangulosas, redondeadas, de grano grueso a medio, con arenas de grano medio, de color grisáceo. Presenta algunos fragmentos de roca del tamaño de cantos rodados y bolonería.
8.5	11.3	Arena mal gradada de grano medio a grueso, de color grisáceo, húmedo a saturado, compacidad densa, no plásticas, presenta algunas gravas medias a finas, de formas subredondeadas, redondeadas y subangulosas.
11.3	15.1	Arena ligeramente limosa, de color grisáceo, no plástica, compacidad densa, muy húmeda. Presenta algunas gravas finas intercaladas de formas subredondeadas a subangulosas.
15.1	16.5	Limo arenoso, de consistencia muy dura, de color parduzco, húmedo a muy húmedo, ligeramente consolidado, no plástico.
16.5	20	Grava mal gradada, de color gris claro, de compacidad muy densa, de grano medio, de formas subangulosas, subredondeadas. Tamaño máximo de las gravas 1½" de espesor.

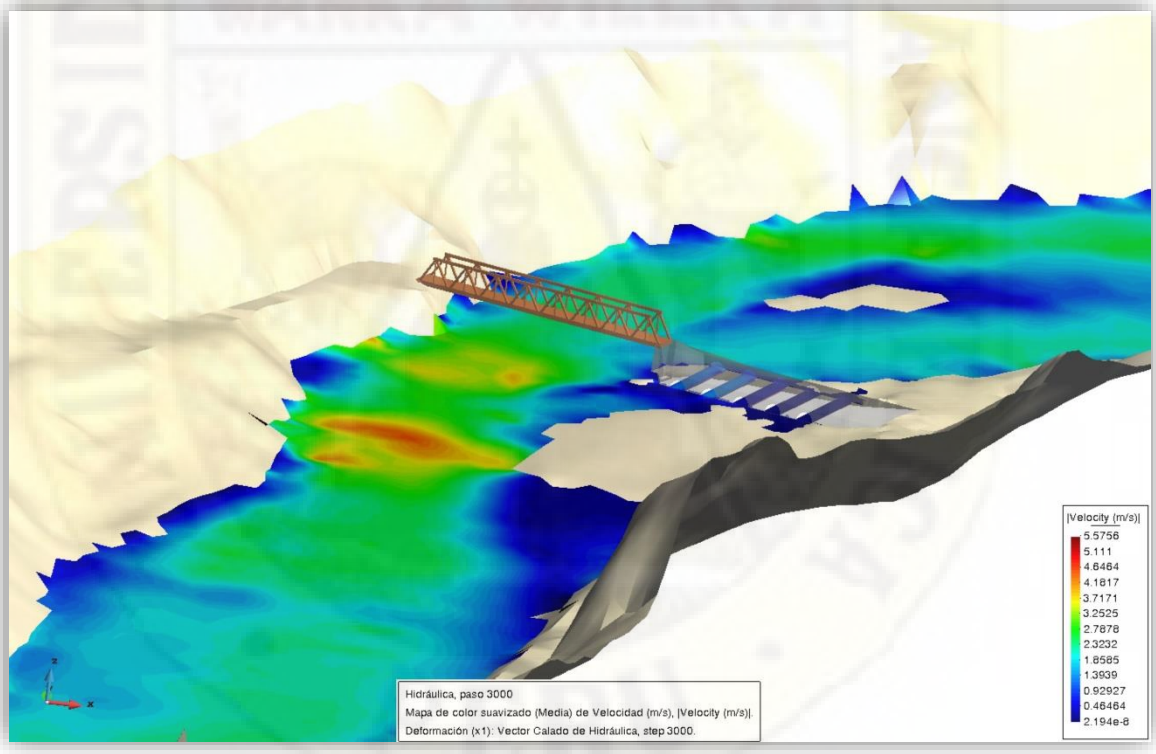
Nota. Estudios de sondeos S- 01 "in situ" del margen izquierdo del río Mantaro realizados por la empresa Geo Well Drilling S.A.C. Fuente: (Gobierno Regional de Huancavelica, 2010)

4.1.4. Simulación hidráulica mediante un modelo numérico Iber

La simulación hidráulica con el software Iber es un modelo numérico con las ecuaciones 2D bidimensionales Shallow Water Equiations que trabaja el mallado por el método de volúmenes finitos, el software Iber es para simular ríos de aguas someras, el río Mantaro en el tramo del puente Ccota, sus aguas son someras con una profundidad hidráulica menor a 15 m aproximadamente y una pendiente menor al 1% aproximados, este modelo numérico Iber tiene una interfaz gráfica que es el preproceso y el postproceso.

Figura 45

Simulación hidráulica con el software Iber



Nota. Simulación hidráulica con el software Iber en el río Mantaro en tramo del puente Ccota vista en 3D paso del flujo con un caudal de 300 m3/s. Fuente: elaboración propia.

a) Metodología del trabajo

En esta etapa se realizó la construcción de la interfaz gráfica del preproceso como condiciones de contorno, geometría de la superficie, elaboración del mallado, construcción del modelo digital de elevación, asignación del tipo de suelo y coeficiente de Manning.

- ***Modelamiento de la estructura del puente***

Según la visita del campo se obtuvieron las dimensiones de toda estructura del puente, la cual se ha dibujado un modelo 3D en el AutoCAD y luego en el Revit para orientarlo y asignarle la elevación y posteriormente importarlo al Iber, la siguiente imagen muestra un dibujo 3d con una vista isométrica.

Figura 46

Dibujo isométrico en 3D del puente Ccota

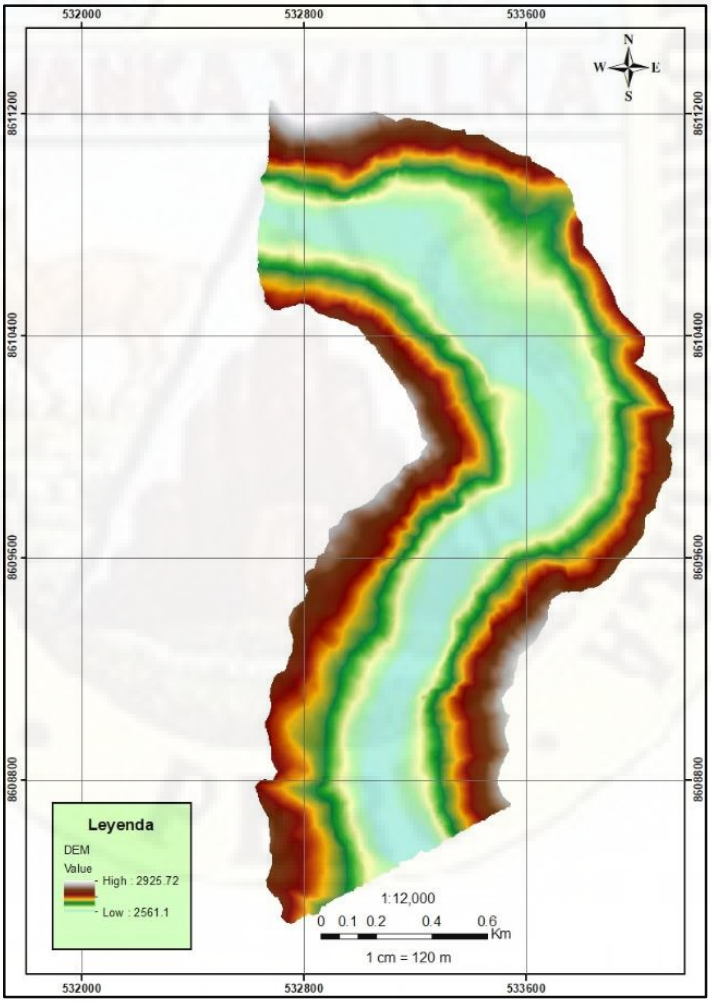
Nota. Modelamiento de toda la estructura del puente Ccota en 3D en el software AutoCAD 2020. Fuente: elaboración propia.

- ***Construcción del Modelo Digital de Elevación (DEM)***

Se tiene la construcción del modelo digital de elevación (DEM) en formato tif, de 1.5 km aguas arriba y 1.0 km aguas abajo de la superficie de estudio medidos desde el eje del puente Ccota río Mantaro para luego asignarlo las elevaciones en el formato ASCII a la superficie del modelo en Iber, la siguiente imagen muestra un modelo del (DEM).

Figura 47

Construcción del Modelo Digital de Elevación



Nota. Construcción del modelo digital de elevación en formato tif. del tramo del puente Ccota en el río Mantaro. Fuente: elaboración propia.

- ***Asignación de rugosidades***

Para calcular el coeficiente de Manning (n) del cauce principal, se realizó calicatas aguas arriba y aguas abajo en el tramo del puente Ccota, con la finalidad de obtener la composición granulométrico en el laboratorio de mecánica de suelos, teniendo los resultados de los diámetros efectivos d_{50}, d_{75} y d_{90} se estima el coeficiente de Manning para el cauce con los siguientes métodos:

- ***Método de ven T. Chow (1959)***

$$n = 0.04 d_{50}^{1/6}$$

- ***Método de Garde y Raju (1978)***

$$n = 0.047 d_{50}^{1/6}$$

- ***Método de Anderson, et. (1968)***

$$n = \frac{(39.3701 d_{90})^{1/6}}{44.4}$$

- ***Método de Simons, Li y Assoc. (1982)***

$$n = \frac{(39.3701 d_{75})^{1/6}}{39}$$

- ***Método de Peter y Muller (1982)***

$$n = 0.038 d_{90}^{1/6}$$

Para todos los métodos d_{50}, d_{75} y d_{90} las unidades están en metros (m).

Los resultados de todos los métodos calculados se hará una media aritmética, para luego asignarlo en el programa Iber.

Los diámetros efectivos d_{50}, d_{75} y d_{90} se obtienen a partir de la estimación numérica de la siguiente ecuación:

$$Dx = \frac{D_2 - D_1}{log\%2 - log\%1} * (log\%x - log\%1) + D_1$$

donde:

Dx= diámetro efectivo a calcular,

D_2 = abertura de malla inferior,

D_1 = abertura de malla superior,

$log\%2$= logaritmo de porcentaje pasante superior,

$log\%1$ = logaritmo de porcentaje pasante inferior,

$log\%x$ = logaritmo de porcentaje del diámetro efectivo a calcular.

Como resultado de la estimación numérica se tiene los siguientes diámetros efectivos: $d_{50} = 15.889\, mm, d_{75} = 28.816\, mm$ y $d_{90} = 30.084 mm$, en la siguiente tabla se muestra el coeficiente de Manning (n) estimados con los diferentes métodos

Tabla 19

Tabla de resultados de coeficiente de Manning(n)

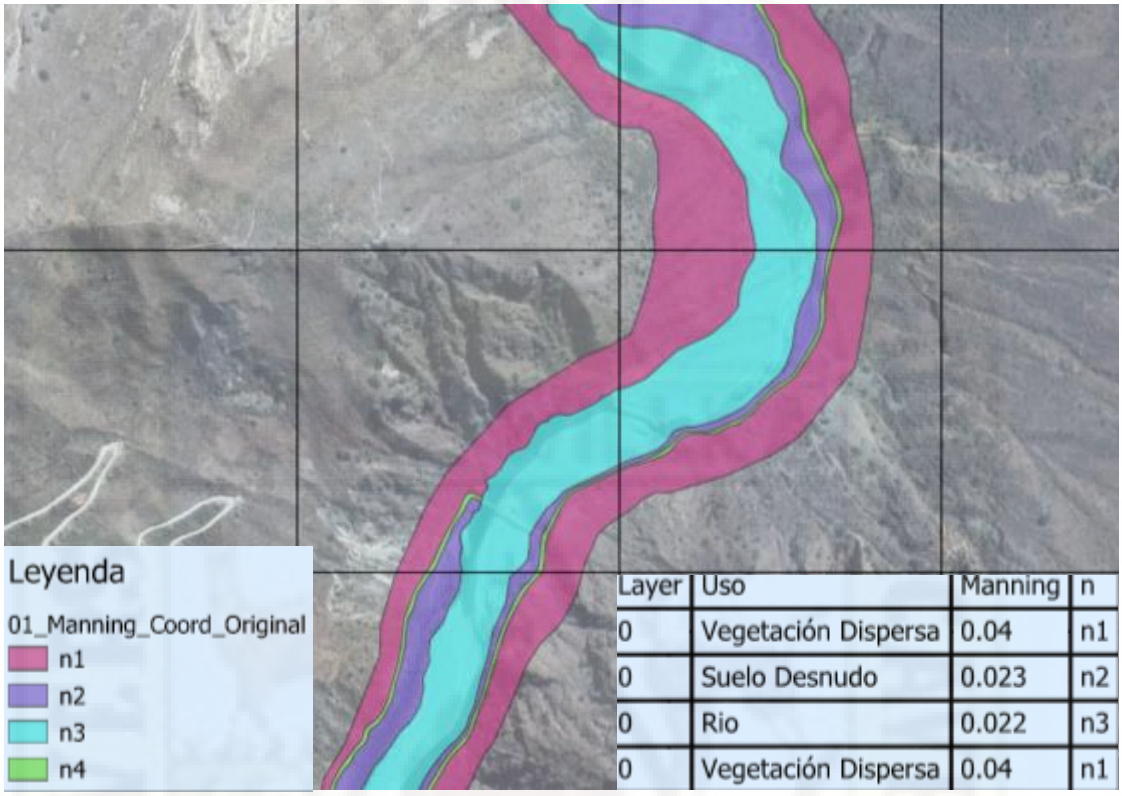
Ven T.	Garde y Raju	Anderson, et. Al	Simons	Peter y Muller	Promedio
0.0201	0.0236	0.0232	0.0262	0.0212	0.0228

Nota. Resultados de coeficiente de Manning (n) con diferentes métodos, el promedio es 0.0228 se utilizará para la simulación numérica de la tesis. Fuente: elaboración propia.

En promedio del coeficiente de Manning (n) es para el cauce principal del río desde la progresiva 0+000 hasta 0+2000. En la siguiente imagen se muestra diferentes coeficientes de Manning para distintos tipos de suelos como, vegetación dispersa, río y suelo desnudo, las rugosidades es asignado en el modelo digital de elevación

Figura 48

Mapa de coeficientes de Manning (n)



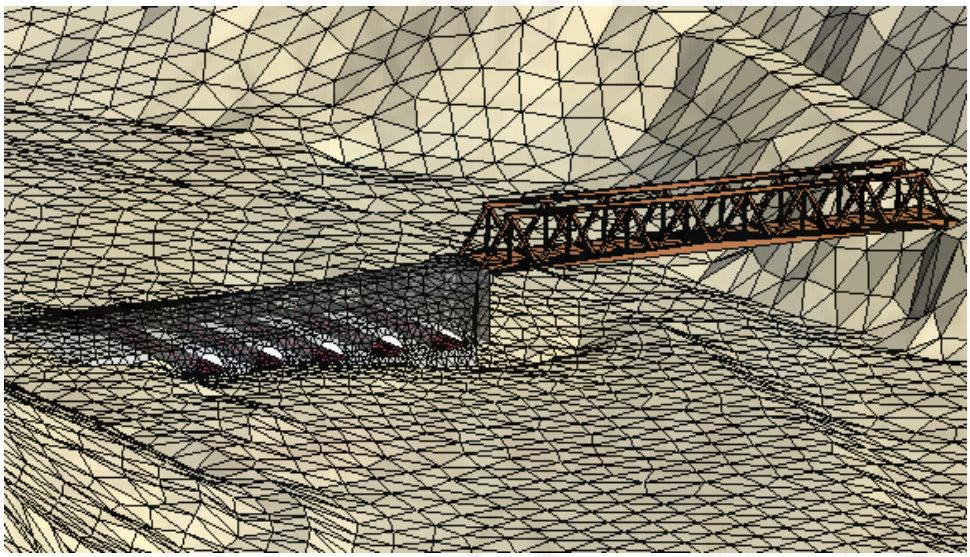
Nota. Mapa de coeficientes de Manning (n) para diferentes tipos de suelo que se asignara en el software Iber. Fuente: elaboración propia.

- ***Mallado de las superficies***

El mallado de las superficies es asignar la dimensión de la triangulación de la medida de cada lado del triángulo en la superficie del relieve topográfico, mientras el tamaño de malla es menor, la simulación del modelo es más precisa, pero el tiempo de procesamiento es mayor y requiere mayor capacidad computacional, a nuestro criterio de investigación, en la zona de influencia del puente y de la batería de alcantarillas el tamaño de malla es 2, a diferencia en el cauce de la superficie de río el tamaño de malla es 4, en las laderas es 5, el tipo de malla en cauces de un río natural es una malla no estructurada, una vez terminado en la siguientes figuras se muestran el tamaño de malla y la superficie.

Figura 49

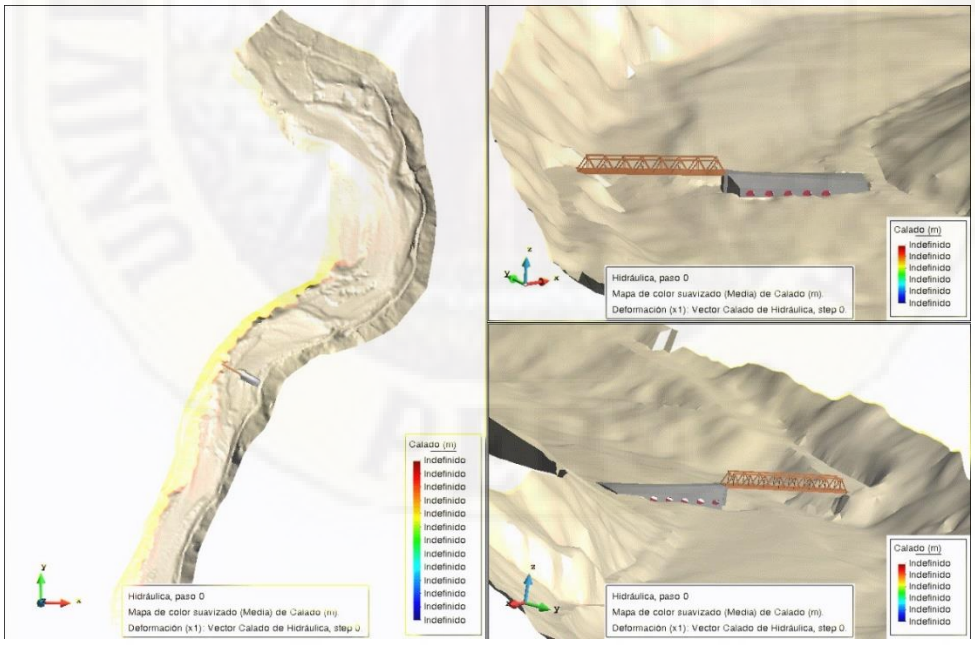
Tamaño de la malla en el cauce del río y en la estructura del puente



Nota. Mallado de las superficies en el puente Ccota. Fuente: elaboración propia.

Figura 50

Superficie del río Mantaro tramo del puente Ccota genera en el Iber



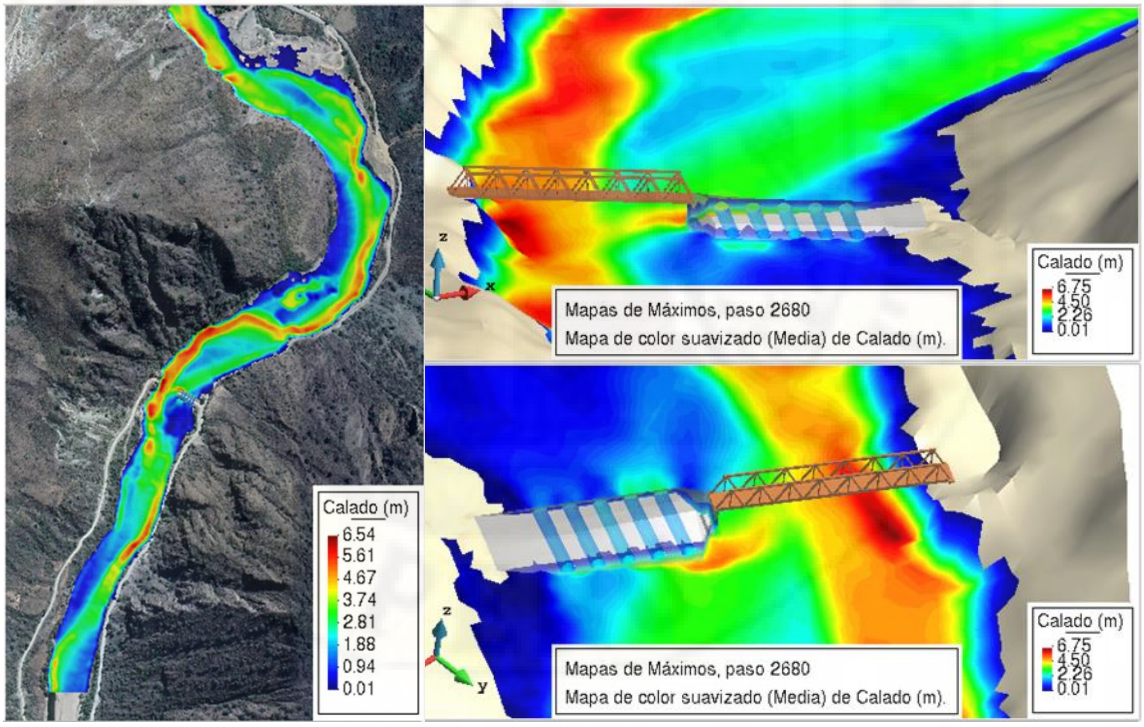
Nota. Superficies creadas después de asignar el tamaño de malla. Fuente: elaboración propia.

b) Resultados

En la simulación hidráulica del modelo numérico con el software Iber 2D en el postproceso, se muestran todos los resultados como la velocidad, calado, sedimentación, erosión y entre otros, en la siguiente (Figura 51) se muestra los resultados del modelamiento hidráulico de río Mantaro tramo puente Ccota con una trayectoria de 2.00 km aproximado, desde la progresiva 0+000 hasta 1+260 es aguas arriba del puente y desde 1+260 hasta 2+000 es aguas abajo del puente, la siguiente (Figura 51) muestra el paso de flujo en tramo del puente Ccota en el río Mantaro, el tipo de puente es Warren con cinco alcantarillas abovedadas.

Figura 51

Resultado de la simulación hidráulica del puente Ccota



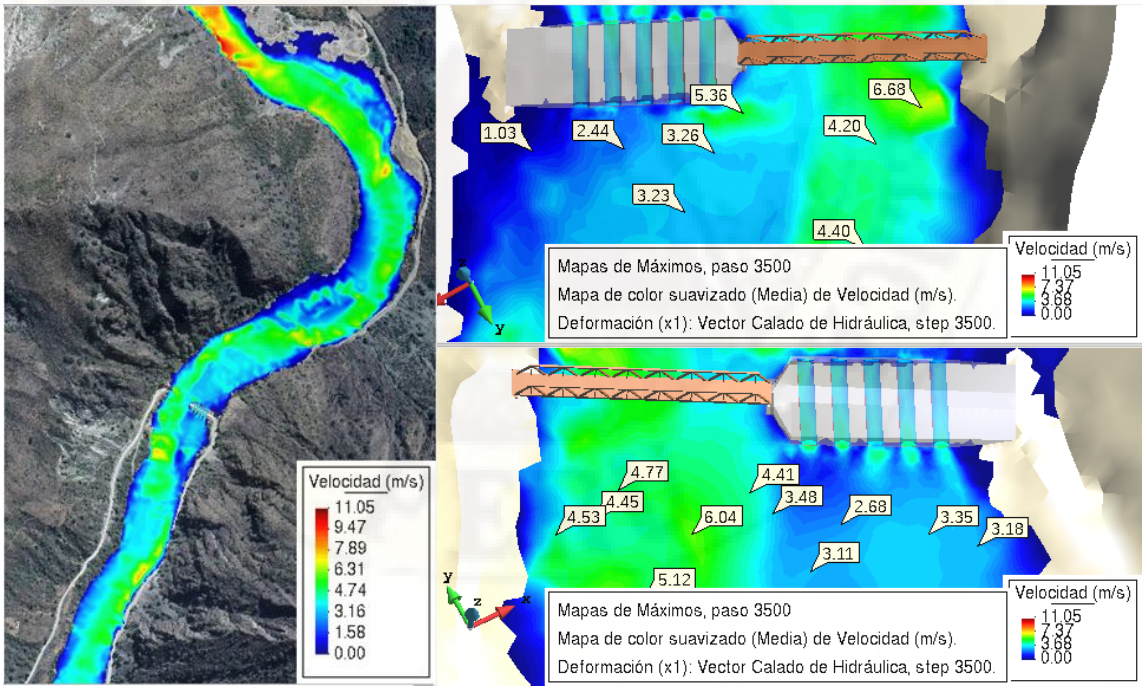
Nota. Vista en 3D y planta de la simulación hidráulica en el postproceso del software Iber del tramo de puente Ccota río Mantaro. Fuente: elaboración propia.

- ***Velocidades para un caudal de 900 m3/s con cinco alcantarillas en funcionamiento***

El valor estimado de las velocidades para un caudal de 900 m3/s con cinco alcantarillas en funcionamiento, en el tramo del puente Ccota del río Mantaro las velocidades medias en el área de influencia del puente son menores que 5.07 m/s y mayores que 0.24 m/s el promedio de las velocidades medias es 2.89 m/s aproximado, en la siguiente (Figura 52) se muestra que el tramo del puente Ccota del río Mantaro es cause meándrico en donde en la parte cóncava del cauce del meandro que es el margen derecho del río, donde las velocidades son mayores, en esta zona se encuentra el estribo derecho del puente Ccota, en la parte convexa del cauce del meandro que es el margen izquierdo del río, donde las velocidades son menores en esta zona, se encuentra el estribo izquierdo y la batería de alcantarillas del puente Ccota.

Figura 52

Velocidades para un caudal de 900 m3/s con cinco alcantarillas



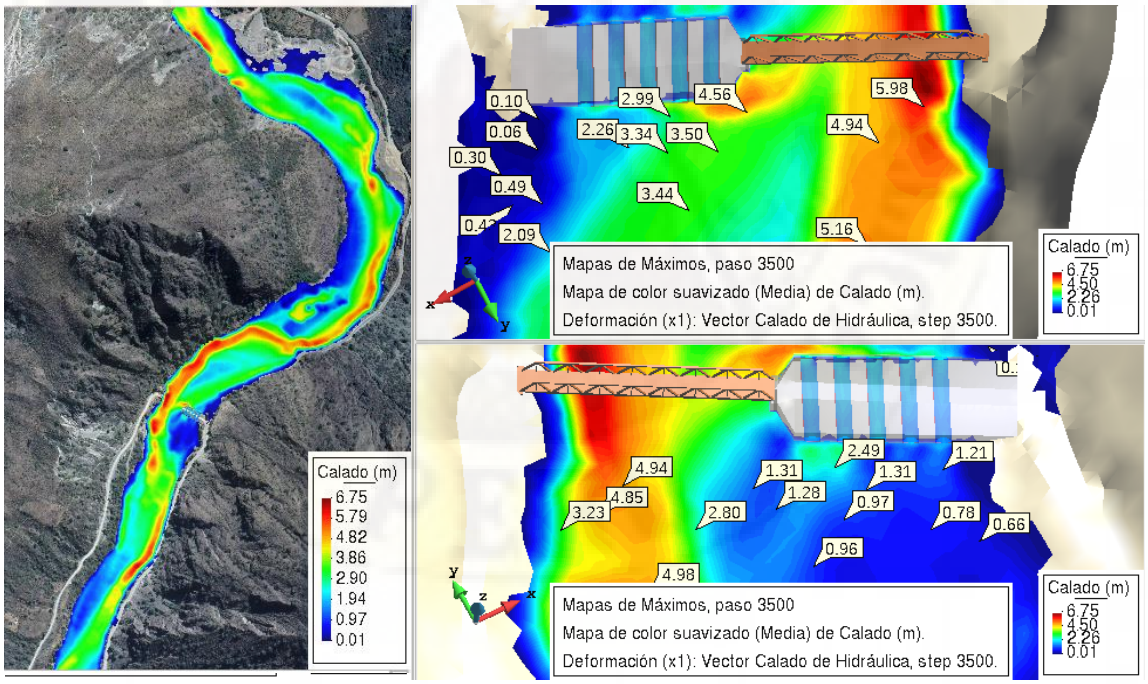
Nota. Vista en 3D y planta de la simulación hidráulica de las velocidades del tramo de puente Ccota río Mantaro. Fuente: elaboración propia.

- ***Caldos para un caudal de 900 m3/s con 5 alcantarillas en funcionamiento***

El calado es la tirante del flujo, el valor es estimado para un caudal de 900 m3/s con cinco alcantarillas en funcionamiento, en el tramo del puente Ccota del río Mantaro, las tirantes medias en el área de influencia del puente son menores que 5.17 m y mayores que 0.32 m, el promedio de las tirantes medias es 2.68 m, en la siguiente (Figura 53) se muestra que el tramo del puente Ccota del río Mantaro es cause meándrico, en donde en la parte cóncava del cauce del meandro que es el margen derecho del río donde las tirantes son mayores, en esta zona se encuentra el estribo derecho del puente Ccota, en la parte convexa del cauce del meandro que es el margen izquierdo del río, donde las tirantes son menores en esta zona, se encuentra el estribo izquierdo y la batería de alcantarillas del puente Ccota.

Figura 53

Caldos para un caudal de 900 m3/s con 5 alcantarillas



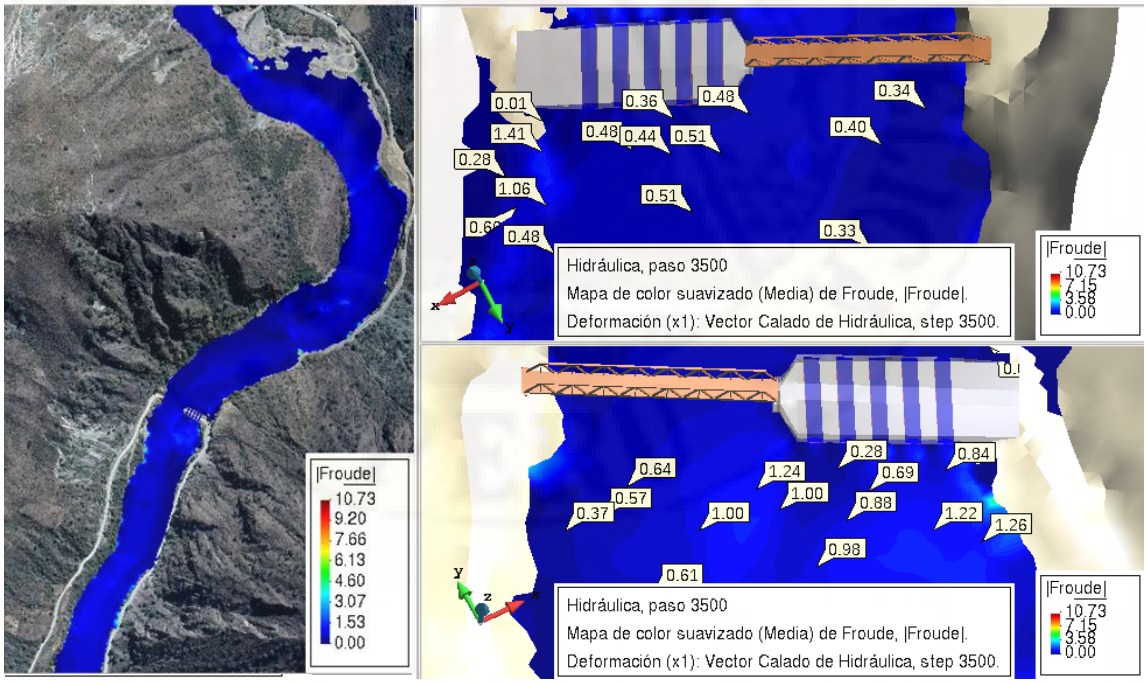
Nota. Vista en 3D y planta de la simulación hidráulica de los tirantes del tramo de puente Ccota río Mantaro. Fuente: elaboración propia.

- ***Número de froude para un caudal de 900 m3/s con 5 alcantarillas en funcionamiento***

El número de froude del flujo es estimado para un caudal de 900 m3/s con cinco alcantarillas en funcionamiento, en el tramo del puente Ccota del río Mantaro, el número de froude en el área de influencia del puente son menores que 1.41 y mayores que 0.00, en la siguiente (Figura 54) se muestra que el tramo del puente Ccota del río Mantaro es cause meándrico en donde en la parte cóncava del cauce del meandro que es el margen derecho del río, donde el régimen de flujo es supercrítico, en esta zona se encuentra el estribo derecho del puente Ccota, en la parte convexa del cauce del meandro que es el margen izquierdo del río, donde el estado de flujo es suscritico en esta zona se encuentra el estribo izquierdo y la batería de alcantarillas del puente, la parte del eje del río, el régimen del flujo es crítico.

Figura 54

Número de froude para un caudal de 900 m3/s con 5 alcantarillas



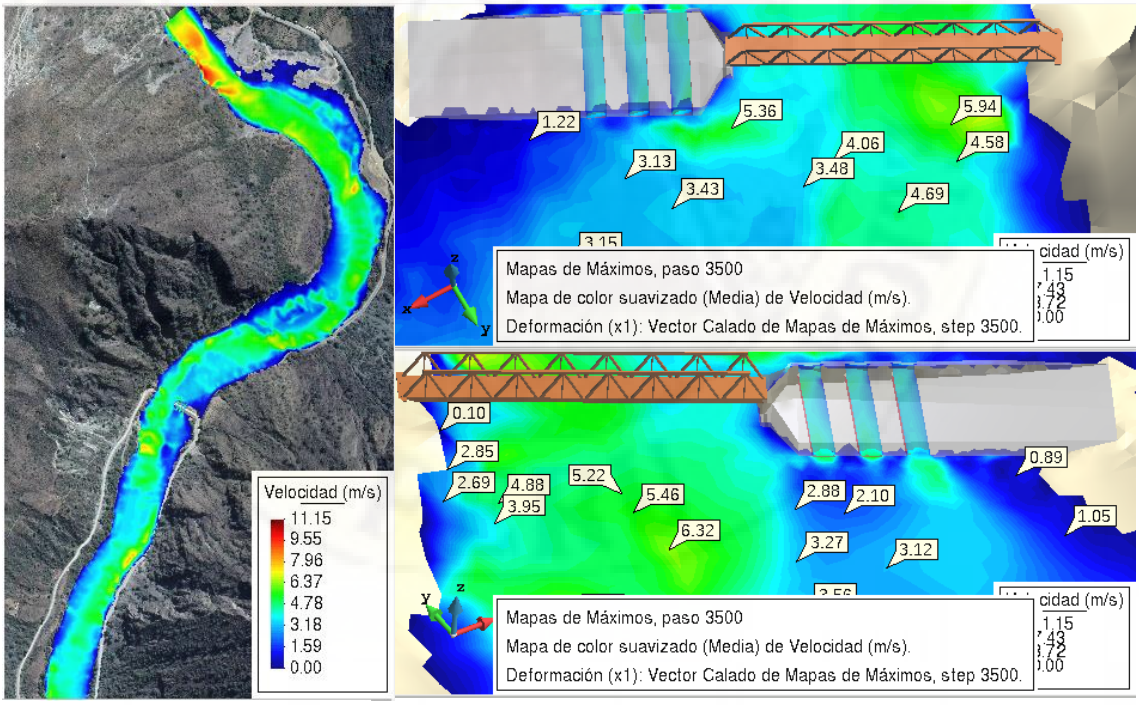
Nota. Vista en 3D y planta de la simulación a del número de froude. Fuente: elaboración propia.

- ***Velocidades para un caudal de 900 m3/s con 3 alcantarillas en funcionamiento***

El valor estimado de las velocidades para un caudal de 900 m3/s con tres alcantarillas en funcionamiento, en el tramo del puente Ccota del río Mantaro las velocidades medias en el área de influencia del puente son menores que 5.43 m/s y mayores que 0.23 m/s, el promedio de las velocidades medias es 2.84 m/s aproximado, en la siguiente (Figura 55) se muestra que el tramo del puente Ccota del río Mantaro es cause meándrico en donde en la parte cóncava del cauce del meandro que es el margen derecho del río donde las velocidades son mayores en esta zona, se encuentra el estribo derecho del puente Ccota, en la parte convexa del cauce del meandro que es el margen izquierdo del río donde las velocidades son menores en esta zona, se encuentra el estribo izquierdo y la batería de alcantarillas del puente Ccota.

Figura 55

Velocidades para un caudal de 900 m3/s con 3 alcantarillas



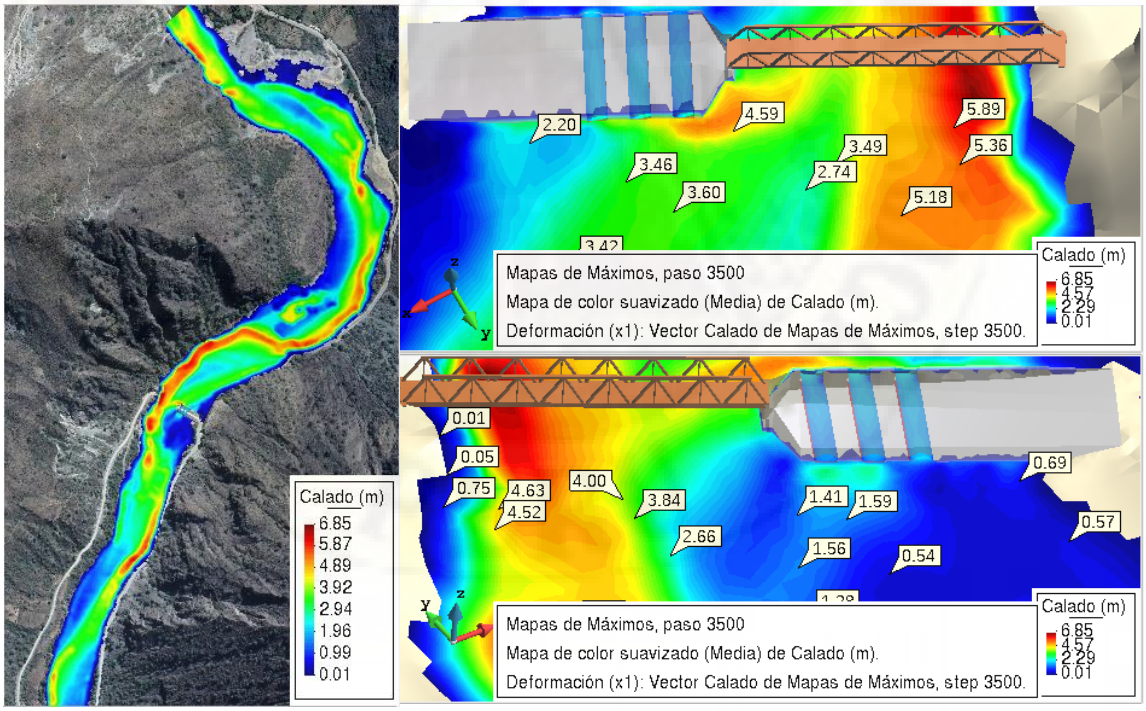
Nota. Vista en 3D y planta de la simulación hidráulica de las velocidades con 3 alcantarillas en funcionamiento del tramo de puente Ccota río Mantaro. Fuente: elaboración propia.

- ***Caldos para un caudal de 900 m3/s con 3 alcantarillas en funcionamiento***

El calado es la tirante del flujo, el valor es estimado para un caudal de 900 m3/s con tres alcantarillas en funcionamiento, en el tramo del puente Ccota del río Mantaro, las tirantes medias en el área de influencia del puente son menores que 5.30 m y mayores que 0.21 m, el promedio de las tirantes medias es 2.70 m, en la siguiente (Figura 56) se muestra que el tramo del puente Ccota del río Mantaro es un cause meándrico donde la parte cóncava del cauce del meandro que es el margen derecho del río, donde las tirantes son mayores, en esta zona se encuentra el estribo derecho del puente Ccota, en la parte convexa del cauce del meandro que es el margen izquierdo del río, donde las tirantes son menores, en esta zona se encuentra el estribo izquierdo y la batería de alcantarillas del puente Ccota.

Figura 56

Caldos para un caudal de 900 m3/s con 3 alcantarillas



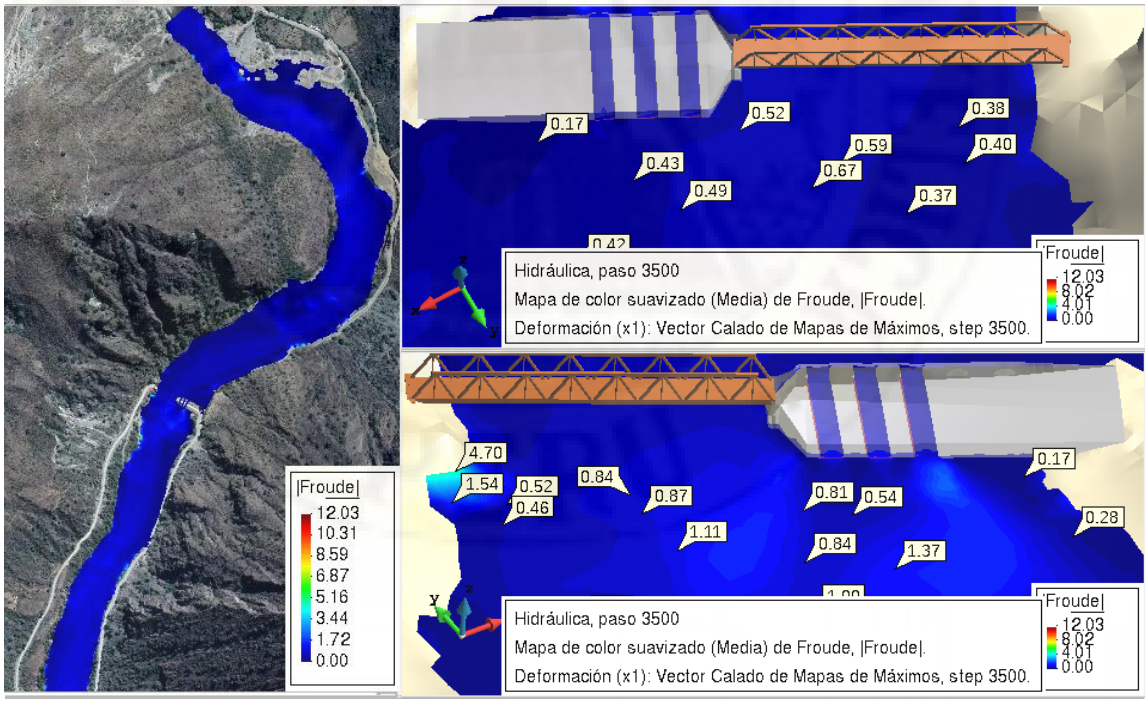
Nota. Vista en 3D y planta de la simulación hidráulica de los tirantes con 3 alcantarillas en funcionamiento del tramo de puente Ccota río Mantaro. Fuente: elaboración propia.

- ***Número de Froude para un caudal de 900 m3/s con 3 alcantarillas en funcionamiento***

El número de froude del flujo es estimado para un caudal de 900 m3/s con tres alcantarillas en funcionamiento, en el tramo del puente Ccota del río Mantaro el número de froude en el área de influencia del puente son menores que 5.54 aproximados y mayores que 0.00, en la siguiente (Figura 57) se muestra que el tramo del puente Ccota del río Mantaro es cause meándrico en donde en la parte cóncava del cauce del meandro que es el margen derecho del río, donde el régimen de flujo es supercrítico, en esta zona se encuentra el estribo derecho del puente Ccota, en la parte convexa del cauce del meandro que es el margen izquierda del río, donde el estado de flujo es subcrítico, en esta zona se encuentra el estribo izquierdo y la batería de alcantarillas del puente, en la parte del centro del eje del río, el número de froude es 1.00, por lo tanto, el régimen del flujo es crítico.

Figura 57

Número de Froude para un caudal de 900 m3/s con 3 alcantarillas



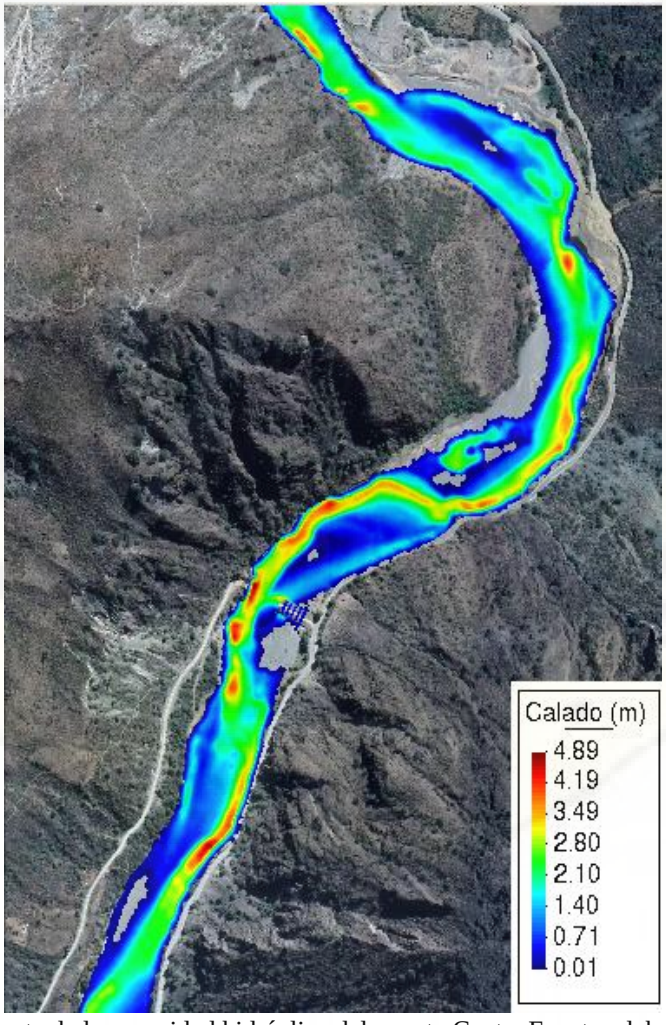
Nota. Vista en 3D y planta de la simulación del número de froude. Fuente: elaboración propia.

- ***Capacidad hidráulica del puente Ccota en el río Mantaro con un caudal de 300 m3/s***

La capacidad hidráulica del puente Ccota o llamado también capacidad de desfogue o desague, es un caudal de 300 m3/s aproximados con cinco alcantarillas en funcionamiento, como se muestra en la siguiente (Figura 58) para un caudal de 300 m3/s, no existe ninguna obstrucción o inundación del flujo en las estructuras del puente y la plataforma de Carretera Central sur Huancayo- Ayacucho, el paso del flujo es eficiente.

Figura 58

Capacidad hidráulica del puente Ccota



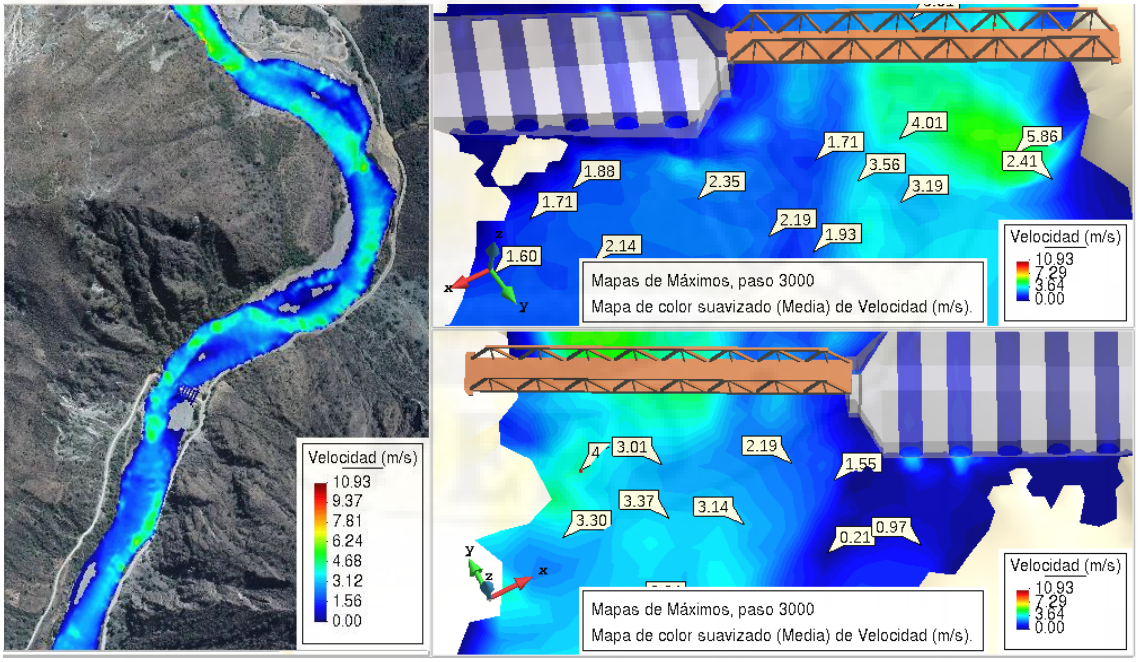
Nota. Vista en planta de la capacidad hidráulica del puente Ccota. Fuente: elaboración propia.

- ***Velocidad para una capacidad hidráulica de 300 m3/s con 5 alcantarillas en funcionamiento***

El valor estimado de las velocidades para un caudal de 300 m3/s con cinco alcantarillas en funcionamiento, en el tramo del puente Ccota del río Mantaro las velocidades medias en el área de influencia del puente son menores que 5.87 m/s y mayores que 0.20 m/s, el promedio de las velocidades medias es 2.99 m/s aproximados, en la siguiente (Figura 59) se muestra que el tramo del puente Ccota del río Mantaro es cause meándrico, en donde en la parte cóncava del cauce del meandro que es el margen derecho del río, donde las velocidades son mayores en esta zona, se encuentra el estribo derecho del puente Ccota, en la parte convexa del cauce del meandro que es el margen izquierdo del río, donde las velocidades son menores en esta zona, se encuentra el estribo izquierdo y la batería de alcantarillas del puente Ccota.

Figura 59

Velocidad para una capacidad hidráulica de 300 m3/s



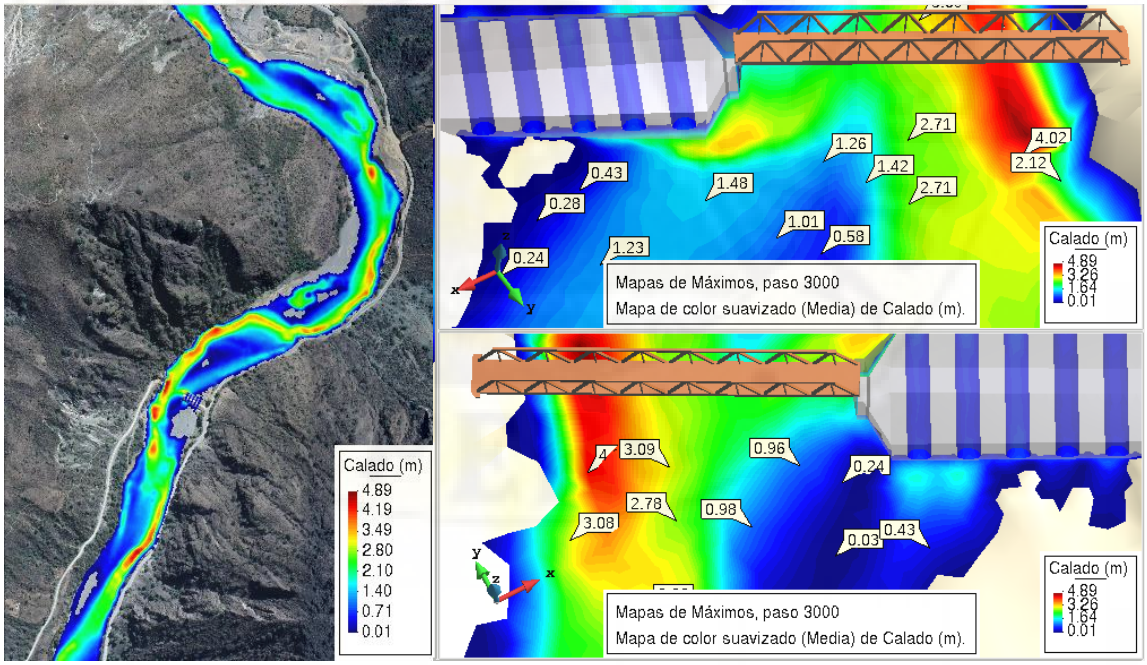
Nota. Vista en planta y 3D de las velocidades para un Q= 300 m3/s. Fuente: elaboración propia.

- ***Calado para una capacidad hidráulica de 300 m3/s con 5 alcantarillas en funcionamiento***

El calado es la tirante del flujo, el valor es estimado para un caudal de 300 m3/s con cinco alcantarillas en funcionamiento, en el tramo del puente Ccota del río Mantaro las tirantes medias en el área de influencia del puente son menores que 4.89 m y mayores que 0.01 m el promedio de las tirantes medias es 2.40 m, en la siguiente (Figura 60) se muestra que el tramo del puente Ccota del río Mantaro es cause meándrico en donde en la parte cóncava del cauce del meandro que es el margen derecho del río, donde las tirantes son mayores en esta zona, se encuentra el estribo derecho del puente Ccota, en la parte convexa del cauce del meandro que es el margen izquierdo del río, donde las tirantes son menores en esta zona, se encuentra el estribo izquierdo y la batería de alcantarillas del puente Ccota.

Figura 60

Calado para una capacidad hidráulica de 300 m3/s



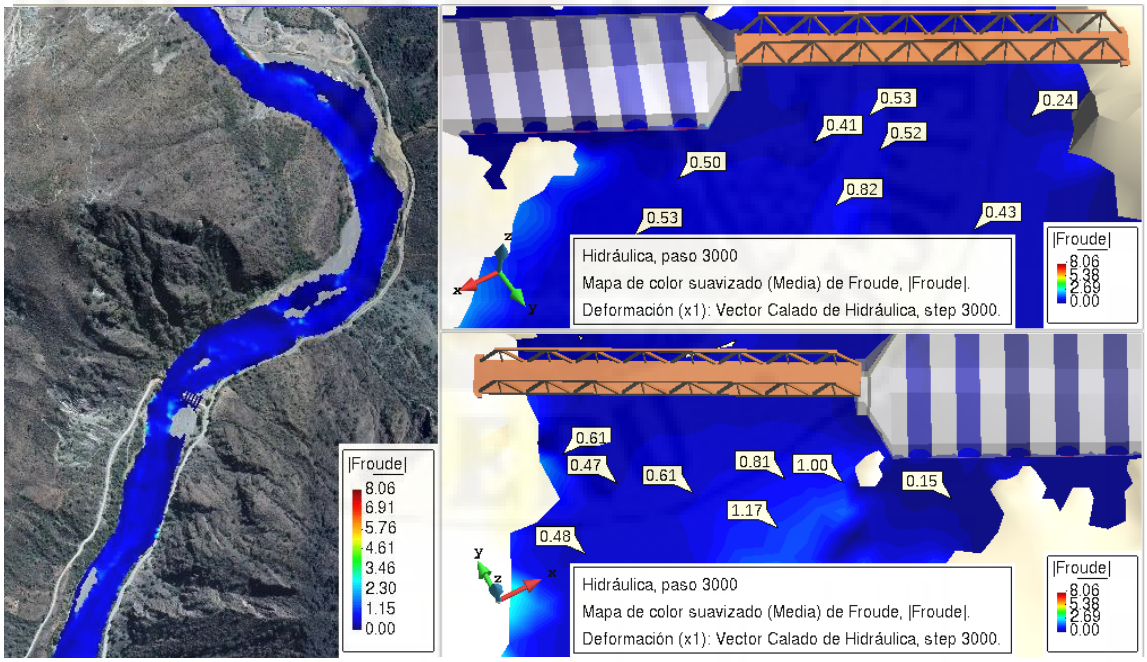
Nota. Vista en planta y 3D de los tirantes para un para un Q= 300 m3/s. Fuente: elaboración propia.

- ***Número de froude para una capacidad hidráulica de 300 m3/s con 5 alcantarillas en funcionamiento***

El número de froude del flujo es estimado para un caudal de 300 m3/s con cinco alcantarillas en funcionamiento, en el tramo del puente Ccota del río Mantaro el número de froude en el área de influencia del puente son menores que 2.54 aproximados y mayores que 0.01, en la siguiente figura se muestra que el tramo del puente Ccota del río Mantaro es un cause meándrico en donde en la parte cóncava del cauce del meandro que es el margen derecha del río donde el régimen de flujo es supercrítico, en esta zona se encuentra el estribo derecho del puente Ccota, en la parte convexa del cauce del meandro que es el margen izquierdo del río donde el estado de flujo es subcrítico, en esta zona se encuentra el estribo izquierdo y la batería de alcantarillas del puente, en la parte del centro del eje del río el número de froude se aproxima a 1.00 por lo tanto el régimen del flujo es crítico.

Figura 61

Número de froude para una capacidad hidráulica de 300 m3/s



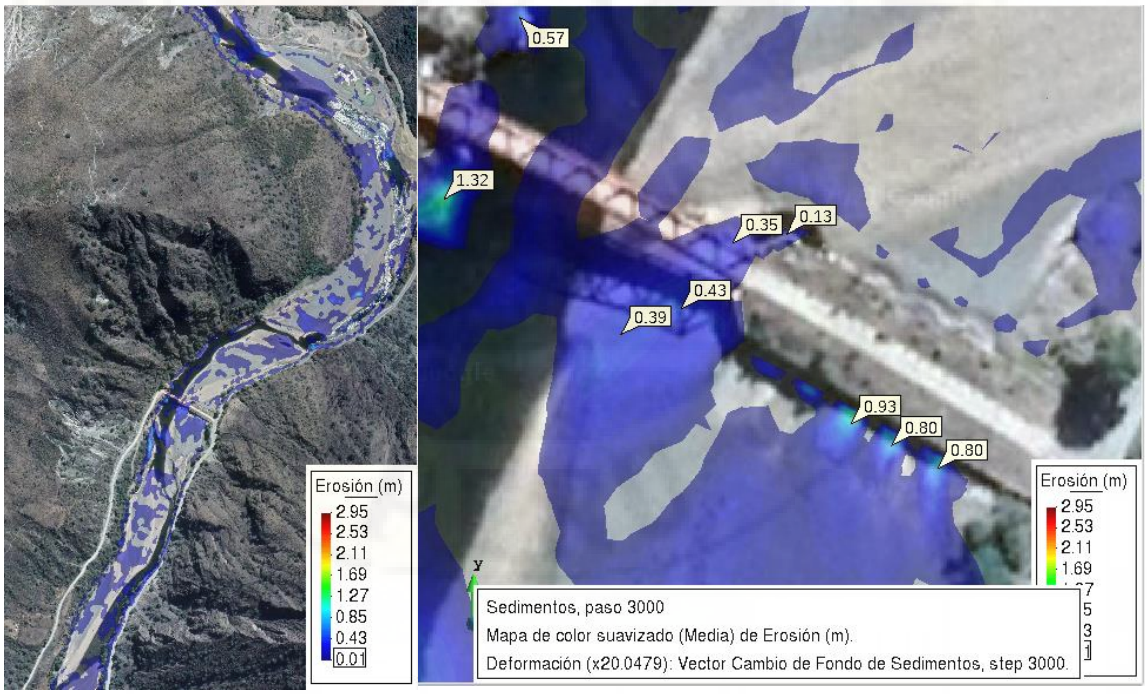
Nota. Vista en planta y 3D de número de froude para un Q= 300 m3/s. Fuente: elaboración propia.

- ***Erosión para un caudal de 900 m3/s con 5 alcantarillas en funcionamiento***

El valor estimado de las erosiones o llamado también socavación para un caudal de 900 m3/s con cinco alcantarillas en funcionamiento, en el tramo del puente Ccota del río Mantaro las erosiones en la área de influencia del puente son frecuentes en tiempos de avenidas, en la siguiente (Figura 62) se muestra que el tramo del puente Ccota del río Mantaro es un cause meándrico en donde en la parte cóncava del cauce del meandro que es el margen derecho del río donde las erosiones son mayores por altas velocidades que se dan este punto, en esta zona se encuentra el estribo derecho del puente Ccota, en la parte convexa del cauce del meandro que es el margen izquierdo del río donde las erosiones son despreciables por bajas velocidades, en esta zona se encuentra el estribo izquierdo y la batería de alcantarillas del puente Ccota.

Figura 62

Erosión para un caudal de 900 m3/s



Nota. Vista en planta de las erosiones para un caudal de 900 m3/s. Fuente: elaboración propia.

- ***Sedimentación para un caudal de 900 m3/s con 5 alcantarillas en funcionamiento***

El valores estimados para la sedimentación para un caudal de 900 m3/s con cinco alcantarillas en funcionamiento, en el tramo del puente Ccota del río Mantaro, la sedimentación en la área de influencia del puente son frecuentes en tiempos de avenidas, en la siguiente (Figura 63) se muestra que el tramo del puente Ccota del río Mantaro es un cause meándrico en donde en la parte cóncava del cauce del meandro que es el margen derecho del río donde la sedimentación es nula por altas velocidades que se dan este punto, en esta zona se encuentra el estribo derecho del puente Ccota, en la parte convexa del cauce del meandro que es el margen izquierdo del río, donde la sedimentación son altas por bajas velocidades que se dan en este punto, en esta zona se encuentra la batería de alcantarillas del puente que está sufriendo constantemente la sedimentación.

Figura 63

Sedimentación para un caudal de 900 m3/s

Nota. Vista en planta de la sedimentación para un caudal de 900 m3/s. Fuente: elaboración propia.

4.2. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la investigación para los siguientes cálculos muestran:

4.2.1. Análisis de velocidades para un caudal de 900 m3/s

Para un caudal máximo estimado de 900 m^3/s con tres y cinco alcantarillas en funcionamiento, obtenido en la simulación del programa Iber, las velocidades del flujo para tres y cinco alcantarillas en funcionamiento respectivamente se muestran en la siguiente tabla y gráfica.

Tabla 20

Tabla de velocidades para un caudal de 900 m3/s

Comparación de velocidades para un caudal de 900 m3/s		
Número de puntos análisis	Tres alcantarillas en funcionamiento	Cinco alcantarillas funcionamiento
1	0.73	1.00
2	2.04	2.19
3	2.62	2.84
4	2.85	3.01
5	3.04	3.11
6	3.06	3.07
7	2.45	2.44
8	1.73	1.74
9	1.31	1.27
10	2.65	2.59
11	3.30	3.25
12	3.13	3.12
13	2.75	2.86
14	2.34	2.62
15	1.64	2.45
16	0.23	0.24
17	0.46	1.57
18	1.98	2.24
19	2.54	2.39
20	3.21	2.99

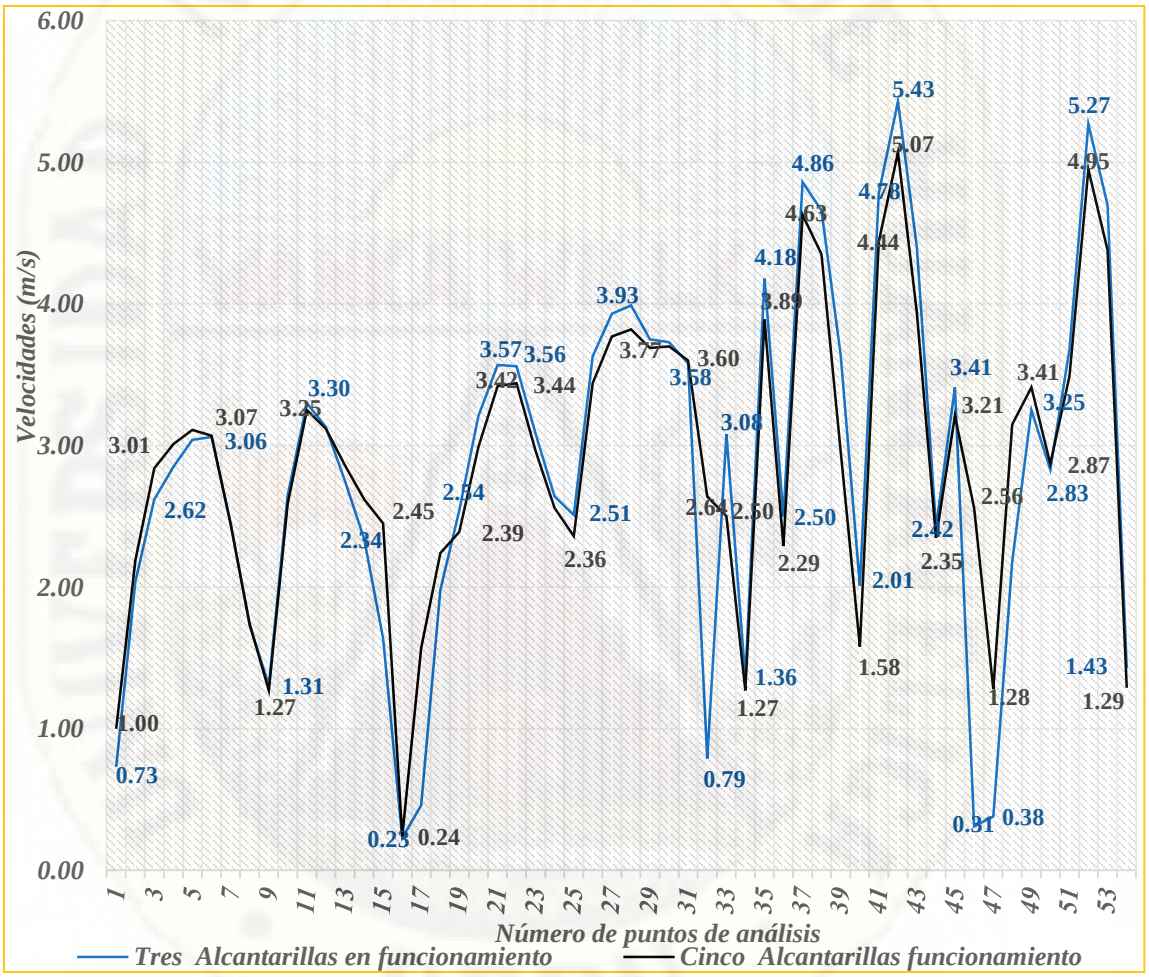
21	3.57	3.42
22	3.56	3.44
23	3.08	2.96
24	2.64	2.56
25	2.51	2.36
26	3.63	3.44
27	3.93	3.77
28	3.99	3.82
29	3.75	3.69
30	3.73	3.70
31	3.58	3.60
32	0.79	2.64
33	3.08	2.50
34	1.36	1.27
35	4.18	3.89
36	2.50	2.29
37	4.86	4.63
38	4.66	4.35
39	3.64	2.96
40	2.01	1.58
41	4.78	4.44
42	5.43	5.07
43	4.40	3.94
44	2.42	2.35
45	3.41	3.21
46	0.31	2.56
47	0.38	1.28
48	2.18	3.15
49	3.25	3.41
50	2.83	2.87
51	3.68	3.49
52	5.27	4.95
53	4.70	4.38
54	1.43	1.29

Nota. Tabla de velocidades para tres y cinco alcantarillas en funcionamiento para un caudal 900 m3/s. Fuente: elaboración propia.

La siguiente grafica muestra la diferencia de las velocidades cuando funciona las cinco alcantarillas y cuando se obstruye dos alcantarillas por la sedimentación por bajas velocidades que existen en ese punto y solo funciona tres alcantarillas.

Figura 64

Gráfica de comparación de velocidades para un caudal de 900 m3/s



Nota. Gráfica de velocidades para tres y cinco alcantarillas en funcionamiento para un caudal 900 m3/s. Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestra la diferencia de las velocidades para tres y cinco alcantarillas en funcionamiento, el análisis de velocidades se realiza en los puntos críticos en la parte cóncava del meandro que es el margen derecha del río Mantaro en donde se encuentra los estribos del puente Ccota, las velocidades en este punto para tres

alcantarillas en funcionamiento suben claramente, así como lo muestra en la siguiente tabla.

Tabla 21

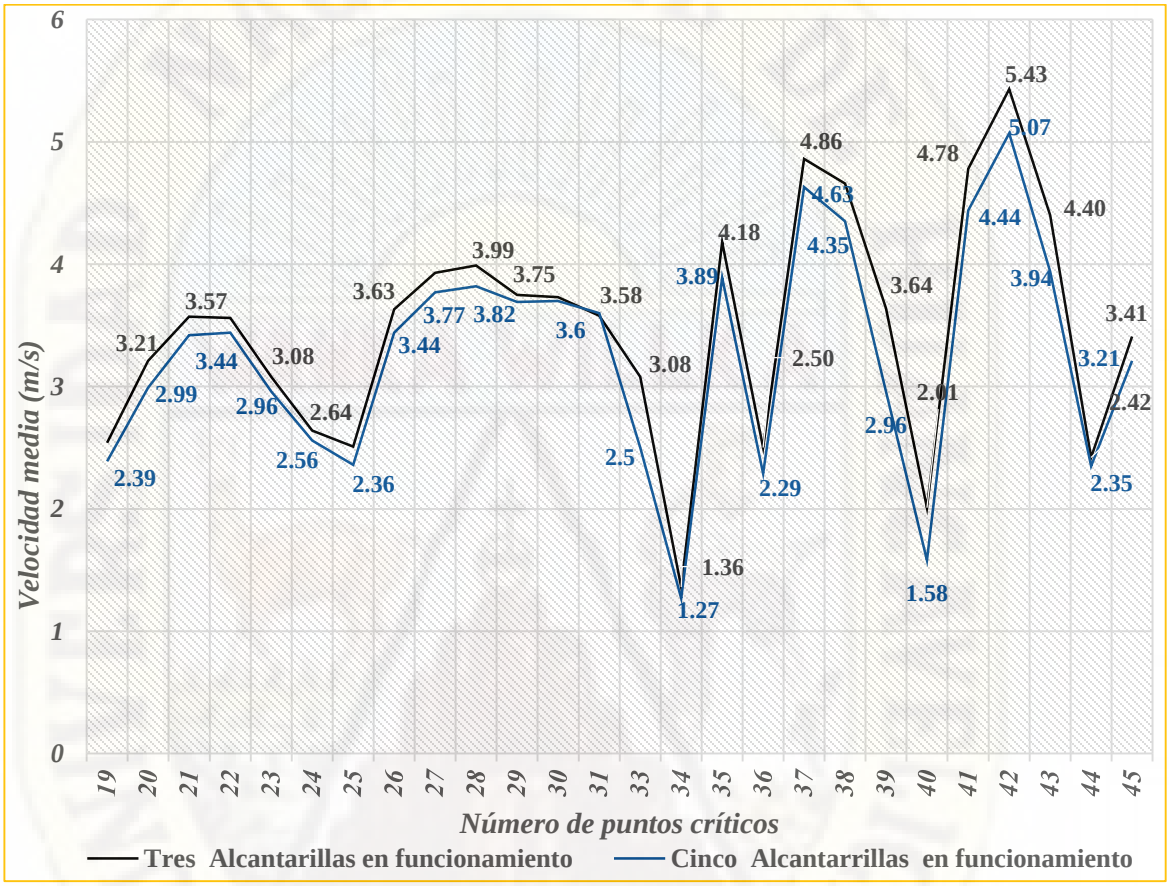
Velocidades críticas para un caudal de 900 m3/s

Comparación de velocidades críticas para un caudal de 900 m3/s		
Número de puntos críticos	Tres alcantarillas en funcionamiento	Cinco alcantarillas en funcionamiento
19	2.54	2.39
20	3.21	2.99
21	3.57	3.42
22	3.56	3.44
23	3.08	2.96
24	2.64	2.56
25	2.51	2.36
26	3.63	3.44
27	3.93	3.77
28	3.99	3.82
29	3.75	3.69
30	3.73	3.7
31	3.58	3.6
33	3.08	2.5
34	1.36	1.27
35	4.18	3.89
36	2.50	2.29
37	4.86	4.63
38	4.66	4.35
39	3.64	2.96
40	2.01	1.58
41	4.78	4.44
42	5.43	5.07
43	4.40	3.94
44	2.42	2.35
45	3.41	3.21

Nota. Tabla de velocidades críticas para tres y cinco alcantarillas en funcionamiento para un caudal 900 m3/s. Fuente: elaboración propia.

Figura 65

Gráfica de velocidades críticas para un caudal 900 m3/s



Nota. Gráfica de velocidades críticas para tres y cinco alcantarillas en funcionamiento para un caudal 900m3/s Gráfica. Fuente: elaboración propia.

El análisis de las velocidades cuando se obstruyen las alcantarillas en funcionamiento para un caudal máximo estimado de 900 m^3/s, obtenido en la simulación del programa Iber con un tiempo de duración de 3000 segundos, las velocidades medias aproximados del flujo en la batería de alcantarillas disminuyen, las velocidades medias aproximados del flujo en los estribos aumentan progresivamente, se podría decir que en la parte cóncava del meandro las velocidades aumentan y en la parte convexa del meandro las velocidades disminuyen.

4.2.2. Análisis de calados para un caudal de 900 m3/s

Para un caudal máximo estimado de 900 m^3/s con tres y cinco alcantarillas en funcionamiento, obtenido en la simulación del programa Iber, los caldos o las tirantes del flujo para tres y cinco alcantarillas en funcionamiento respectivamente se muestran en la siguiente tabla y gráfica.

Tabla 22

Tabla de calados para un caudal de 900 m3/s

Comparación de calados para un caudal de 900 m3/s		
Número de puntos análisis	Tres alcantarillas en funcionamiento	Cinco alcantarillas en funcionamiento
1	0.51	0.38
2	2.53	2.34
3	3.47	3.29
4	3.48	3.32
5	2.88	2.74
6	2.78	2.65
7	5.30	5.17
8	4.15	4.02
9	5.04	4.92
10	5.18	5.06
11	2.75	2.65
12	3.35	3.23
13	3.58	3.43
14	3.15	2.95
15	1.69	1.39
16	0.42	0.32
17	2.24	1.95
18	2.11	1.94
19	3.48	3.41
20	4.70	4.74
21	3.46	3.40
22	3.13	3.06
23	4.88	4.78
24	3.84	3.73

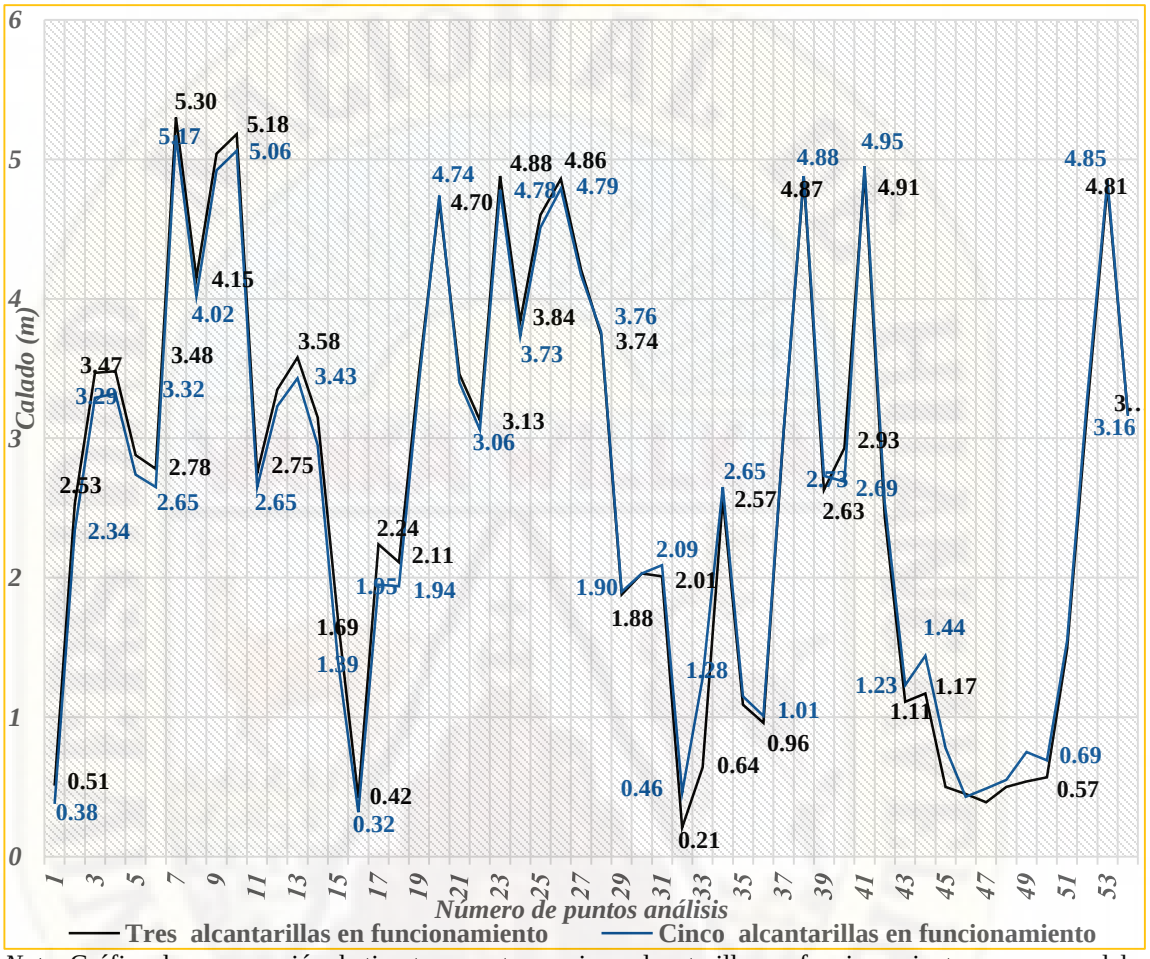
25	4.60	4.51
26	4.86	4.79
27	4.21	4.17
28	3.74	3.76
29	1.88	1.90
30	2.03	2.03
31	2.01	2.09
32	0.21	0.46
33	0.64	1.28
34	2.57	2.65
35	1.09	1.15
36	0.96	1.01
37	3.04	3.05
38	4.87	4.88
39	2.63	2.73
40	2.93	2.69
41	4.91	4.95
42	2.44	2.54
43	1.11	1.23
44	1.17	1.44
45	0.50	0.78
46	0.45	0.43
47	0.39	0.49
48	0.50	0.55
49	0.54	0.75
50	0.57	0.69
51	1.49	1.55
52	3.21	3.30
53	4.81	4.85
54	3.17	3.16

Nota. Tabla de calados para tres y cinco alcantarillas en funcionamiento para un caudal 900 m3/s. Fuente: elaboración propia.

La siguiente grafica muestra la diferencia de los caldos cuando funciona las cinco alcantarillas y cuando se obstruye dos alcantarillas por la sedimentación por bajas velocidades que existen en ese punto y solo funciona tres alcantarillas.

Figura 66

Gráfica de comparación de calados para un caudal 900 m3/s



Nota. Gráfica de comparación de tirantes para tres y cinco alcantarillas en funcionamiento para un caudal 900 m3/s. Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestra la diferencia de los tirantes para tres y cinco alcantarillas en funcionamiento, el análisis de los tirantes o caldos se realiza en los puntos críticos aguas arriba de la batería de alcantarillas del puente Ccota, en la parte convexa del meandro que es el margen izquierdo del río Mantaro en donde se forma un remanso hidráulico y que este fenómeno genera inundaciones en la plataforma de la Carretera Central sur Huancayo- Ayacucho, los tirantes aguas arriba de la batería de alcantarillas

cuando solo funcionan tres alcantarillas suben claramente, así como lo muestra en la siguiente tabla y figura.

Tabla 23

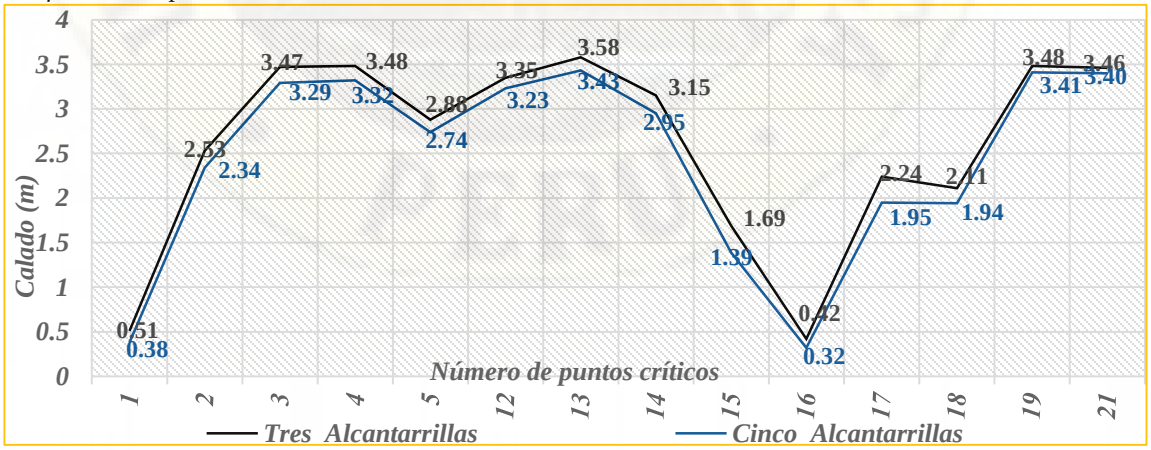
Tabla de comparación de calados críticos para un caudal de 900 m3/s

Comparación de calados críticos para un caudal de 900 m3/s		
Número de puntos críticos	Tres alcantarillas en funcionamiento	Cinco alcantarillas en funcionamiento
1	0.51	0.38
2	2.53	2.34
3	3.47	3.29
4	3.48	3.32
5	2.88	2.74
12	3.35	3.23
13	3.58	3.43
14	3.15	2.95
15	1.69	1.39
16	0.42	0.32
17	2.24	1.95
18	2.11	1.94
19	3.48	3.41
21	3.46	3.40

Nota. Tabla de tirantes críticas para un caudal 900 m3/s. Fuente: elaboración propia.

Figura 67

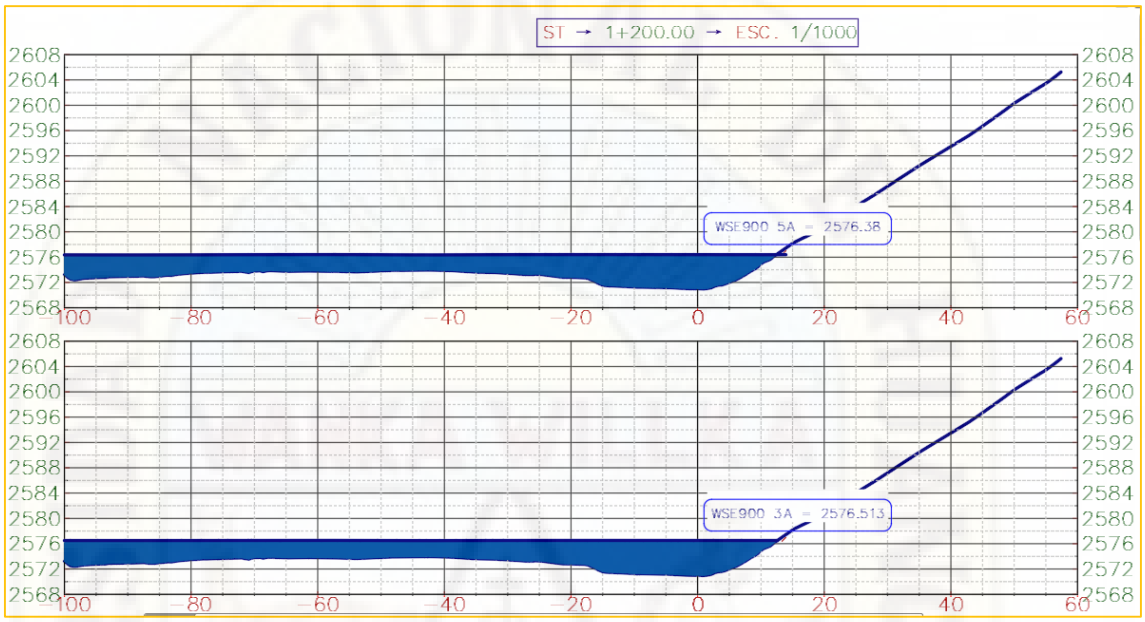
Gráfica de comparación de calados críticos



Nota. Gráfica de tirantes críticas para un caudal 900 m3/s. Fuente: elaboración propia.

Figura 68

Sección transversal Prog. 1+200



Nota. Sección de tirantes progresiva 1+200 para un caudal 900 m3/s. Fuente: elaboración propia.

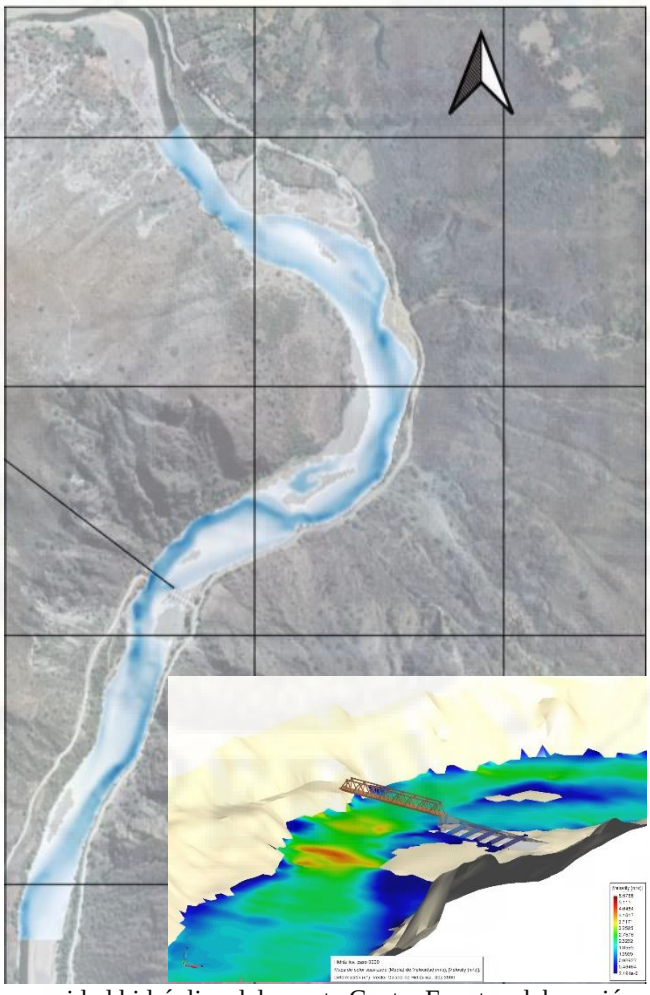
El análisis de las tirantes cuando se obstruyen las alcantarillas en funcionamiento para un caudal máximo estimado de 900 m^3/s, obtenido en la simulación del programa Iber con un tiempo de duración de 3000 segundos, los tirantes del flujo aguas arriba de la batería de alcantarillas aumentan, la progresiva 1+200 que se encuentra aguas arriba del puente es la sección crítica que sufre cada año desbordamiento hacia la plataforma de la carretera, se puede apreciar en la (Figura 68) que la cota de la tirante para cinco alcantarillas en funcionamiento es 2576.380 y la cota de la tirante para tres alcantarillas en funcionamiento es 2576.513, se puede apreciar claramente que la obstrucción de los sedimentos en la batería de alcantarillas del puente genera una especie de remansó hidráulico y hace que las tirantes suben aguas arriba de la batería de alcantarillas, la subida de estos tirantes ya generan inundaciones de la plataforma de la Carretera Central sur Huancayo- Ayacucho.

4.2.3. Análisis de la capacidad hidráulica del puente Ccota

Para estimar la capacidad hidráulica del puente Ccota o llamado también capacidad de desfogue o desague se tuvo que simular con diferentes caudales tomando diferentes criterios, la cual fue estima un caudal 300 m3/s aproximados con 5 alcantarillas en funcionamiento, como se muestra en la siguiente figura no existe ninguna obstrucción o inundación del flujo en las estructuras del puente y la plataforma de carretera.

Figura 69

Análisis de la capacidad hidráulica del puente Ccota



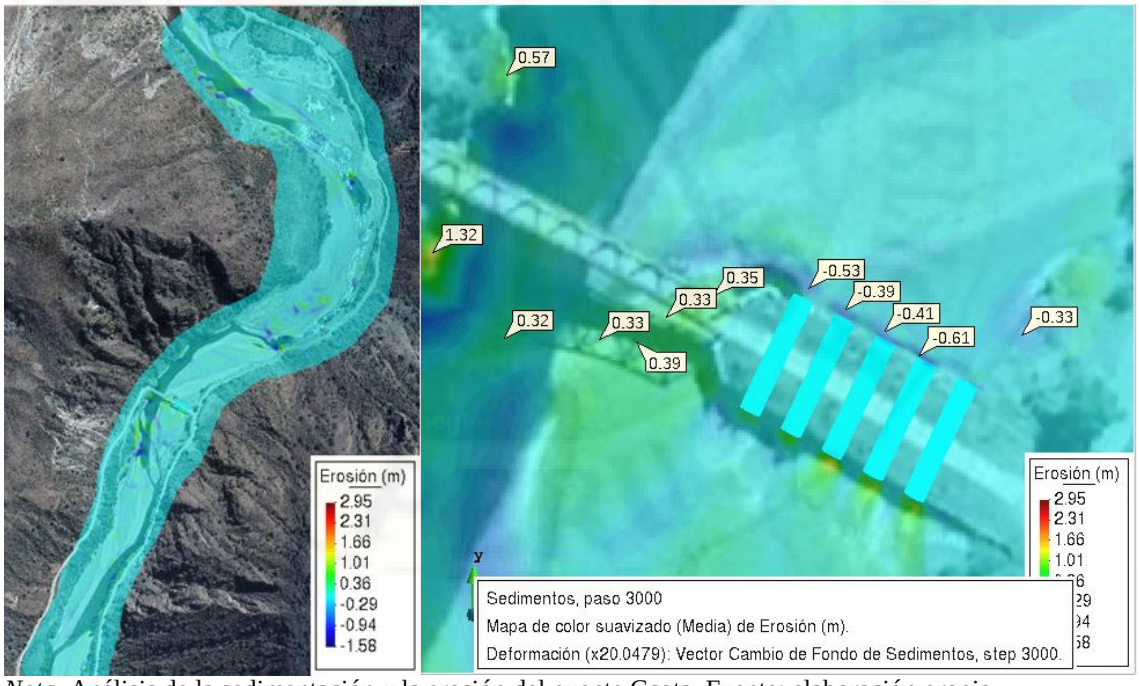
Nota. Estimación de la capacidad hidráulica del puente Ccota. Fuente: elaboración propia.

4.2.4. Análisis de sedimentación y la erosión para un caudal 900 m3/s

El análisis de la sedimentación y la erosión se estimó con caudal de 900 m3/s con cinco alcantarillas en funcionamiento, en el tramo del puente Ccota del río Mantaro. La sedimentación y la erosión son fenómenos frecuentes que se dan en tiempos de avenidas. En la siguiente (Figura 70) se muestra que el tramo del puente Ccota del río Mantaro es cause meándrico, en la parte cóncava del cauce del meandro que es el margen derecho del río, sucede la erosión por altas velocidades que se dan este punto, en esta zona se encuentra el estribo derecho del puente Ccota, en la parte convexa del cauce del meandro que es el margen izquierdo del río sucede la sedimentación por bajas velocidades que se dan en este punto, en esta zona se encuentra la batería de alcantarillas del puente que está sufriendo constantemente la sedimentación.

Figura 70

Análisis de la sedimentación y la erosión



Nota. Análisis de la sedimentación y la erosión del puente Ccota. Fuente: elaboración propia.

Tabla 24

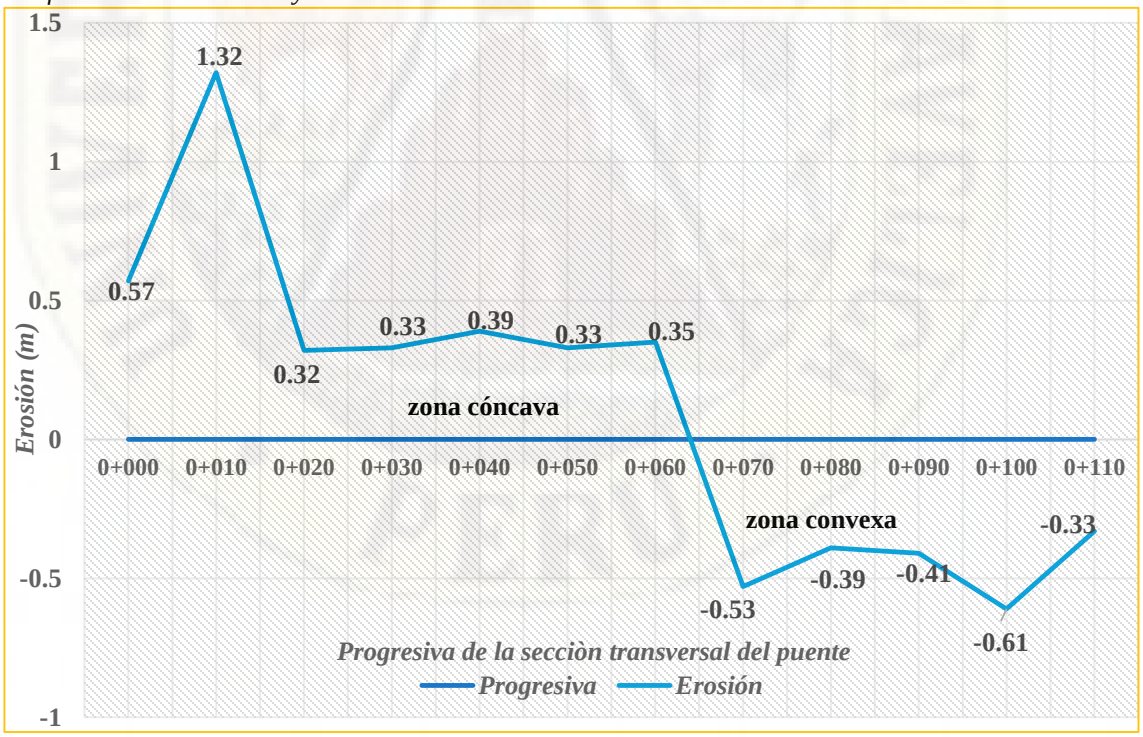
Tabla de erosión y sedimentación

Nº de puntos	Progresiva	Erosión
1	0+000	0.57
2	0+010	1.32
3	0+020	0.32
4	0+030	0.33
5	0+040	0.39
6	0+050	0.33
7	0+060	0.35
8	0+070	-0.53
9	0+080	-0.39
10	0+090	-0.41
11	0+100	-0.61
12	0+110	-0.33

Nota. Puntos de análisis en la sección transversal del puente. Fuente: elaboración propia.

Figura 71

Gráfica de sedimentación y erosión



Nota. La erosión se da en los estribos zona cóncava y la sedimentación en la batería de alcantarillas zona convexa del meandro del río Mantaro tramo puente Ccota. Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

- De acuerdo el objetivo general planteado, el estudio logró describir la influencia del depósito de sedimento en la capacidad hidráulica del puente Ccota en el río Mantaro, puesto que, en el Modelamiento Hidráulico para un caudal de 900 m3/s con 5 alcantarillas en la zona convexa del cauce, se ha descrito la sedimentación en la batería alcantarillas que reduce considerablemente la capacidad hidráulica del puente, por lo tanto, el caudal evaluado para la capacidad hidráulica del puente Ccota hasta el año 2021 es 300 m3/s aproximados, con este caudal el puente funciona eficientemente.
- Dentro del análisis del modelamiento numérico para un caudal de 900 m3/s, podemos describir que el depósito de sedimentos en la batería de alcantarillas genera la sobreelevación del flujo que origina el remanso hidráulico hasta 20 ml, este remanso se forma en la parte convexa del cauce meándrico margen izquierdo del río Mantaro.
- En virtud de lo estudiado, en la simulación hidráulica para un caudal de 900 m3/s, la sedimentación en la batería de alcantarillas genera la variación de los tirantes aguas arriba del puente, para describir esta variación de calados se realizó una simulación obstruyendo 2 alcantarillas, como resultado se obtuvo una variación de tirantes hasta 0.4 m aguas arriba de la batería de alcantarillas del puente margen izquierdo del río.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en la Modelación Hidráulica, en la zona convexa del cauce, el depósito de los sólidos en la batería de alcantarillas altera las velocidades del flujo de la zona cóncava, en donde, las velocidades medias son mayores a 5 m/s.
- Según la MH, el depósito de sedimentos en las alcantarillas en la zona convexa genera la erosión en la zona cóncava del cauce, en donde, se encuentra los estribos del puente.
- La acumulación de los sólidos en las alcantarillas reduce la capacidad hidráulica del puente, esta acumulación de los sólidos se da con mayor magnitud en la parte más convexa del cauce, donde están ubicados las cinco alcantarillas en funcionamiento.
- La capacidad hidráulica del puente disminuye notablemente, cuando la acumulación de los sólidos en la batería de alcantarillas solo deja en funcionamiento a tres de ellos.

Recomendaciones

- El levantamiento topográfico de un río es recomendable realizar en tiempos de estiaje para su mejor visualización y precisión del relieve topográfico del cauce.
- Para la simulación hidráulica de ríos se recomienda contar con un equipo de buena capacidad computacional, para optimizar el tiempo de la simulación hidráulica.
- Se recomienda descolmar el depósito de sedimentos de la batería de alcantarillas del puente Ccota para la salida del flujo eficiente y de esta manera no perjudicar la capacidad hidráulica del puente y la tansitabilidad de la carretera Central Sur.
- Las entidades públicas y la escuela profesional de ingeniería Civil – Huancavelica deberían implementar sistemas de medición de sedimentos, equipos computacionales de alta gama, equipos de alta tecnología como el véctrino para la mediación de velocidades en 3 direcciones cuando los ríos muestran un caudal máximo, para que de esta manera se vaya generando un registro datos, y tomar en cuenta para el diseño de diferentes obras hidráulicas y en las futuras investigaciones.

Referencias bibliográficas

Acosta, L. A., & Bendezu, D. A. (2019). Determinación del caudal máximo transcurrido producto del embalsamiento natural del río Mantaro en la localidad de Huayllapampa-cuenca. *(Tesis de pregrado).* Universidad nacional de Huancavelicca, Huancavelica, Perú.

Arias, F. (1999). *El proyecto de investigación.* Caracas, Venezuela: Episteme.

Arias, F. (2012). *Introducción a la metodología de la investigación* (sexta ed.). Venezuela : Episteme, C.A.

Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Reglamento de medición de agua en los sitemas hidráulicos comunes ubicados en el ámbito de las adminastraciones locales del agua.* Perú: Diario oficial el peruano.

Basile, P. A. (2018). *Transporte de sedimentos y Morfodinámica de ríos aluviales* (Primera ed.). Rosario, Argentina: UNR EDITORA.

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puetas, J., Vázquez Cendón, E., . . . Coll, A. (2012). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Elsevier España*.

Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros.* Chiclayo, Perú.

Castillo, G., & Chavez, M. (2019). Estudio de la pérdida de la capacidad hidráulica del río Chicama en el Galaxia. *(Tesis de pregrado).* Univerdidad privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

Chavez, J., & Cipiran, A. (2019). Influencia del puente Chuquillanqui y terraplén de acceso en la sedimentación del río Chuquillanqui, tramo puente Chuquillanqui. *(Tesis pregrado).* Universidad privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

Gobierno Regional de Huancavelica. (2010). *Construcción puente Ccota- Añancusi.* Huancavelica.

Guevara, M. E. (2016). *Socavación en puentes* (1era. ed.). Bogotá, Colombia: Universidad de Cauca.

Jimenez, N. M., Magaña, A. O., & Soriano, E. (2019). Análisis comparativo entre levantamientos topográficos con estación total como método directo y el uso de drones y GPS como métodos indirectos. *(Tesis pregrado).* Universidad de el Salvador, El Salvador.

La topografía del fondo marino cerca de la Fosa de Puerto Rico. (23 de Noviembre de 2006). Recuperado el 28 de Junio de 2021, de https://es.wikipedia.org/wiki/Batimetr%C3%ADa#/media/Archivo:Atlantic-trench.JPG

Marco, F., Martin, M., & Castillo, L. (2015). Estimación numérica de la capacidad hidráulica de puentes como elementos de control en la Rambla del Albujón. *Anuario de Jóvenes Investigadores,* 87-89.

Martín, J. P. (2003). *Ingeneria de ríos.* Barcelona, España: Edicions UPC, S.L.

Meandros activos y abandonados en un río de elevada sinuosidad de la península de Yamal (Rusia). (1 de Junio de 2006). Recuperado el 28 de junio de 2021, de https://es.wikipedia.org/wiki/Meandro#/media/Archivo:Oxbow_lake,Yamal_Peninsula,Russia.JPG

Ochoa, T. (2011). *Hidráulica de ríos y proceso morfológicos* (1era. ed.). Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.

Paredes, F. J. (Noviembre de 2012). Fundamentos sobre la capacidad de transporte de sedimentos en cauces aluviales y el fenómeno de socavaciön en puentes. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/315305753

Pérez, R. (2017). Influencia del depósito de sedimento en el comportamiento de una batería de compuertas. *(Tesis de maestría).* Universidad nacional autónoma de México, Pedregal de San Ángel, México.

Ramirez, R. M. (2021). *Transporte de sedimentos con python* (Primera ed.). Huancavelica, Perú.

Rocha, A. (1998). *Intruducion a la hidraulica fluvial.* Lima, Perù: Universidad nacional de Ingenieria.

Salmerón, D. (2017). Simulación física y numérica del depósito de sedimentos a la entrada de un embalse. *(Tesis de pregrado).* Universidad nacional autónoma de México, Pedregal de San Ángel, México.

Sánchez, H., & Reyes, C. (2006). *Metodología y diseño en la investigación científica.* Lima, Per,u: Visión Universitaria.

Zambrano, J. (2015). Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG. *(Tesis Doctoral).* Universidad pólitecnica de Catalunya, Barcelona, España.

Anexos

Matriz de consistencia

Título: Influencia del depósito de sedimento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico.

Problema	Objetivos	Marco Teórico	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema general ¿Cómo se viene dándose la influencia del depósito de sedimento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico? **Problema específico** a) ¿Cómo se viene dándose la influencia del depósito de sedimento en el remanso hidráulico del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico? b) ¿Cómo se viene dándose la influencia del depósito de sedimento en el tirante hidráulico del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico? c) ¿Cómo se viene dándose la influencia del depósito de sedimento en las velocidades hidráulicas del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico?	**Objetivo general** Describir la influencia del depósito de sedimento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico. **Objetivos Específicos** a) Describir la influencia del depósito de sedimento en el remanso hidráulico del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico. b) Describir la influencia del depósito de sedimento en el tirante hidráulico del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico. c) Describir la influencia del depósito de sedimento en las velocidades hidráulicas del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico.	**Antecedentes** ***A nivel internacional:*** a) Pérez, R. (2017). "Influencia del depósito de sedimento en el comportamiento de una batería de compuertas", Universidad Nacional Autónoma de México. b) Salmerón, D. (2017). "Simulación física y numérica del depósito de sedimentos a la entrada de un embalse", Universidad Nacional de México. c) Marco, F., Martin, M., & Castillo, L. (2015). "Estimación numérica de la capacidad hidráulica de puentes como elementos de control en la Rambla del Albujón", Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas, Cartagena (España). d) Zambrano, J. (2015), realizó la tesis doctoral: "Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG" en la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona.	**Hipótesis general** Determinar la influencia del depósito de sedimento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico. **Hipótesis específico** a) Determinar la influencia del depósito de sedimento en el remanso hidráulico del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico. b) Determinar la influencia del depósito de sedimento en el tirante hidráulico del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico. c) Determinar la influencia del depósito de sedimento en las velocidades hidráulicas del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico.	**Identificación de Variables** **Variable independiente:** Depósito de sedimento. **Dimensiones:** ❖ Erosión ❖ Porcentajes (0% y 40%). ❖ Granulometría (roca, grueso y fino). **Variable dependiente:** Capacidad hidráulica. **Dimensiones:** ❖ Remanso ❖ Velocidad ❖ Tirante ❖ Pendiente ❖ Coeficiente de Manning (n)	**Tipo:** aplicada **Nivel:** descriptivo **Diseño:** no experimental Diseño simple: M----------O donde: M: muestra con quien vamos realizar el estudio. O: información relevante que recogemos de la muestra. **Población y Muestra:** **Población:** río Mantaro 739 km. **Muestra:** tramo puente Ccota 1.5 km. **Muestreo:** no probabilístico. **Técnicas e Instrumentos:** 1. observación. 2. medición **Técnicas de Procesamiento de datos:** Uso de Software IBER 2.5 para su respectivo resultado.

d) ¿Cómo se viene dándose la influencia del depósito de sedimento en la erosión de las estructuras hidráulicas del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico? e) ¿Cómo se viene dándose la influencia del depósito de sedimento con 5 alcantarillas en funcionamiento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico? f) ¿Cómo se viene dándose la influencia del depósito de sedimento con 3 alcantarillas en funcionamiento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico?	d) Describir la influencia del depósito de sedimento en la erosión de las estructuras hidráulicas del puente Determinar Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico. e) Describir la influencia del depósito de sedimento con 5 alcantarillas en funcionamiento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico. f) Describir la influencia del depósito de sedimento con 3 alcantarillas en funcionamiento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico.	***A nivel nacional:*** a) Chávez, J., & Cipiran, A. (2019). Influencia del puente Chuquillanqui y terraplén de acceso en la sedimentación del río Chuquillanqui, tramo puente Chuquillanqui", Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú. b) Castillo, G., & Chavez, M. (2019), realizo la tesis de pregrado "Estudio de la pérdida de capacidad hidráulica del río Chicama en el sector galaxia", en la Universidad Privada Antenor Orrego, Perú.	d) Determinar la influencia depósito de sedimento en la erosión de las estructuras hidráulicas del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico. e) Determinar la influencia del depósito de sedimento con 5 alcantarillas en funcionamiento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico. f) Determinar la influencia del depósito de sedimento con 3 alcantarillas en funcionamiento en la capacidad hidráulica del puente Ccota río Mantaro mediante un modelo numérico.		

CGEOTEP

CONSULTORIA EN PROYECTOS GEOTECNICOS

ING. CARLOS GASPAR PACO

AREA DE LABORATORIO GEOTECNICO Y ESTRUCTURAL

PROYECTO	INFLUENCIA DEL DEPOSITO DE SEDIMENTOS EN LA CAPACIDAD HIDRAULICA DEL PUENTE CCOTA RIO MANTARO MEDIANTE UN MODELO NUMERICO	UB. UTM.	E: 533363.31	N: 8609590.26	2546 msnm
		CALT. N°	01	Muestra:	01
LUGAR:	Puente Ccota - Rio Mantaro - Prov. Churcampa - Huancavelica	PROF.(m)	2.00	Mext:	Orilla Rio
SOLICITA:	Bachs. Huamani Caso, María Elena - Pariona Escobar, Rober Marcelino	FECHA	Mayo - 2,021	N.F	Si

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM D - 422

Tamices Ø	Tamices (mm)	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
5"	127.00				
4"	101.60				
3"	76.20	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.80	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.10	168.10	6.26%	6.26%	93.74%
1"	25.40	662.60	24.66%	30.91%	69.09%
3/4"	19.050	396.40	14.75%	45.66%	54.34%
1/2"	12.700	234.20	8.71%	54.38%	45.62%
3/8"	9.525	195.80	7.29%	61.66%	38.34%
1/4"	6.350	106.90	3.98%	65.64%	34.36%
Nº 4	4.760	64.30	2.39%	68.03%	31.97%
Nº 10	2.000	195.80	7.29%	75.32%	24.68%
Nº 20	0.840	27.00	1.00%	76.32%	23.68%
Nº 30	0.590	27.00	1.00%	77.33%	22.67%
Nº 40	0.426	49.90	1.86%	79.18%	20.82%
Nº 100	0.149	239.60	8.92%	88.10%	11.90%
Nº 200	0.074	114.70	4.27%	92.37%	7.63%
Fondo	0.01	205.10	7.63%	100.00%	0.00%
PESO INICIAL		2687.40			

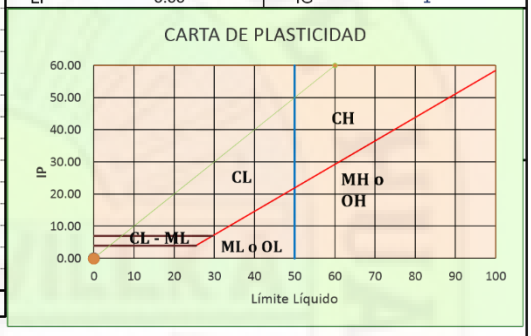
Tamaño Máximo: 1 1/2"

Modulo de Fineza AF:

Modulo de Fineza AG:

Equivalente de Arena:

Limites de Atterberg			Parámetros:		
LL	=	0.00	IP	=	0.00
LP	=	0.00	IG	=	1

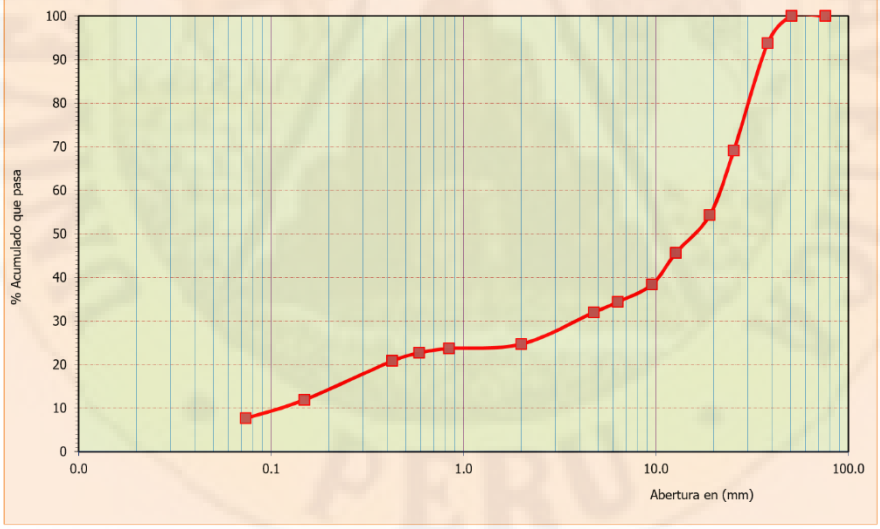


PORCENTAJES DE MATERIAL:		
GRAVA > TAMIZ Nº 4	%	75.3
ARENA <Nº 4-Nº 200>	%	17.0
FINOS < Nº 200 (Limos y Arcillas)	%	7.6

Diámetros Efectivos:	
D60:	21.487
D30:	4.015
D10 (Diam. Efectivo)	0.116

D50:	15.889
D95:	40.648
Cc=	6.49
Cu=	185.85

CURVA GRANULOMETRICA POR TAMIZADO



CLASIFICACION DEL SUELO

SUCS:	GP GM	AASHTO:	A1-a(1)
	Grava mal graduada con limo	Suelo Granular	Grava y Arena con mezcla de Limos

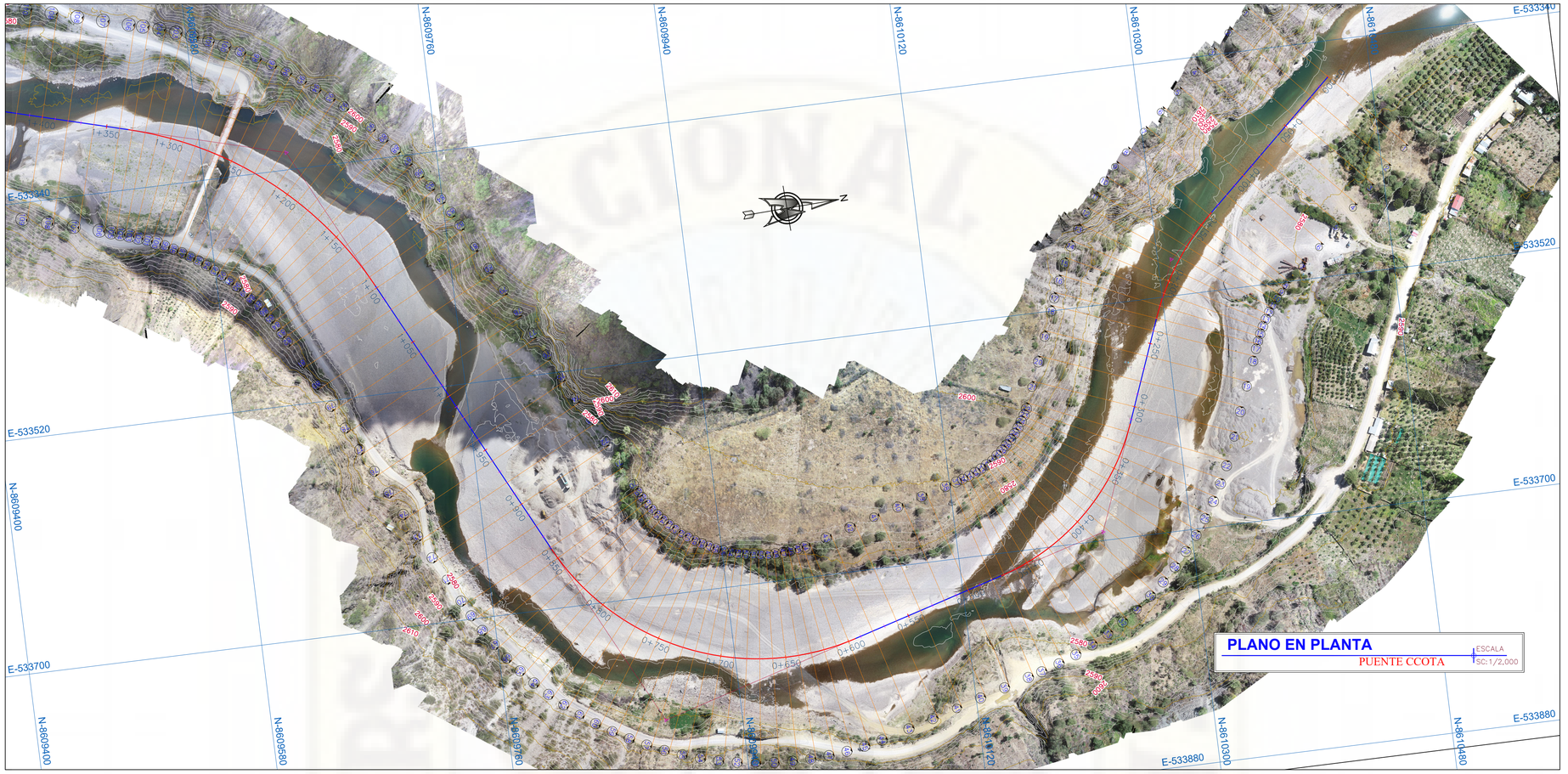
JUAN LUIS PE GASPAR
RESPONSABLE LABORATORIO
MECANICA DE SUELOS Y ROCA

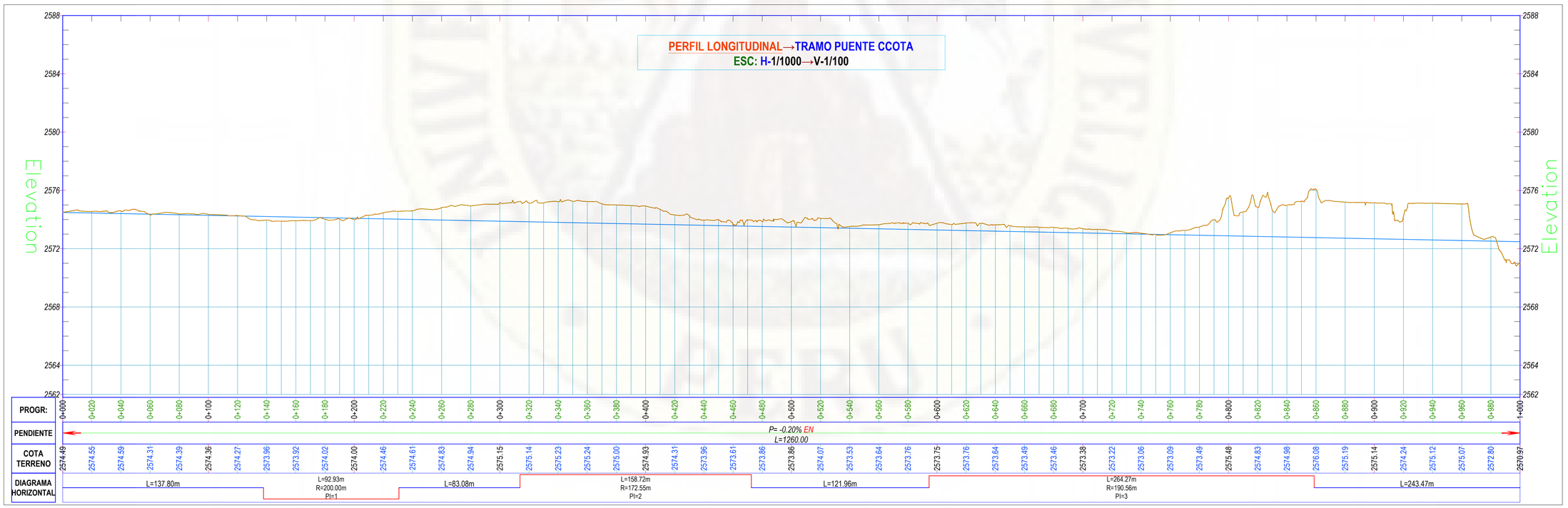
CARLOS GASPAR PACO
ING. Civil
CIP: 55029 - C - 3008

Observaciones :

Grava con mezcla de Arena sin presencia de finos; con tamaños máximos de 1.5" con un 75.3% más mezcla de arena de consistencia suelta y de color gris sin plasticidad y limos hasta 7.6% como partículas finas (Que pasa la malla Nº 200), Lim. Liq.= 0.0% e Ind. Plast.= 0.0%.

Planos del levantamiento topográfico





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL- HUANCAVELICA

PRESENTADOS POR :
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

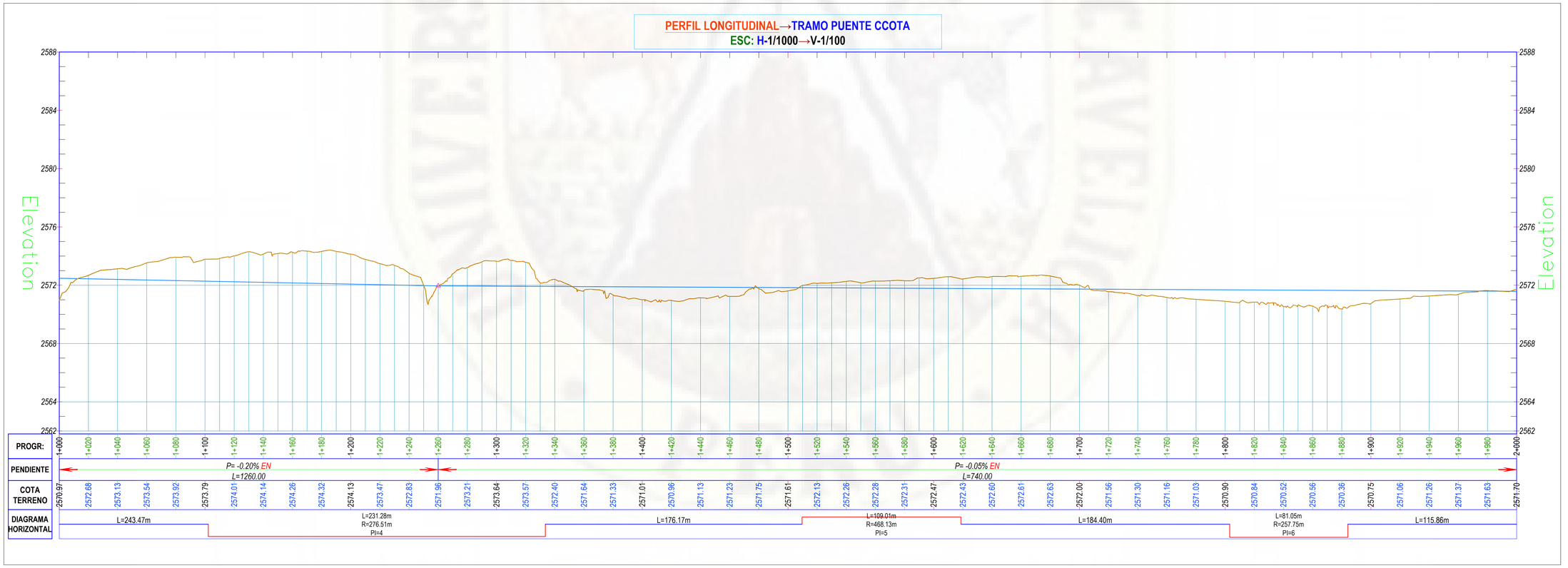
ASESOR : M.Sc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO

LÍNIA DE INVESTIGACIÓN : HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

TESIS:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO.

LAMINA :
PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL

ESCALA : INDICADA
FECHA : OCTUBRE - 2021
CODIGO :
PPL - 01



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL- HUANCAVELICA

PRESENTADOS POR :
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

ASESOR : M.Sc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO

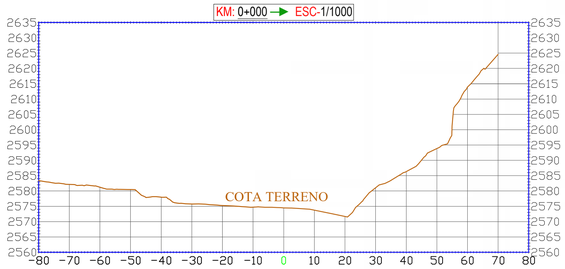
LÍNIA DE INVESTIGACIÓN : HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

TESIS:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO.

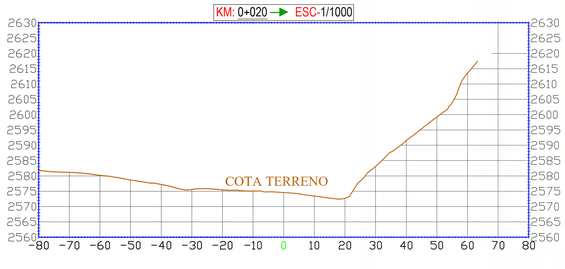
LAMINA :
PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL

ESCALA : INDICADA
FECHA : OCTUBRE - 2021
CODIGO :
PPL - 02

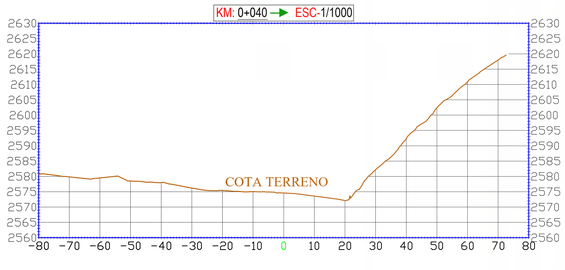
KM: 0+000 → ESC-1/1000



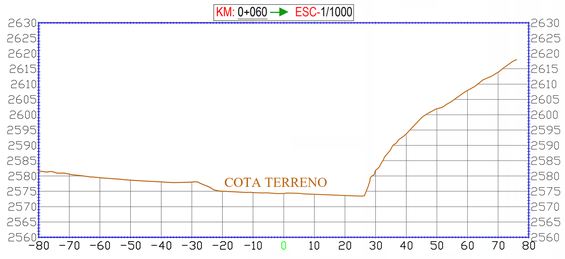
KM: 0+020 → ESC-1/1000



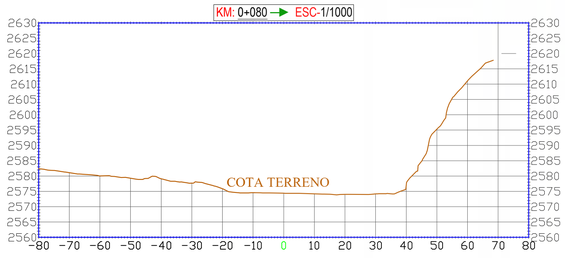
KM: 0+040 → ESC-1/1000



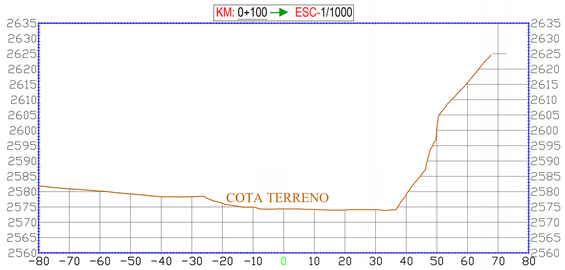
KM: 0+060 → ESC-1/1000



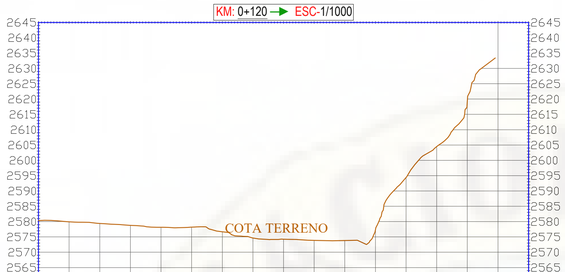
KM: 0+080 → ESC-1/1000



KM: 0+100 → ESC-1/1000

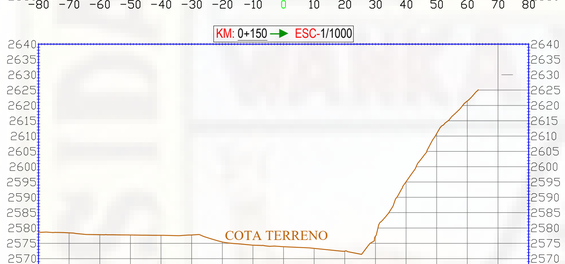


KM: 0+120 → ESC-1/1000

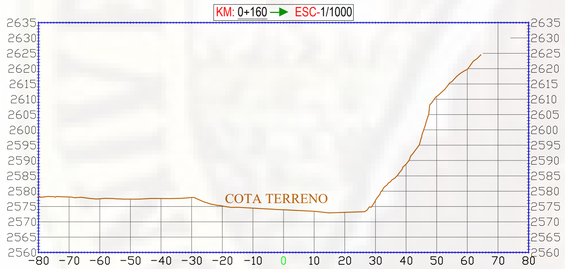


KM: 0+140 → ESC-1/1000

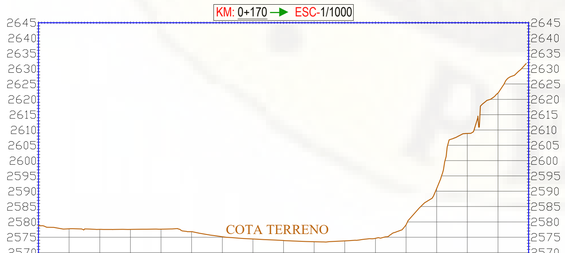
KM: 0+150 → ESC-1/1000



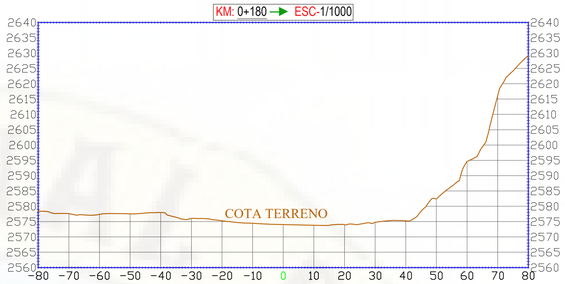
KM: 0+160 → ESC-1/1000



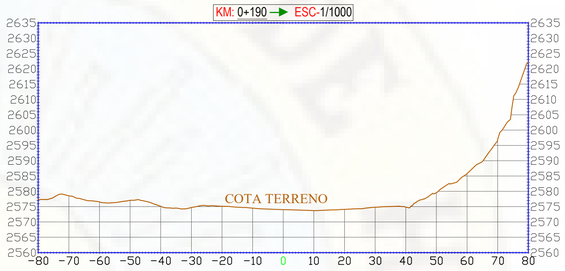
KM: 0+170 → ESC-1/1000



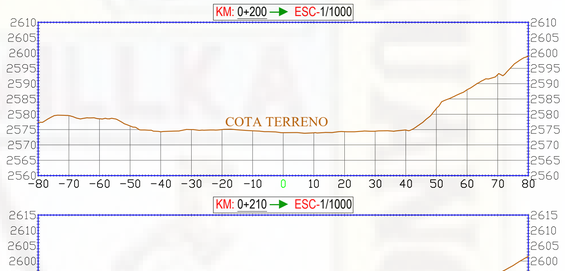
KM: 0+180 → ESC-1/1000



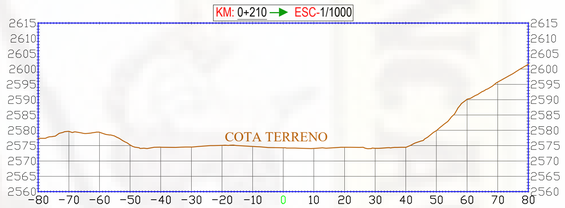
KM: 0+190 → ESC-1/1000



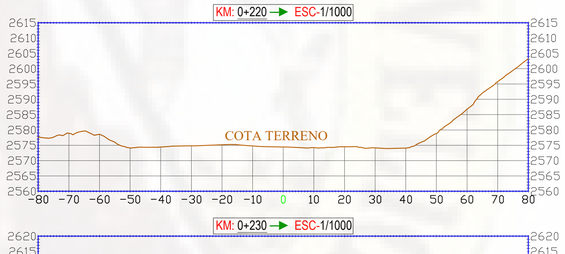
KM: 0+200 → ESC-1/1000



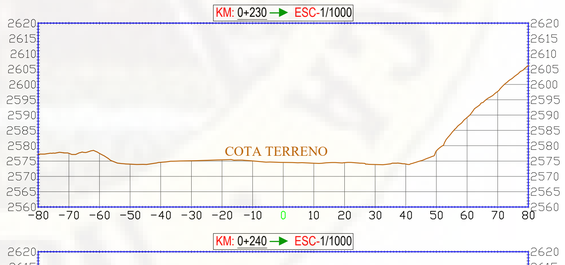
KM: 0+210 → ESC-1/1000



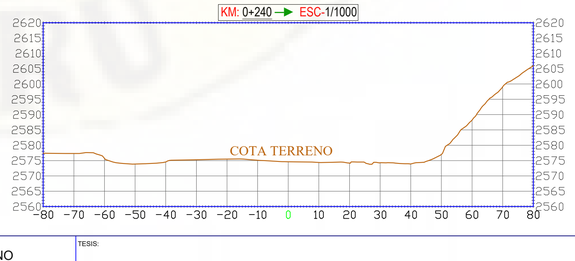
KM: 0+220 → ESC-1/1000



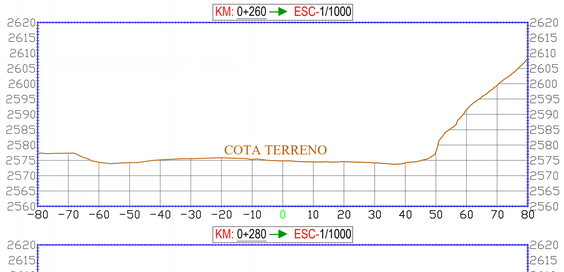
KM: 0+230 → ESC-1/1000



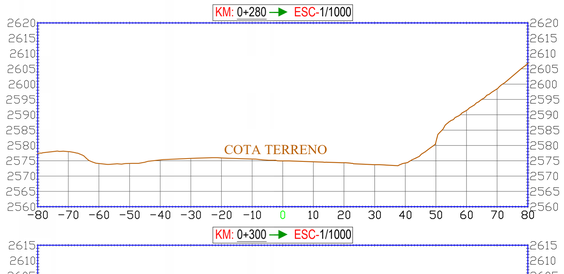
KM: 0+240 → ESC-1/1000



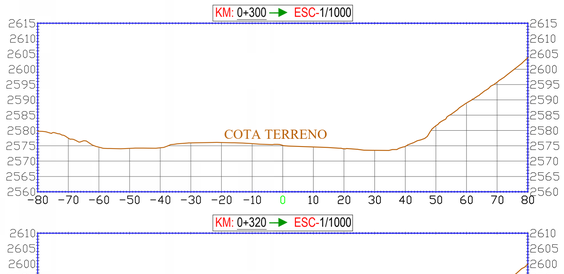
KM: 0+260 → ESC-1/1000



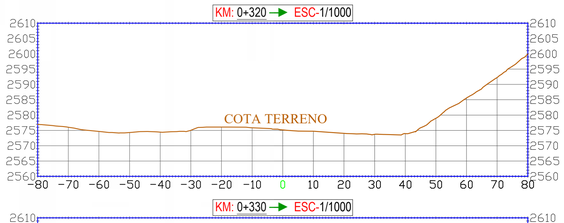
KM: 0+280 → ESC-1/1000



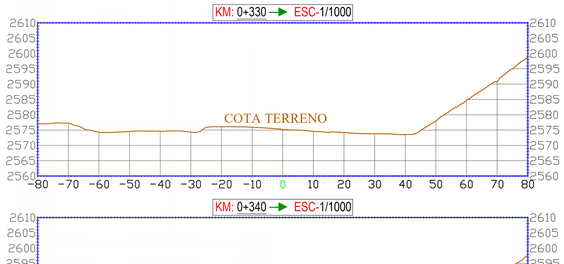
KM: 0+300 → ESC-1/1000



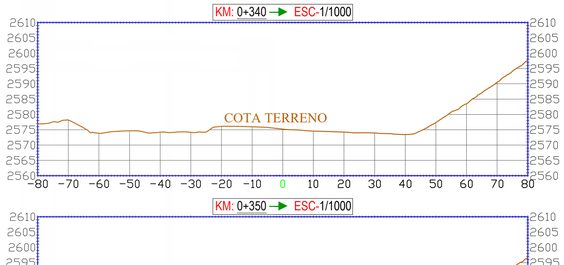
KM: 0+320 → ESC-1/1000



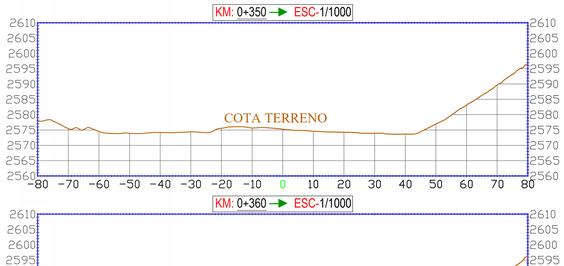
KM: 0+330 → ESC-1/1000



KM: 0+340 → ESC-1/1000



KM: 0+350 → ESC-1/1000



KM: 0+360 → ESC-1/1000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL- HUANCAVELICA

PRESENTADOS POR :
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

ASESOR : M.Sc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO

LÍNIA DE INVESTIGACIÓN : HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

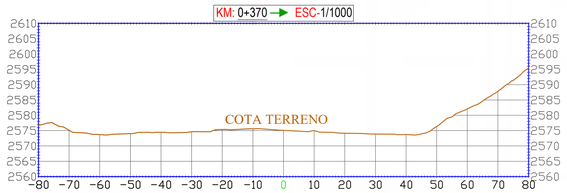
TESIS:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO.

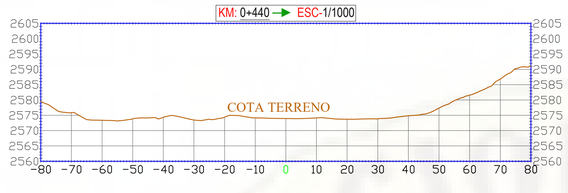
LAMINA : SECCIONES TRANSVERSALES

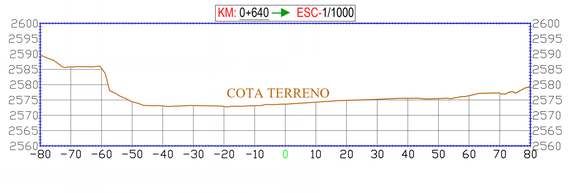
ESCALA : INDICADA

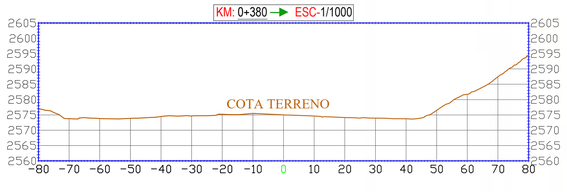
FECHA : OCTUBRE - 2021

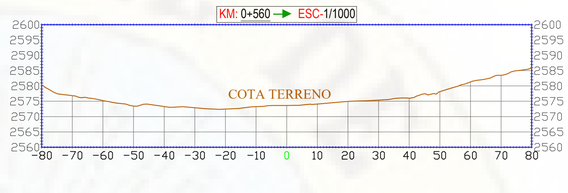
CODIGO : ST - 01

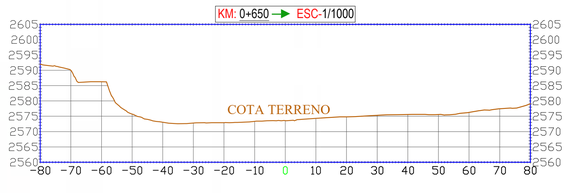


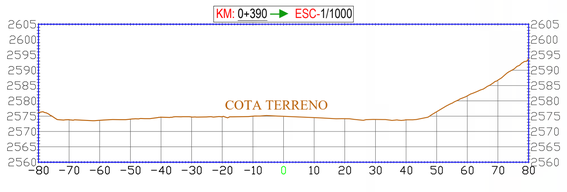


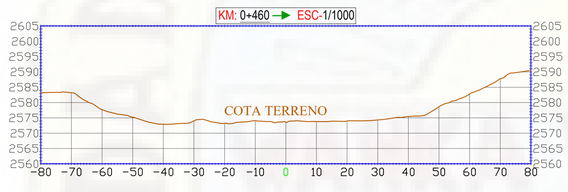


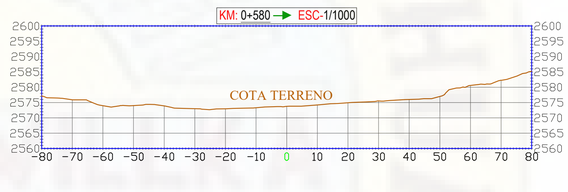


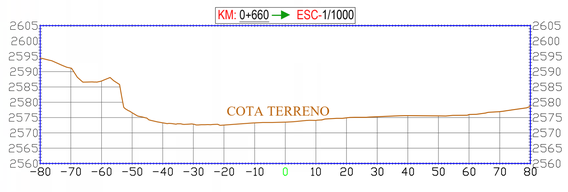


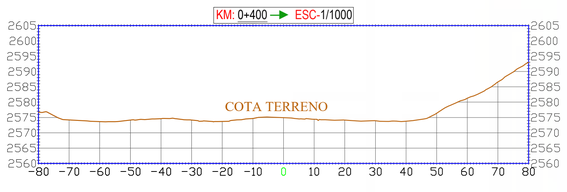


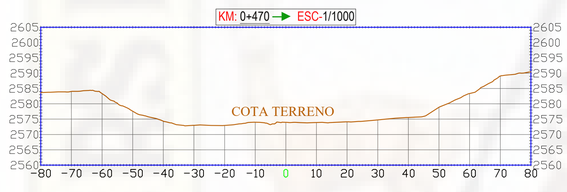


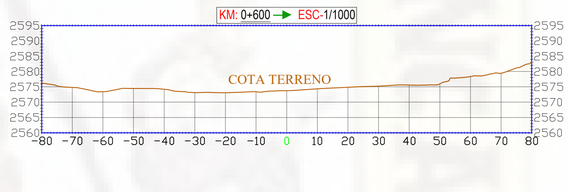


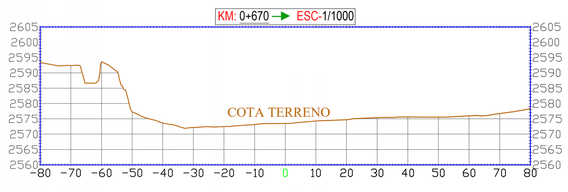


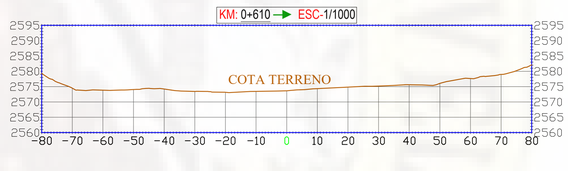


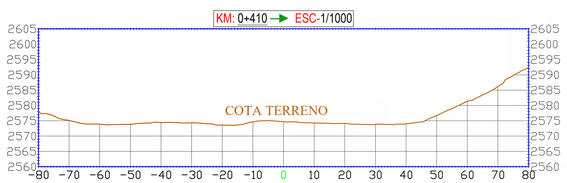


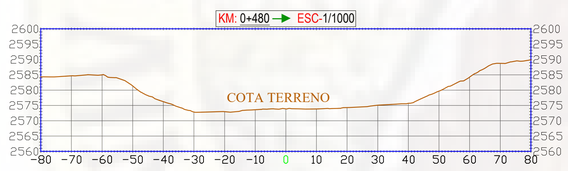


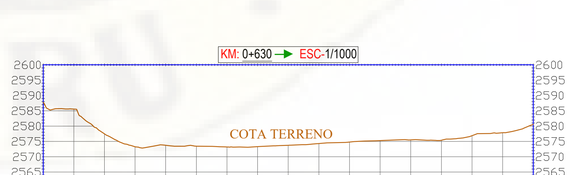


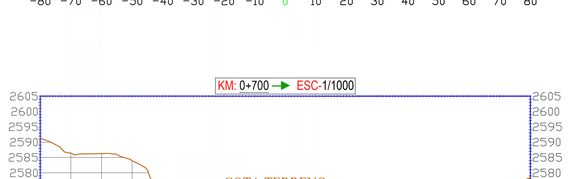


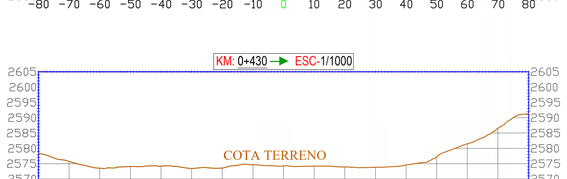


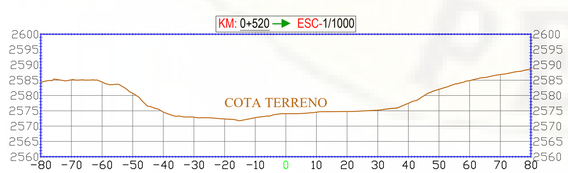












UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL- HUANCAVELICA

PRESENTADOS POR :
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

ASESOR : M.Sc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO

LÍNIA DE INVESTIGACIÓN : HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

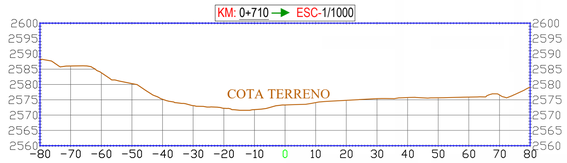
TESIS:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO.

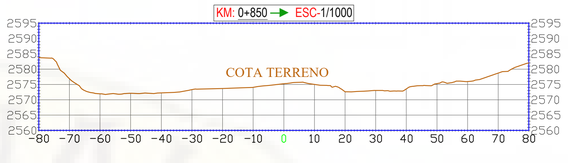
LAMINA :
SECCIONES TRANSVERSALES

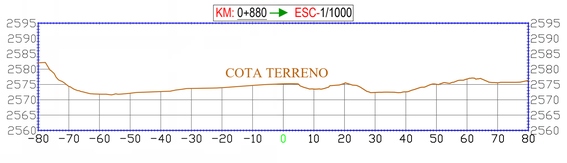
ESCALA : INDICADA

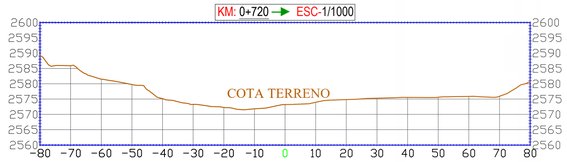
FECHA : OCTUBRE - 2021

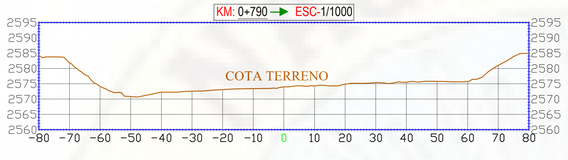
CODIGO :
ST - 02

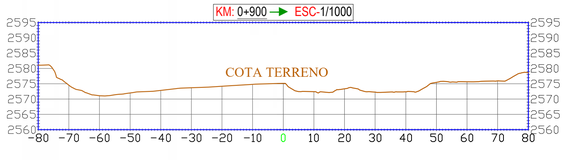


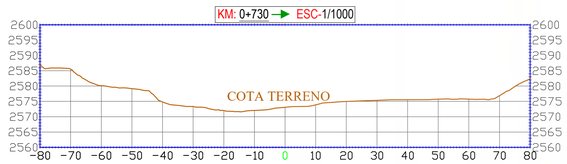


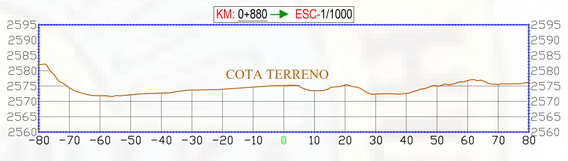


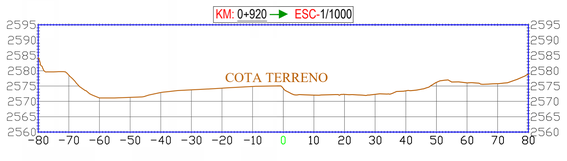


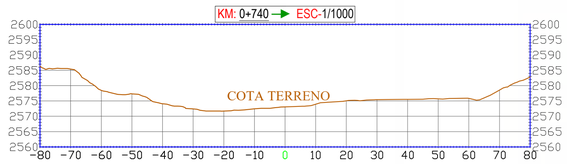


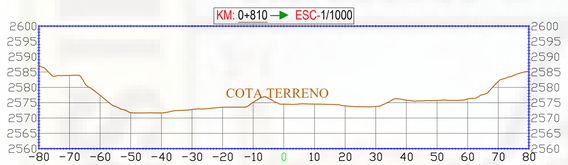


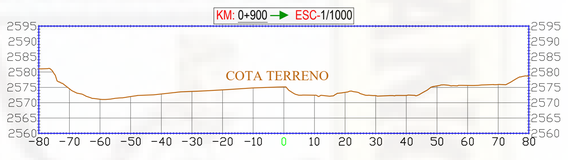


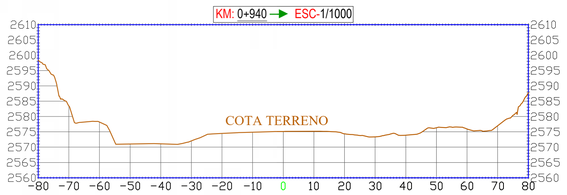


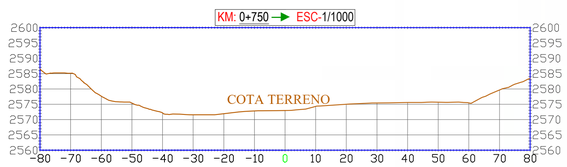


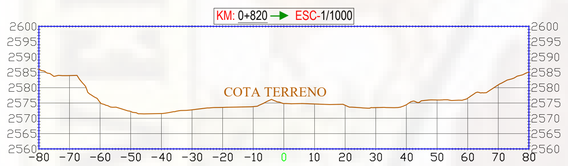


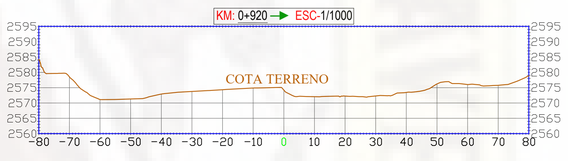


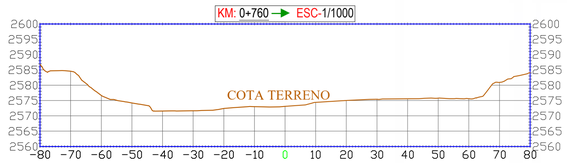


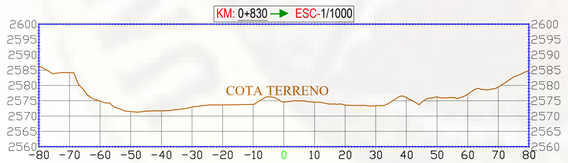


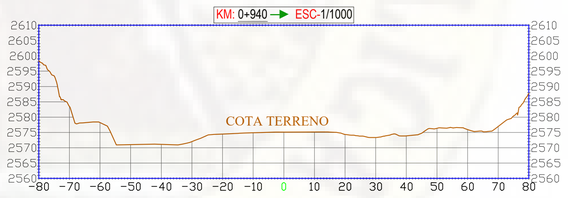


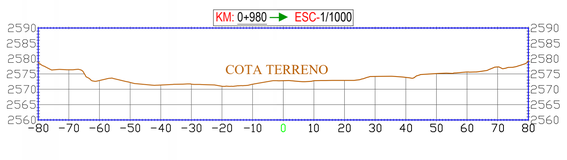


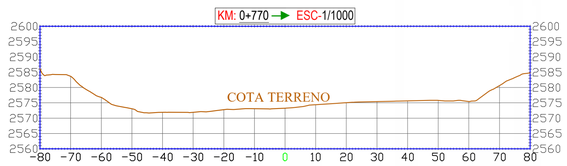


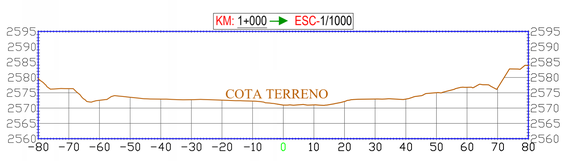












UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL- HUANCAVELICA

PRESENTADOS POR :
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

ASESOR : M.Sc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO

LÍNIA DE INVESTIGACIÓN : HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

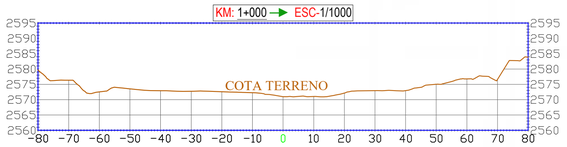
TESIS:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO.

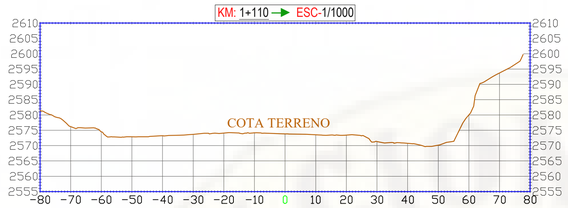
LAMINA :
SECCIONES TRANSVERSALES

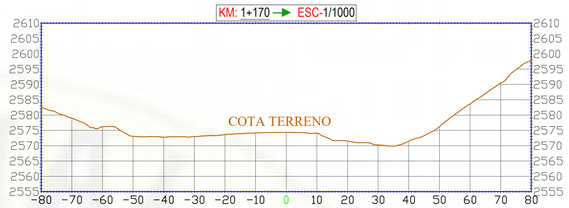
ESCALA : INDICADA

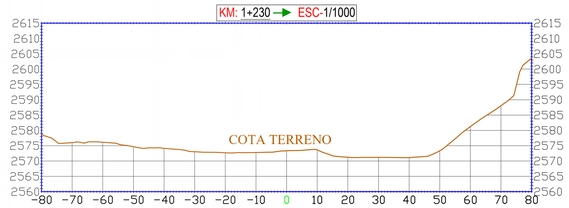
FECHA : OCTUBRE - 2021

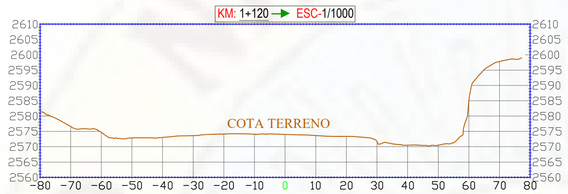
CODIGO :
ST - 03

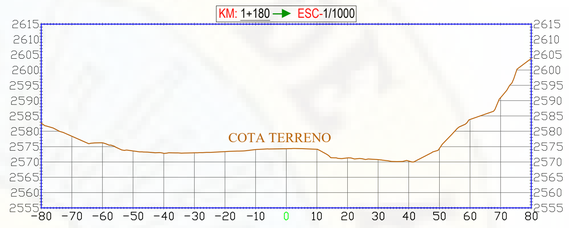


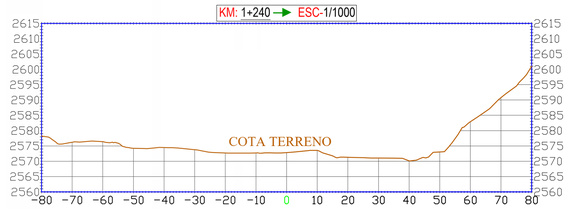


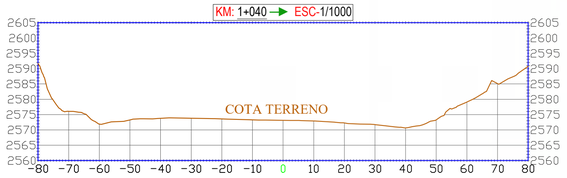


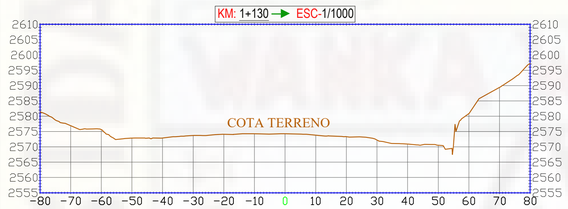


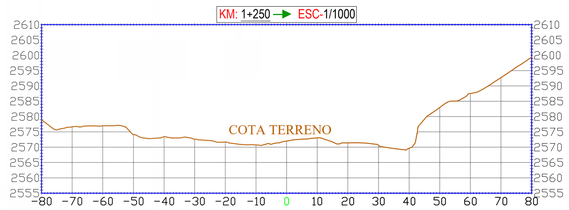


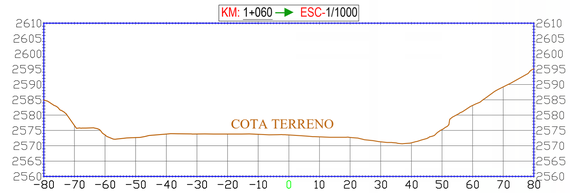


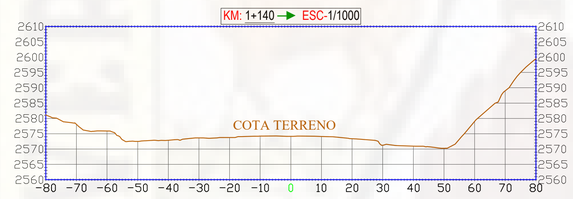


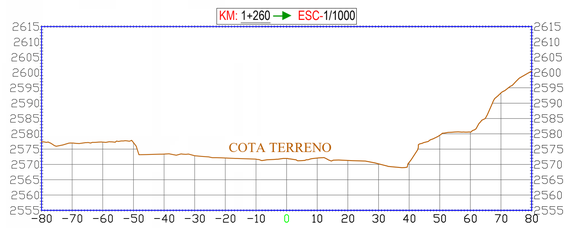


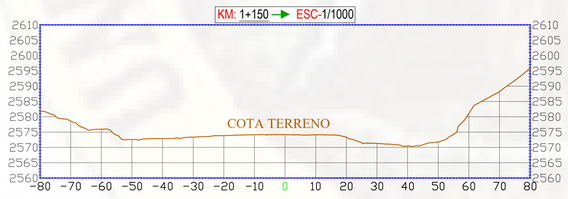


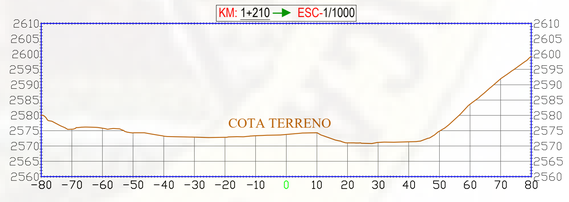


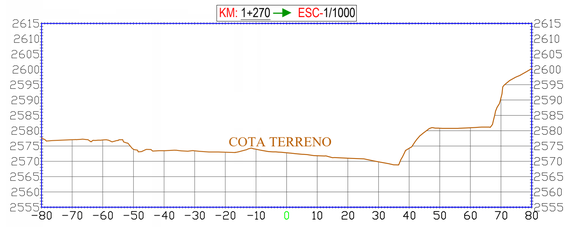


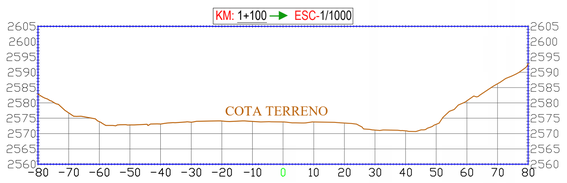


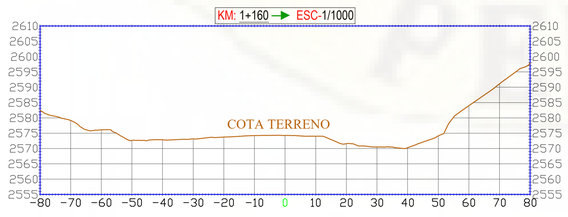


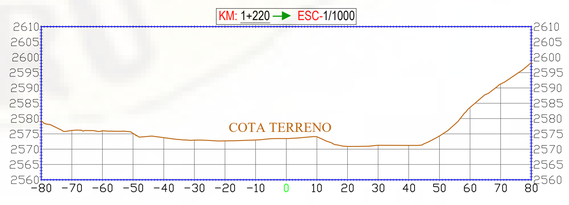


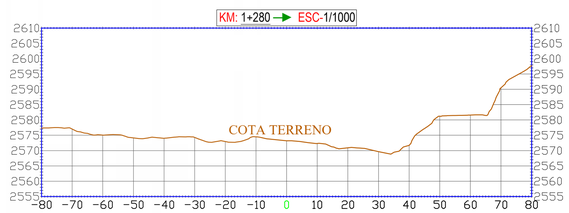












UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL- HUANCAVELICA

PRESENTADOS POR :
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

ASESOR : M.Sc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO

LÍNIA DE INVESTIGACIÓN : HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

TESIS:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO.

LAMINA : SECCIONES TRANSVERSALES

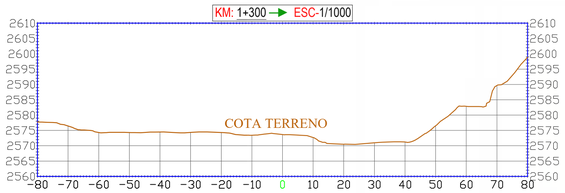
ESCALA : INDICADA

FECHA : OCTUBRE - 2021

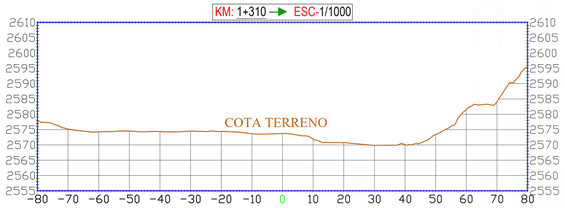
CODIGO : ST - 04

KM: 1+290 → ESC-1/1000

KM: 1+300 → ESC-1/1000

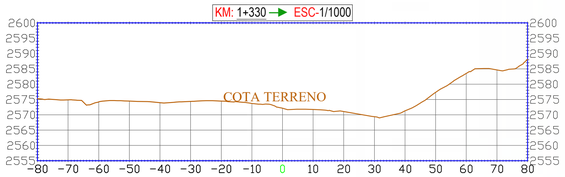


KM: 1+310 → ESC-1/1000

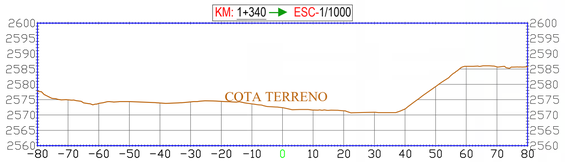


KM: 1+320 → ESC-1/1000

KM: 1+330 → ESC-1/1000



KM: 1+340 → ESC-1/1000

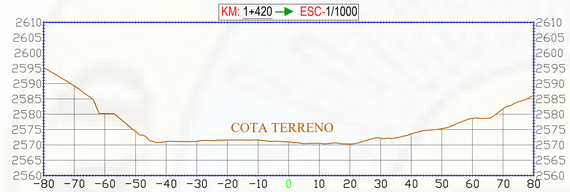


KM: 1+360 → ESC-1/1000

KM: 1+380 → ESC-1/1000

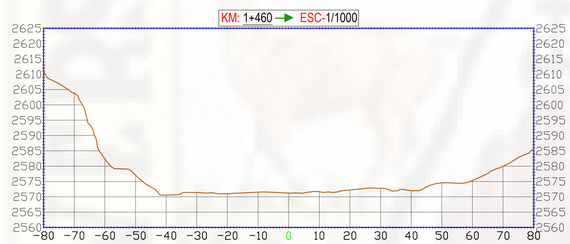
KM: 1+400 → ESC-1/1000

KM: 1+420 → ESC-1/1000

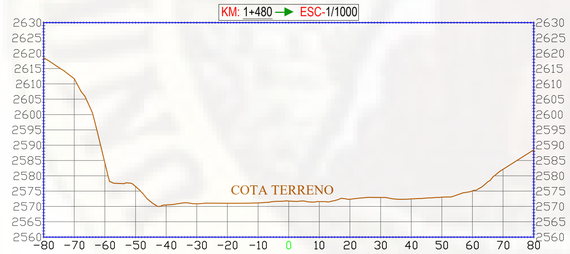


KM: 1+440 → ESC-1/1000

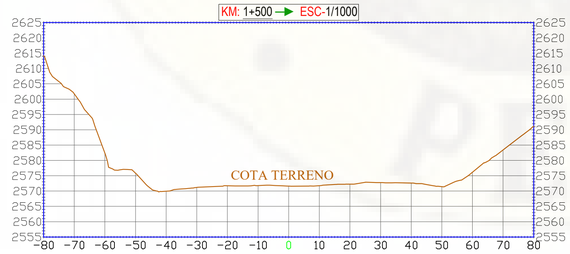
KM: 1+460 → ESC-1/1000



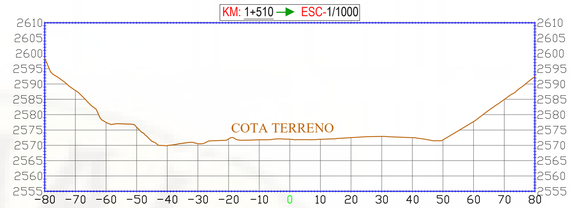
KM: 1+480 → ESC-1/1000



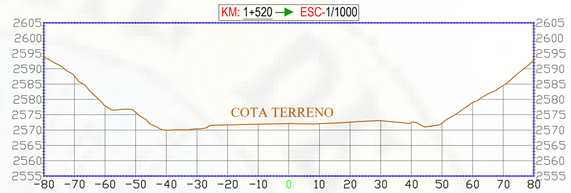
KM: 1+500 → ESC-1/1000



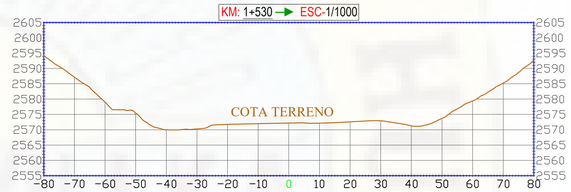
KM: 1+510 → ESC-1/1000



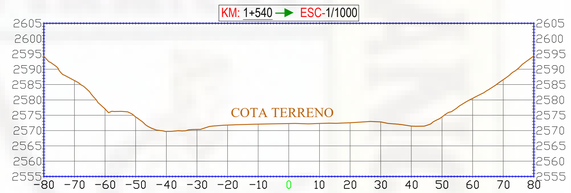
KM: 1+520 → ESC-1/1000



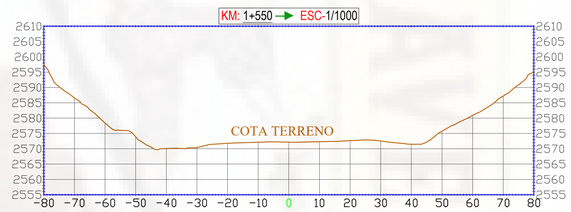
KM: 1+530 → ESC-1/1000



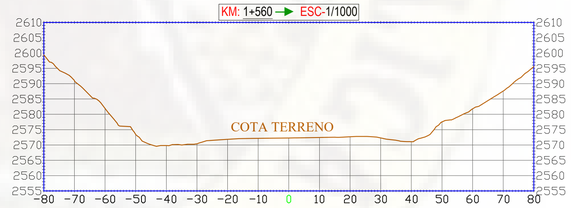
KM: 1+540 → ESC-1/1000



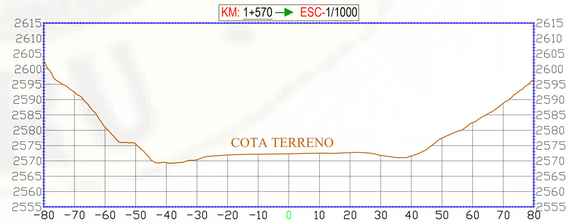
KM: 1+550 → ESC-1/1000



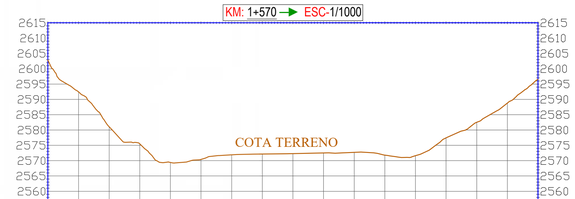
KM: 1+560 → ESC-1/1000



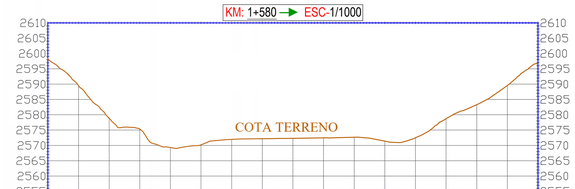
KM: 1+570 → ESC-1/1000



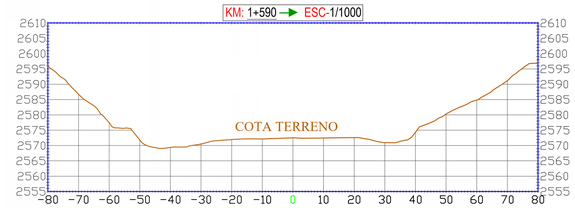
KM: 1+570 → ESC-1/1000



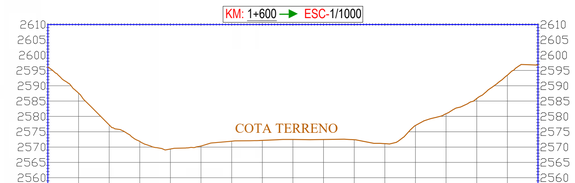
KM: 1+580 → ESC-1/1000



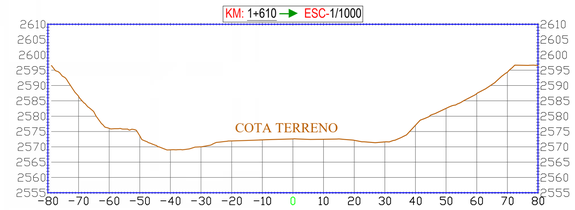
KM: 1+590 → ESC-1/1000



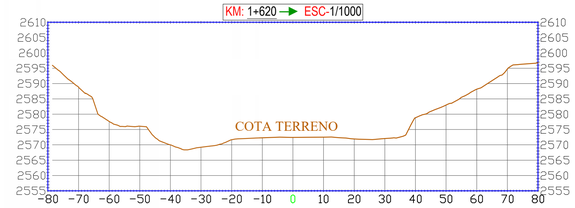
KM: 1+600 → ESC-1/1000



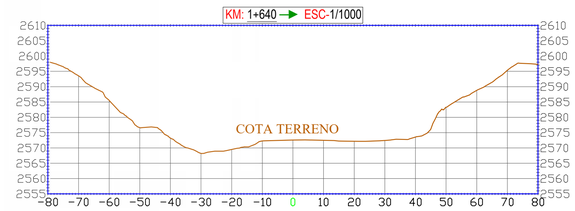
KM: 1+610 → ESC-1/1000



KM: 1+620 → ESC-1/1000



KM: 1+640 → ESC-1/1000



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL- HUANCAVELICA

PRESENTADOS POR :
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

ASESOR : M.Sc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO

LÍNIA DE INVESTIGACIÓN : HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

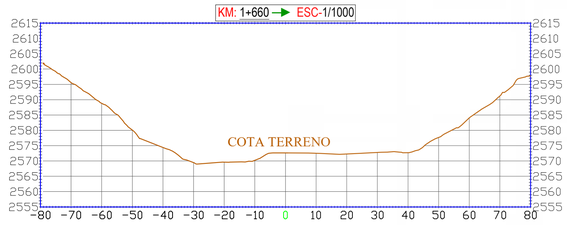
TESIS:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO.

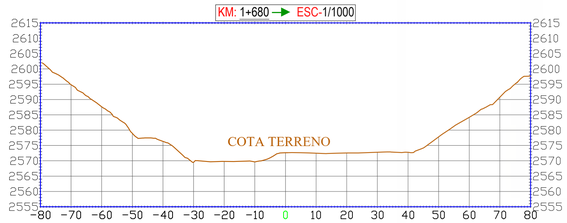
LAMINA :
SECCIONES TRANSVERSALES

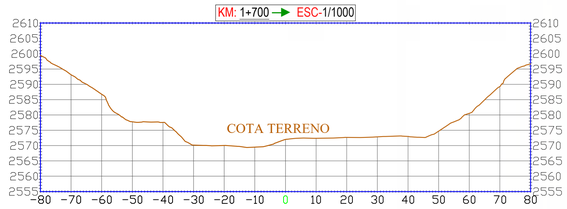
ESCALA : INDICADA

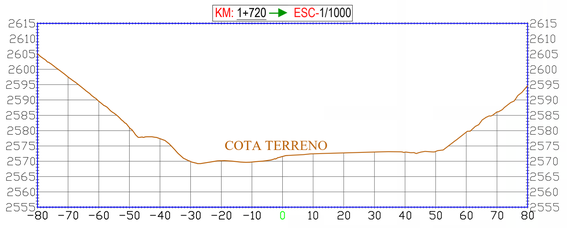
FECHA : OCTUBRE - 2021

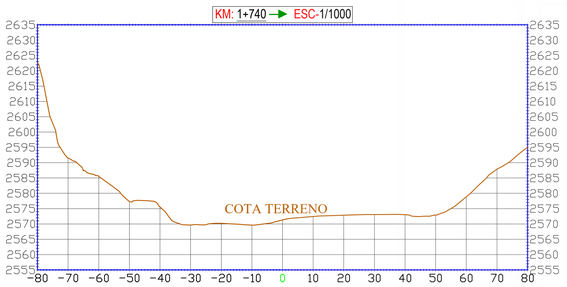
CODIGO :
ST - 05

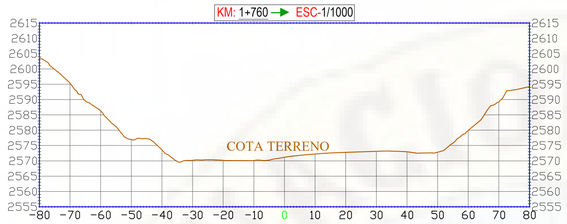


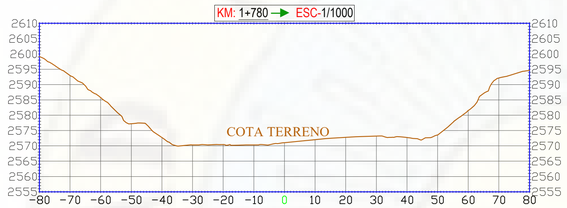


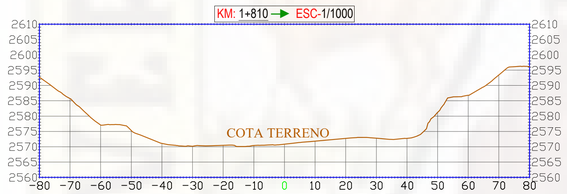


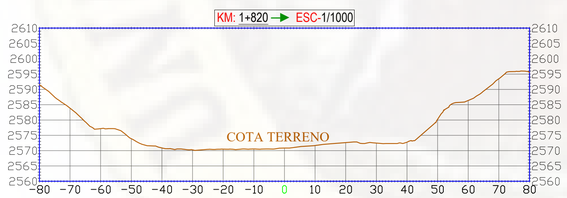


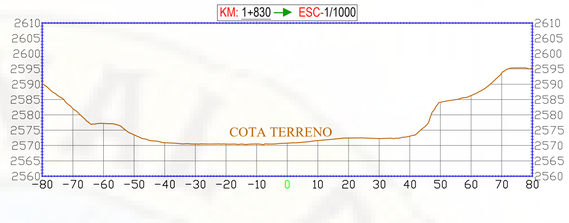


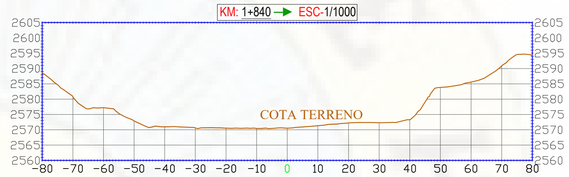


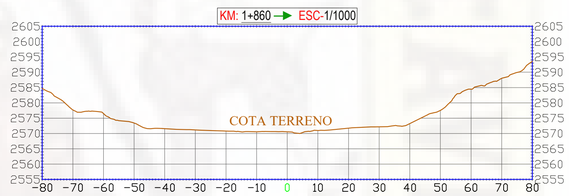


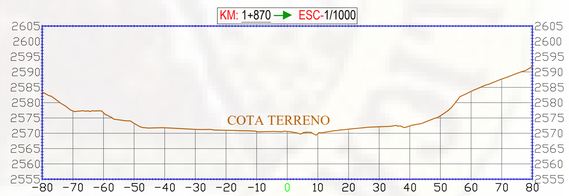


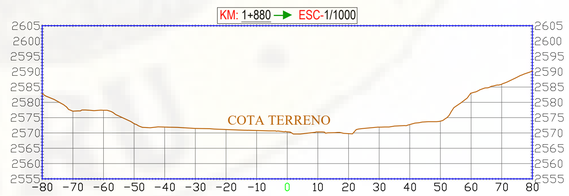


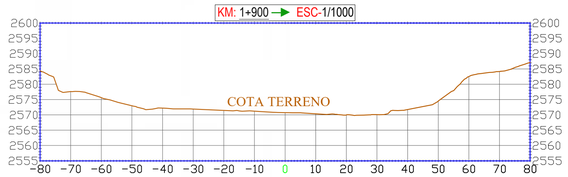


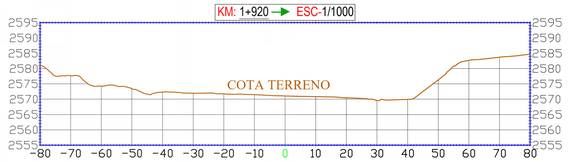


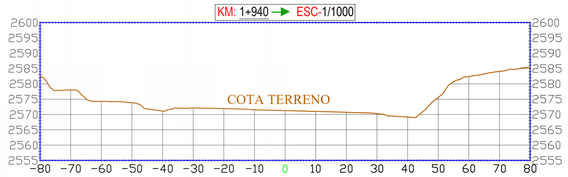


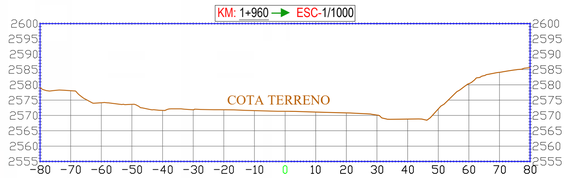


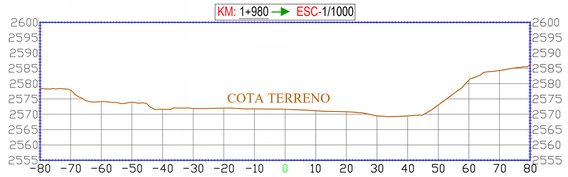












UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL- HUANCAVELICA

PRESENTADOS POR :
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

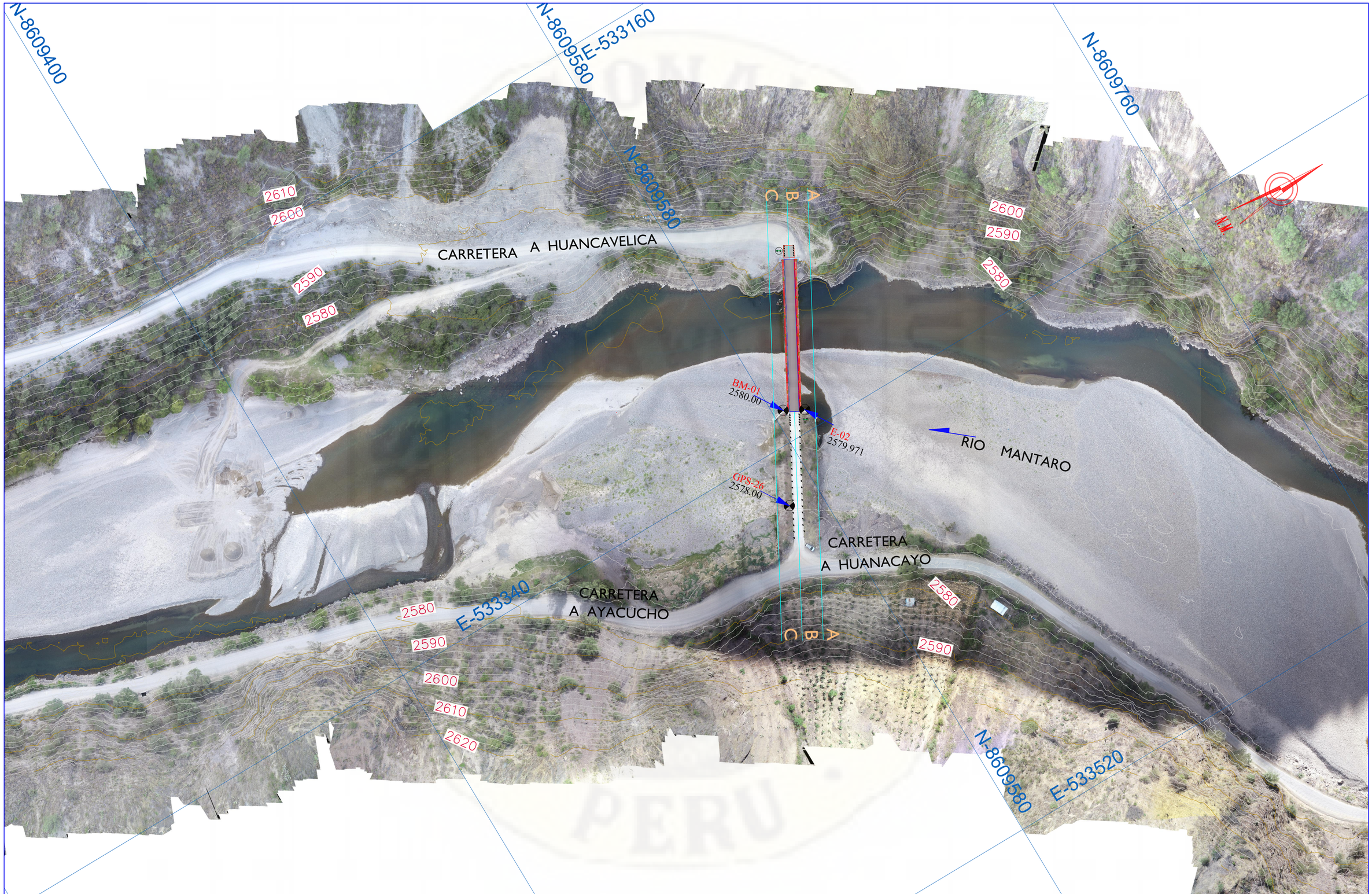
ASESOR : M.Sc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO

LÍNIA DE INVESTIGACIÓN : HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

TESIS:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO.

LAMINA :
SECCIONES TRANSVERSALES

ESCALA : INDICADA
FECHA : OCTUBRE - 2021
CODIGO :
ST - 06



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL- HUANCAVELICA

PRESENTADOS POR :
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

ASESOR : M.Sc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO

LÍNIA DE INVESTIGACIÓN : HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

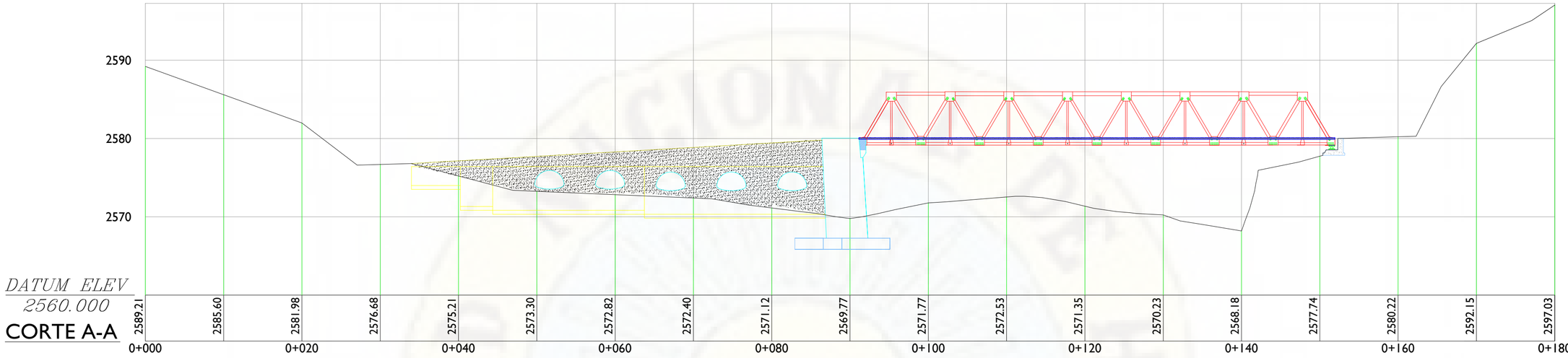
TESIS:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO.

LAMINA : PLANTA TOPOGRAFICA

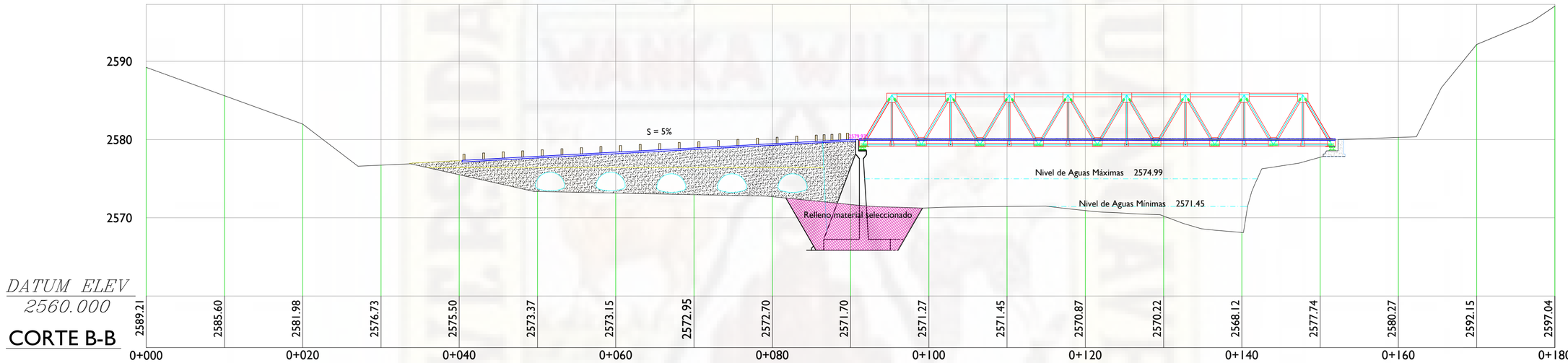
ESCALA : 1/1000

FECHA : JULIO - 2021

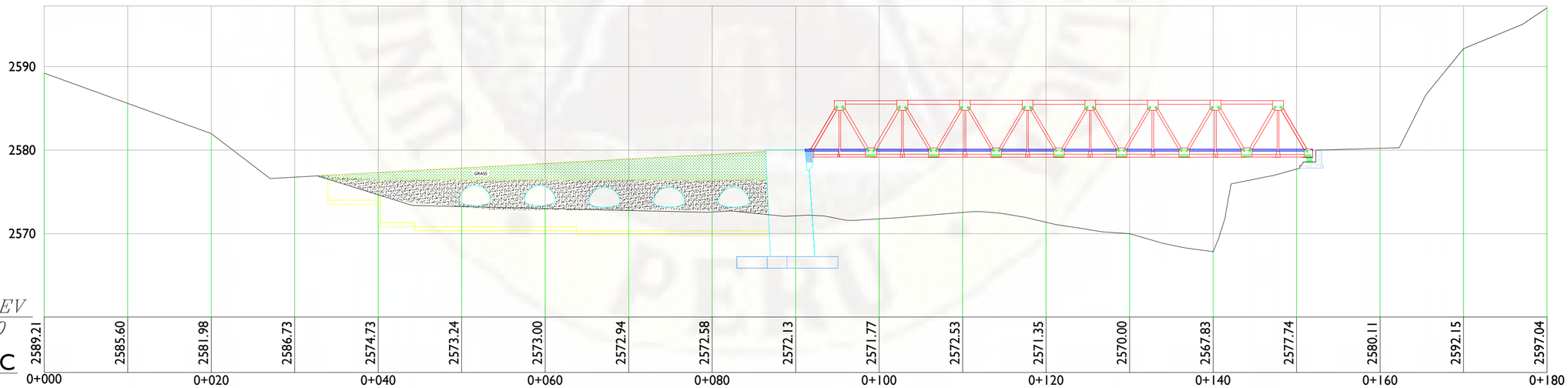
CODIGO : SN



CORTE A-A



CORTE B-B



CORTE C-C

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL- HUANCAVELICA

PRESENTADOS POR :
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

ASESOR : M.Sc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO

LINIA DE INVESTIGACIÓN : HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

TESIS:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO.

LAMINA : CORTES

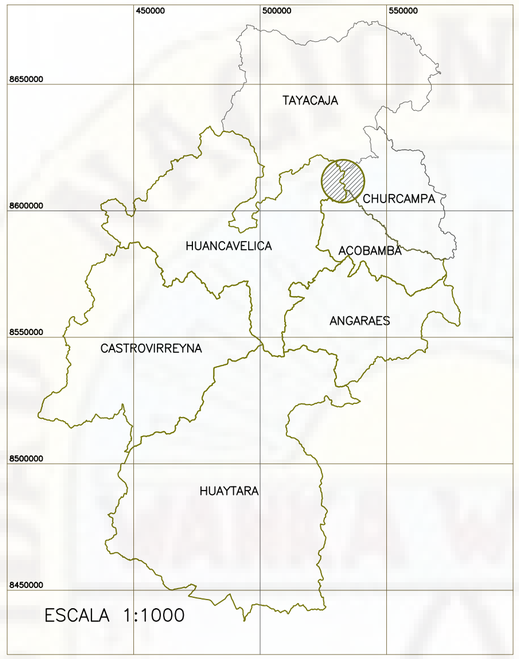
ESCALA : 1/400

FECHA : JULIO - 2021

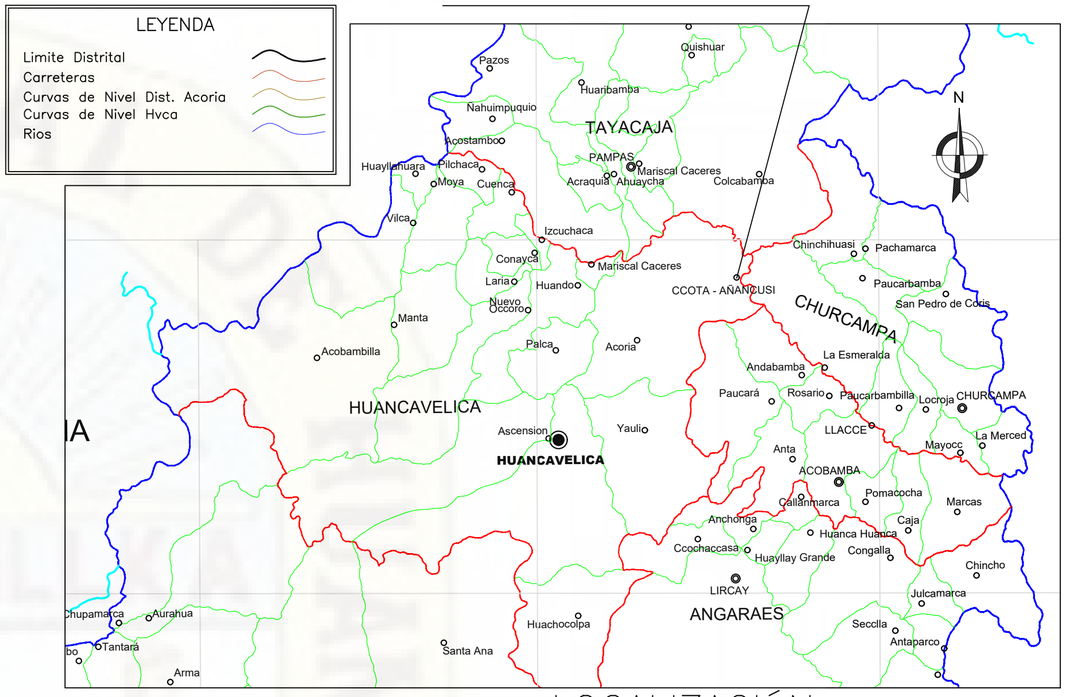
CODIGO : SN

LOCALIZACION DEPARTAMENTAL

LOCALIZACION PROVINCIAL

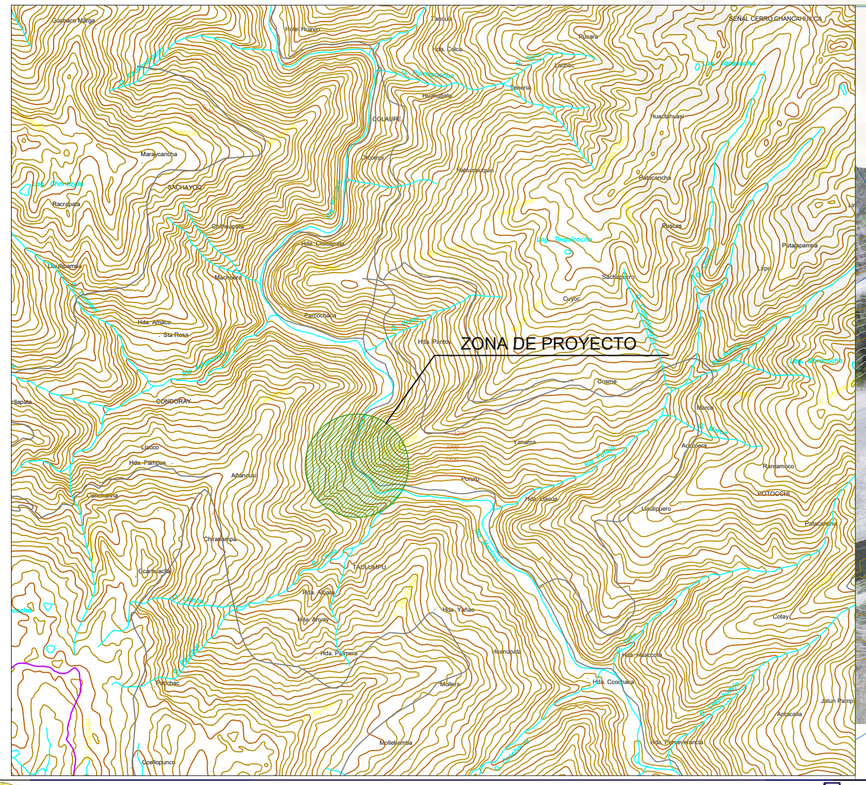


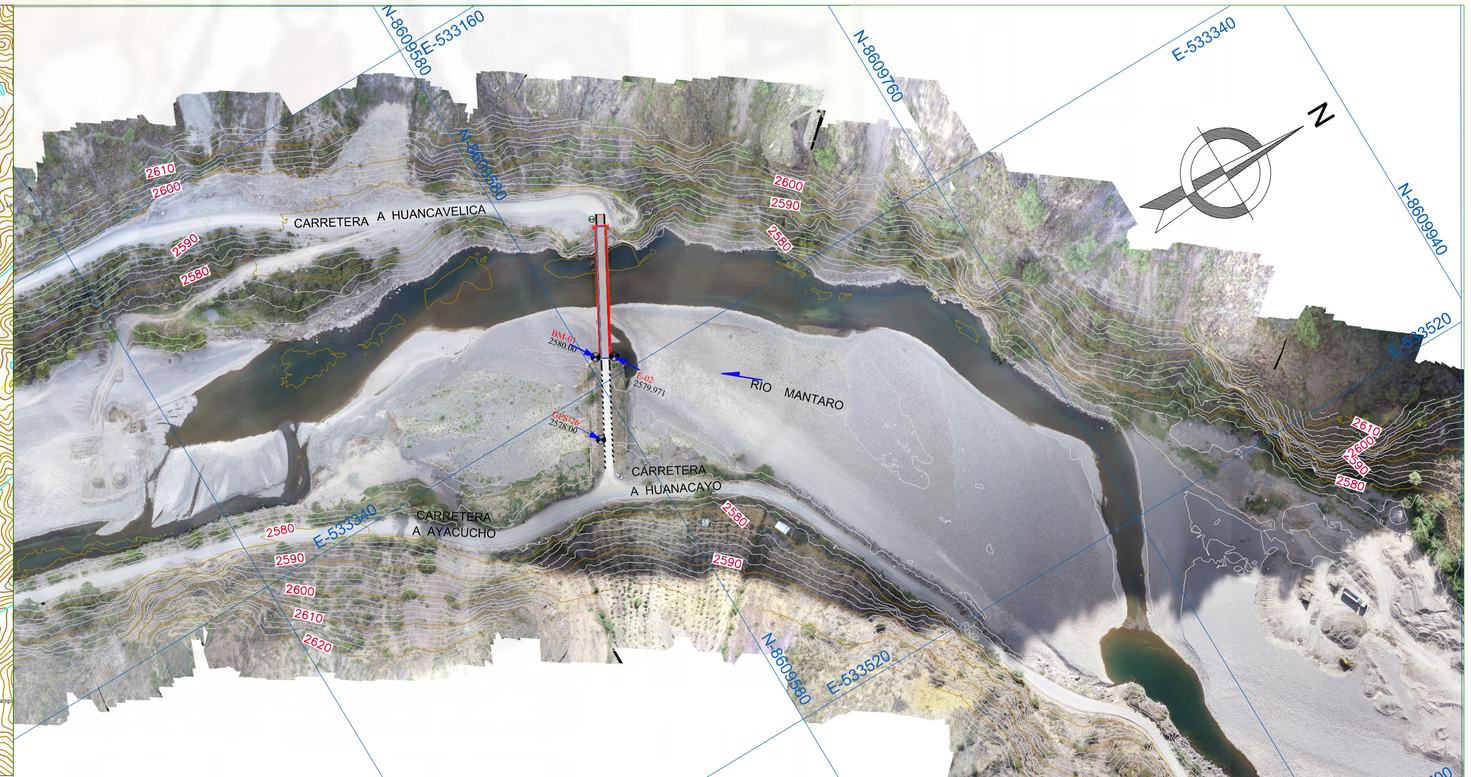
LOCALIZACION DISTRITAL



LOCALIZACIÓN
ESC: 1/2000

UBICACION DEL PROYECTO
ESC: 1/100000





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL- HUANCAVELICA

PRESENTADOS POR :
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

ASESOR : M.Sc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO

LÍNIA DE INVESTIGACIÓN : HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

TESIS:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO.

LAMINA : UBICACION Y LOCALIZACIÓN

ESCALA : INDICADA
FECHA : JULIO - 2021
CODIGO : SN

Planos de resultados de la Modelación Hidráulica

533600.000

533800.000

534000.000

8610600.000

8609800.000

8610400.000

8609600.000

533200.000

533400.000

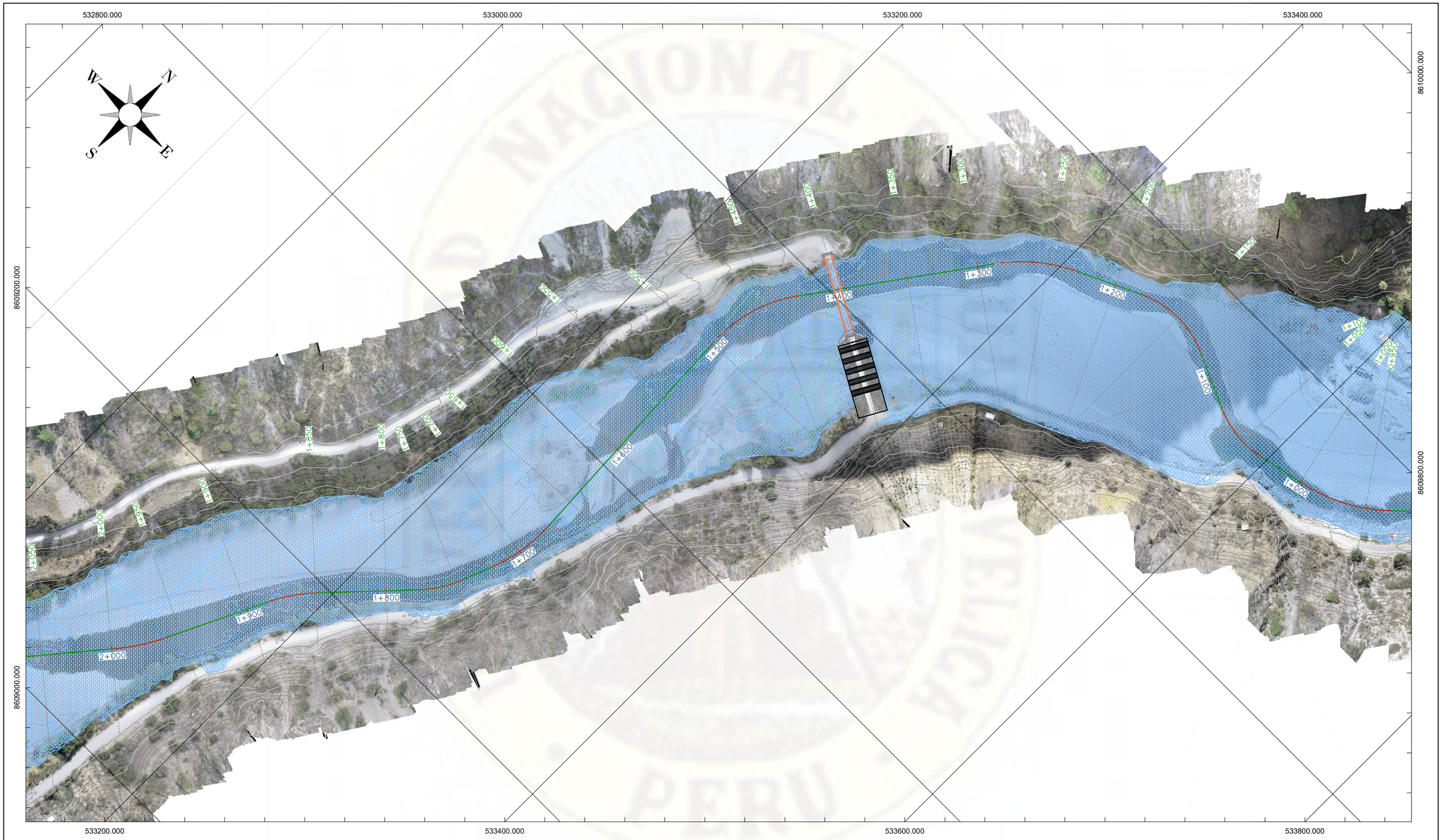
N

S

W

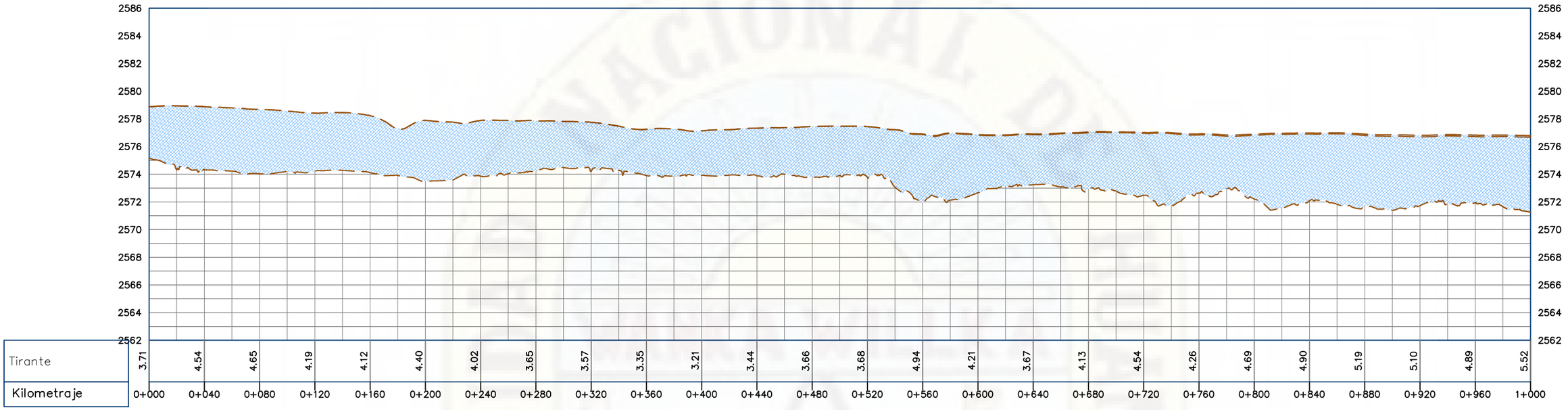
0+000
0+100
0+200
0+300
0+400
0+500
0+600
0+700
0+800
0+900
1+000
1+050
1+100
1+150
0+050
0+150
0+250
0+350
0+450
0+550
0+650
0+750
0+850
0+950

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA	ASESOR: Msc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO TESISTAS: BACH. ING. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO BACH. HUAMANI CASO MARIA ELENA	TESIS: "INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO"	LAMINA : PLANO TOPOGRÁFICO	ESCALA : 1/2500 FECHA : OCTUBRE – 2021	CODIGO : **PT-001**

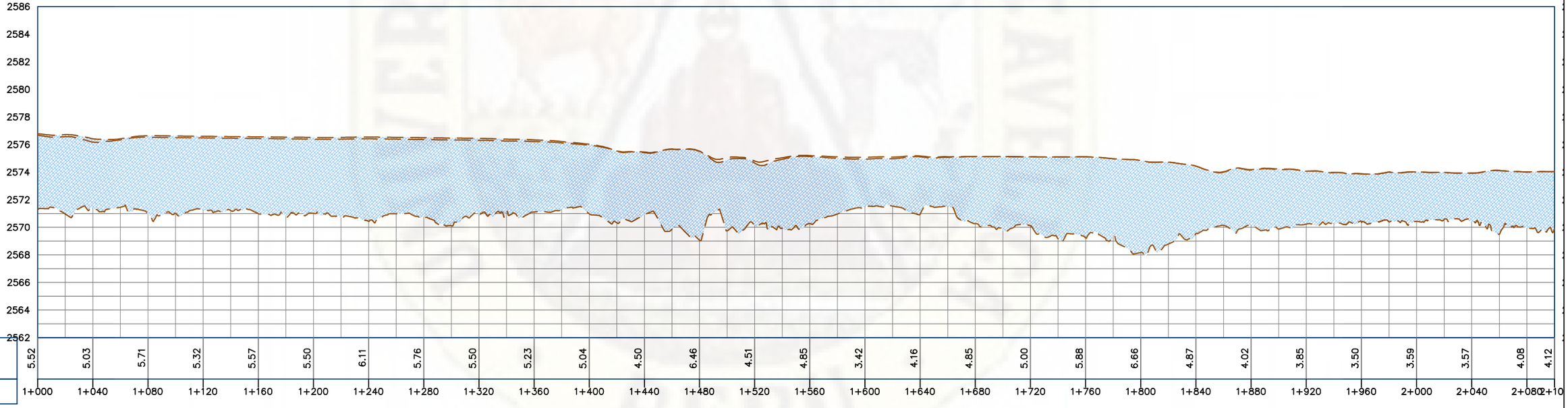


UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA	**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA**	ASESOR: Msc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO TESISTAS: BACH. ING. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO BACH. HUAMANI CASO MARIA ELENA	TESIS: "INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO"	LAMINA : PLANO TOPOGRÁFICO	ESCALA : 1/2500 FECHA : OCTUBRE – 2021	CODIGO : **PT-001**

Perfil Longitudinal Eje rio Ccota
(0+000 – 1+000.00 Km)



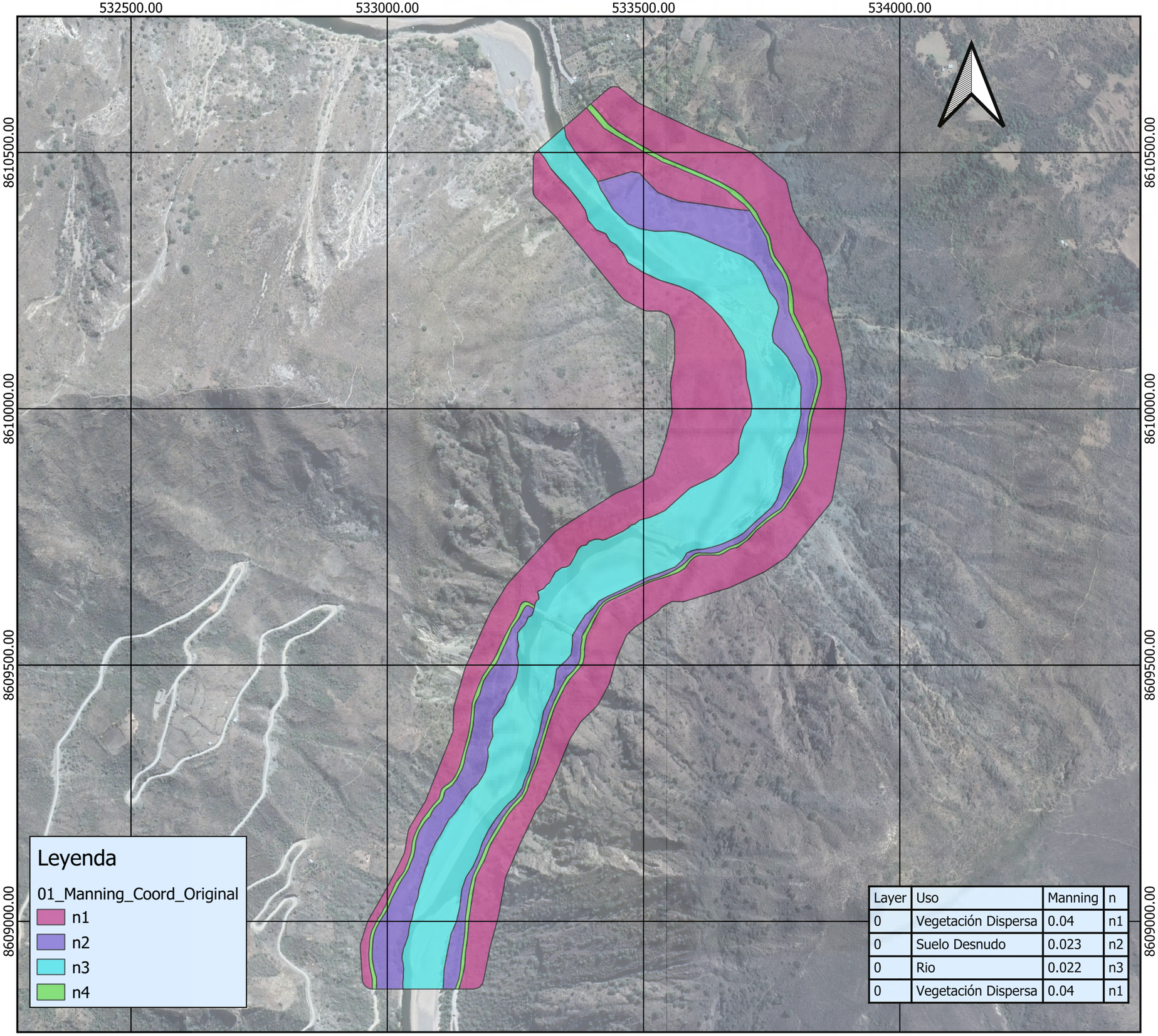
Perfil Longitudinal Eje rio Ccota
(1+000 – 2+100.00 Km)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA	ASESOR: Msc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO TESISTAS: BACH. ING. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO BACH. HUAMANI CASO MARIA ELENA	TESIS: "INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO"	LAMINA : PERFIL LONGITUDINAL	ESCALA : H: 1/3000 V: 1/300 FECHA : OCTUBRE – 2021	CODIGO : **PL-001**

532500.00 533000.00 533500.00 534000.00

8610500.00 8610000.00 8609500.00 8609000.00

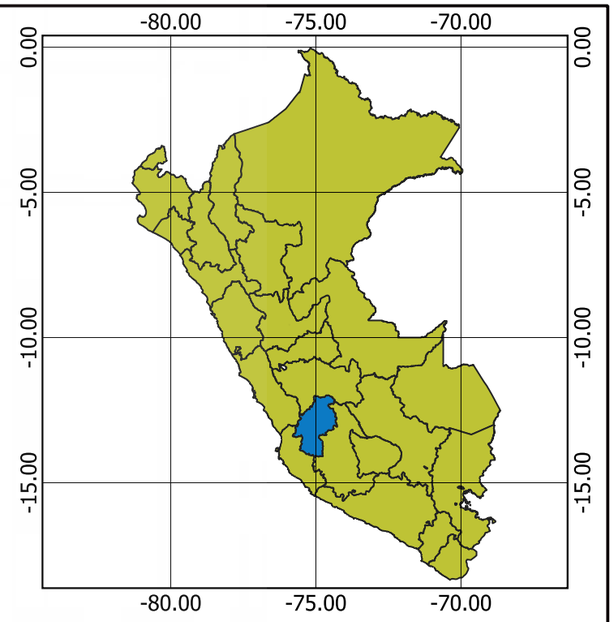


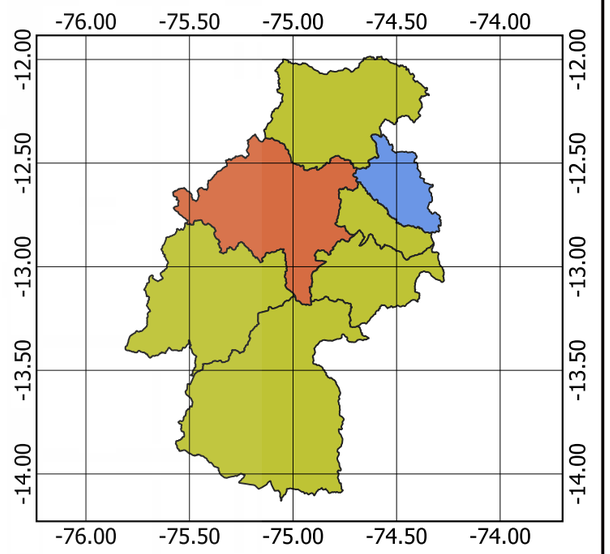
Leyenda

01_Manning_Coord_Original

- n1
- n2
- n3
- n4

Layer	Uso	Manning	n
0	Vegetación Dispersa	0.04	n1
0	Suelo Desnudo	0.023	n2
0	Rio	0.022	n3
0	Vegetación Dispersa	0.04	n1





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

PROYECTO:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO

PRESENTADO POR:
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

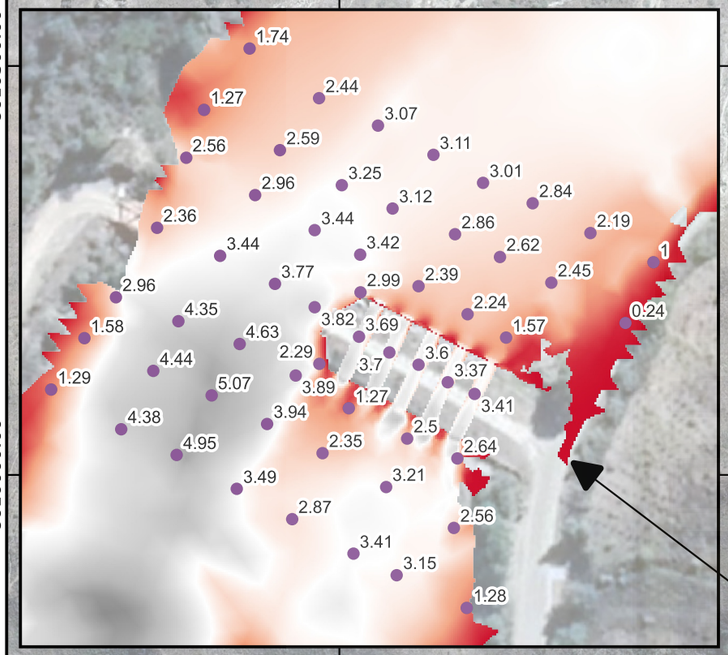
TÍTULO DEL MAPA:
MAPA DE RUGOSIDADES DE MANNING

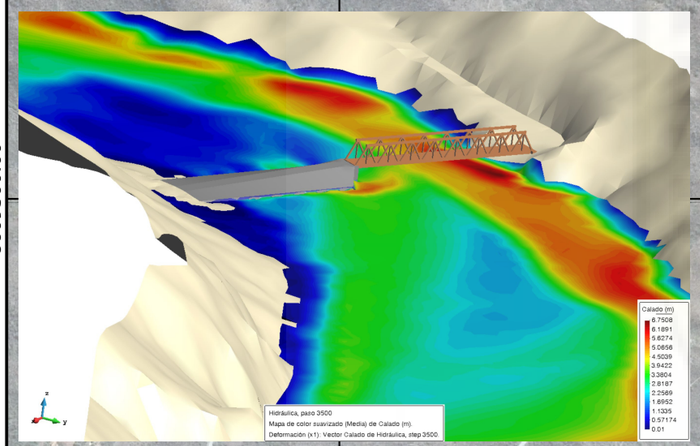
0 200 400 m
1:7,500

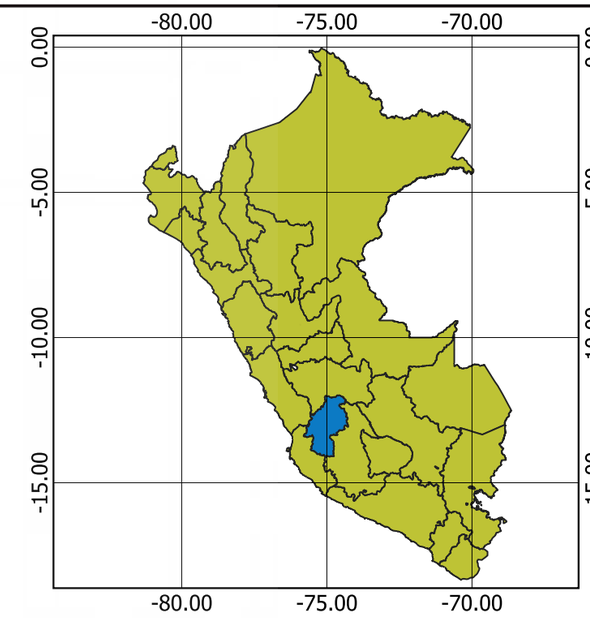
DATUM:
Transverse Mercator WGS 84 - UTM Zona 18S

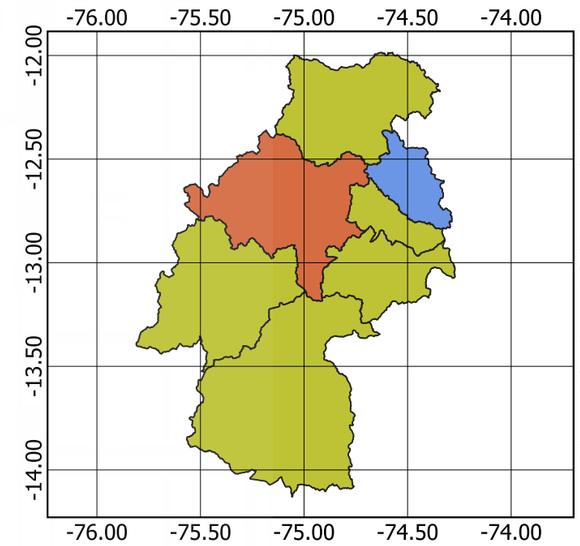
532500.00 533000.00 533500.00 534000.00

8610500.00 8610000.00 8609500.00 8609000.00









Leyenda

- 000_puntos_vel900.shp

001_max_velocity_900
Banda 1 (Gray)

6.615279
0.000299

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

PROYECTO:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO

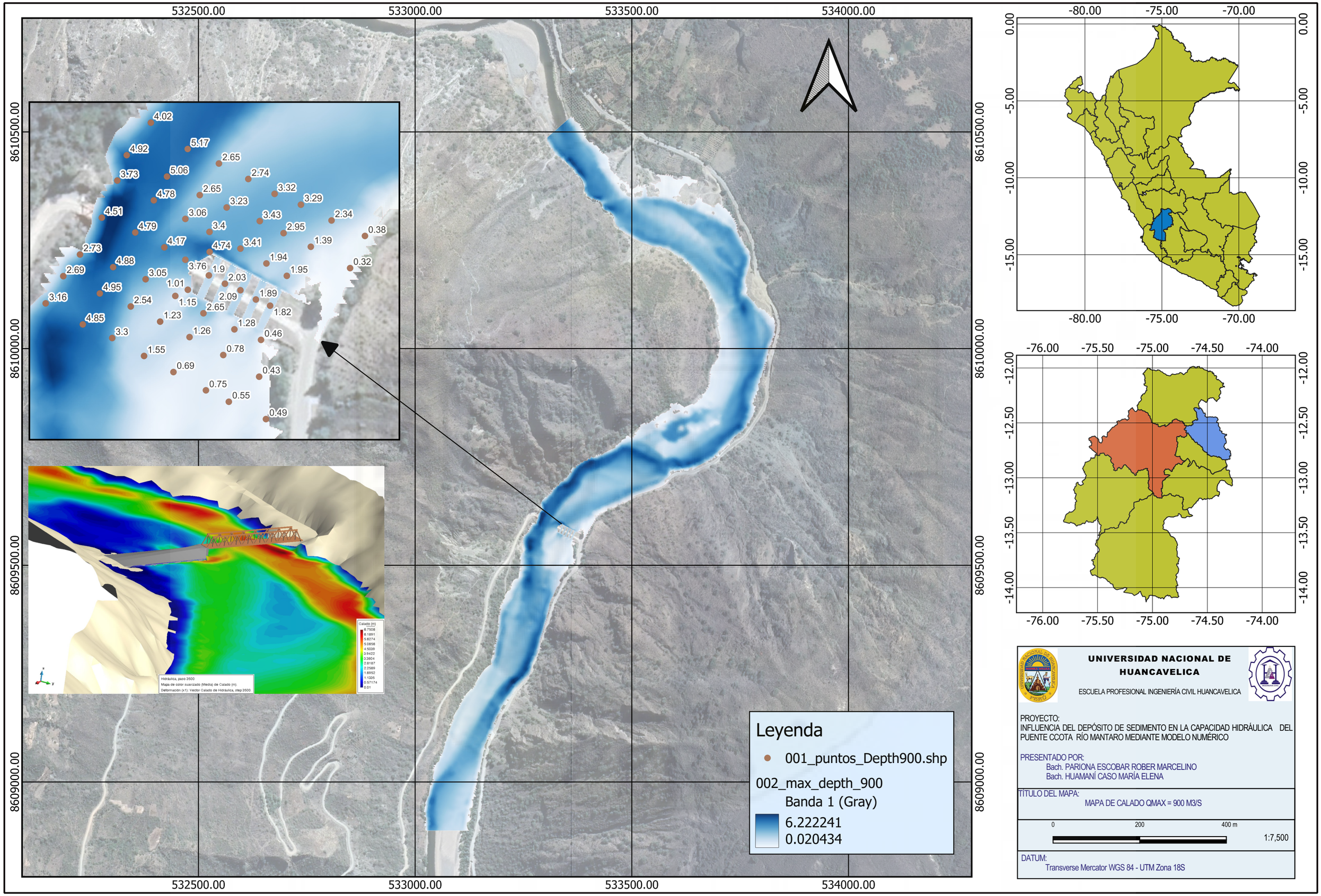
PRESENTADO POR:
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

TÍTULO DEL MAPA:
MAPA DE VELOCIDADES QMAX = 900 M3/S

0 200 400 m

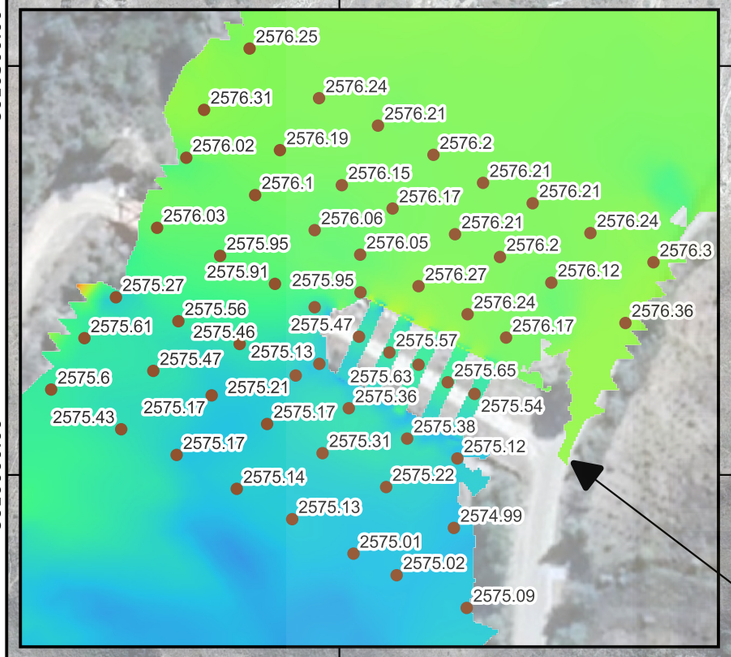
1:7,500

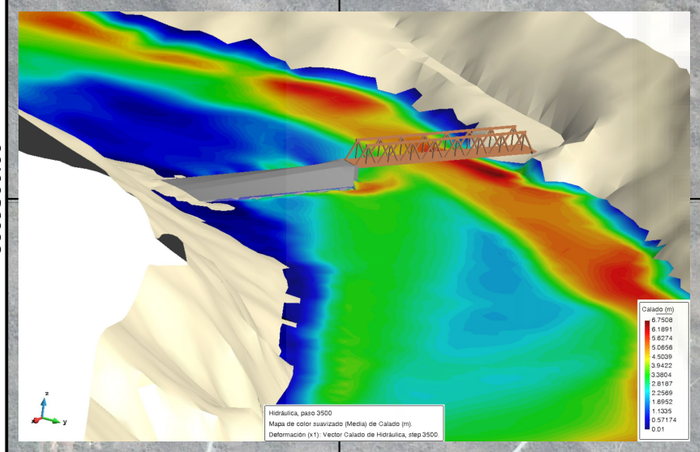
DATUM:
Transverse Mercator WGS 84 - UTM Zona 18S

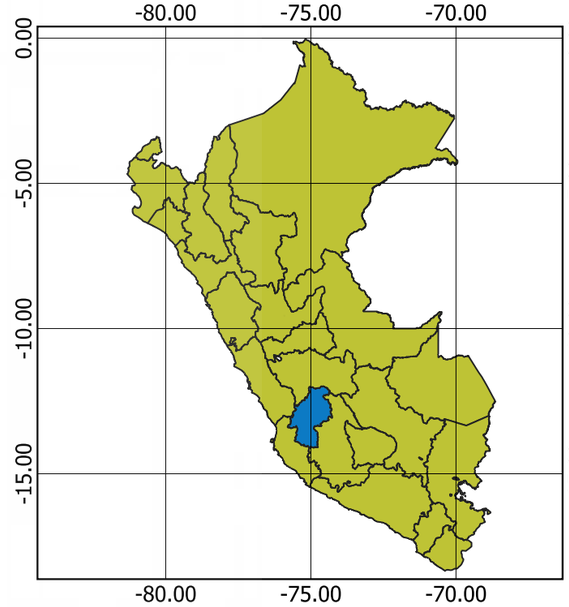

532500.00
533000.00
533500.00
534000.00
8610500.00
8610000.00
8609500.00
8609000.00
4.02
5.17
4.92
2.65
2.74
3.73
5.06
3.32
2.65
3.29
4.78
3.23
2.34
4.51
3.06
3.43
2.95
4.79
3.4
0.38
4.17
3.41
1.39
2.73
4.74
1.94
4.88
3.76
1.9
1.95
0.32
2.69
3.05
2.03
4.95
1.01
1.89
3.16
2.54
2.09
1.15
2.65
1.82
4.85
1.23
1.28
3.3
1.26
0.46
1.55
0.78
0.69
0.43
0.75
0.55
0.49
Calado (m)
6.7508
6.1891
5.6274
5.0656
4.5039
3.9422
3.3804
2.8187
2.2569
1.6952
1.1335
0.5717
0.01
Hidráulica, paso 3500
Mapa de color suavizado (Media) de Calado (m)
Deformación (x1): Vector Calado de Hidráulica, step 3500
Leyenda
001_puntos_Depth900.shp
002_max_depth_900
Banda 1 (Gray)
6.222241
0.020434
-80.00
-75.00
-70.00
0.00
-5.00
-10.00
-15.00
-76.00
-75.50
-75.00
-74.50
-74.00
-12.00
-12.50
-13.00
-13.50
-14.00
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA
PROYECTO:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO
PRESENTADO POR:
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA
TÍTULO DEL MAPA:
MAPA DE CALADO QMAX = 900 M3/S
0
200
400 m
1:7,500
DATUM:
Transverse Mercator WGS 84 - UTM Zona 18S

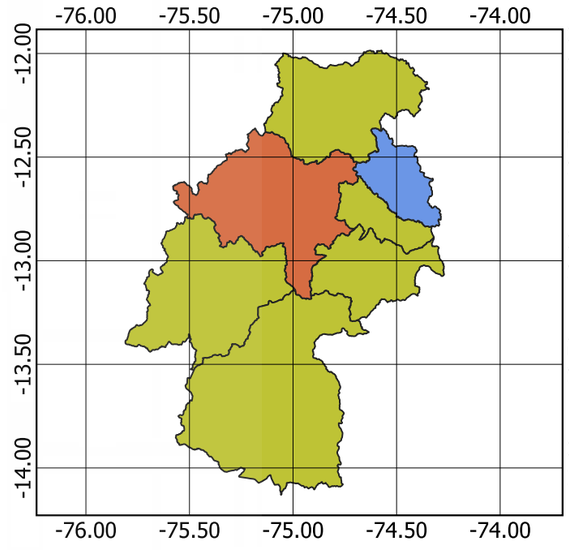
532500.00 533000.00 533500.00 534000.00

8610500.00 8610000.00 8609500.00 8609000.00









Leyenda

- 002_puntos_WSE900.shp

003_max_WSE_900
Banda 1 (Gray)

2,579.397
2,573.462

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

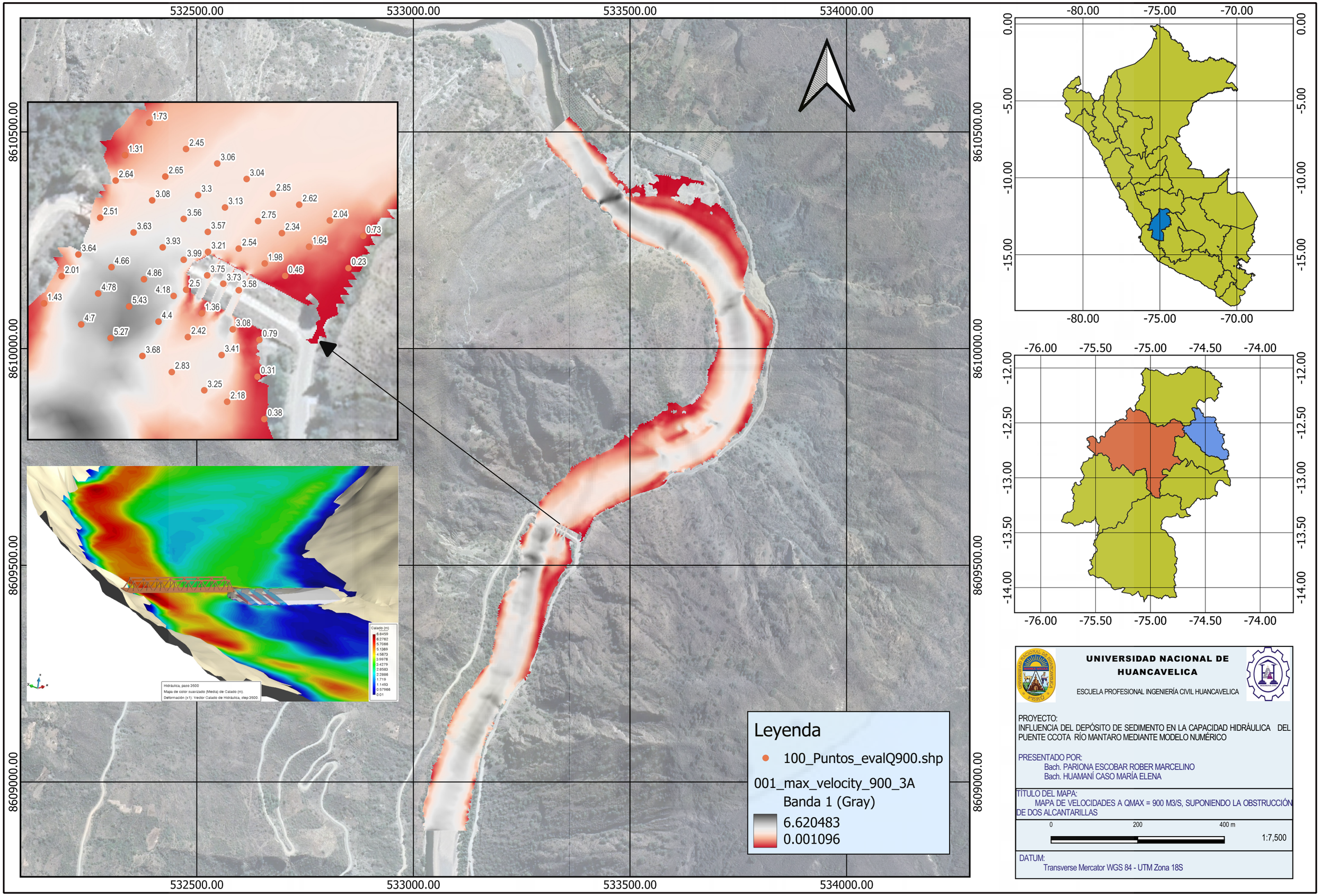
PROYECTO:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO

PRESENTADO POR:
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

TITULO DEL MAPA:
MAPA DE COTA DE AGUA QMAX = 900 M3/S

0 200 400 m
1:7,500

DATUM:
Transverse Mercator WGS 84 - UTM Zona 18S



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

PROYECTO:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO

PRESENTADO POR:
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

TÍTULO DEL MAPA:
MAPA DE VELOCIDADES A QMAX = 900 M3/S, SUPONIENDO LA OBSTRUCCIÓN DE DOS ALCANTARILLAS

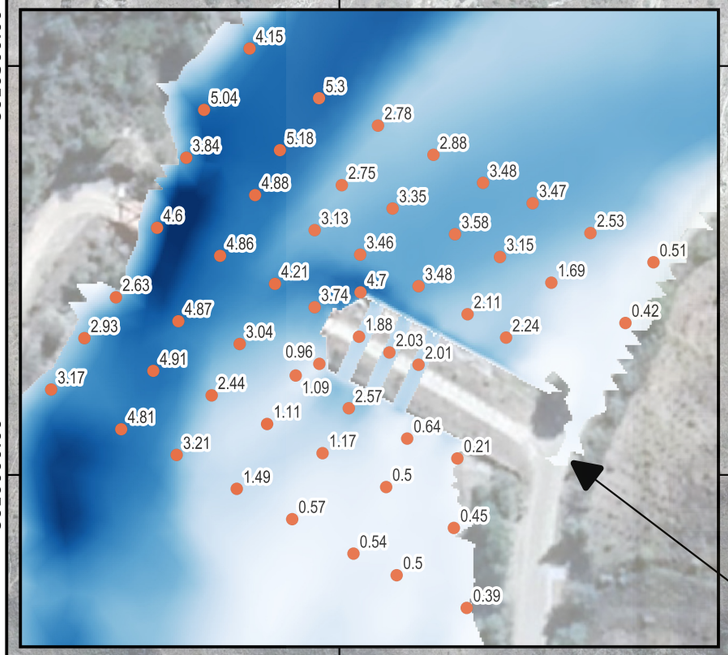
0 200 400 m

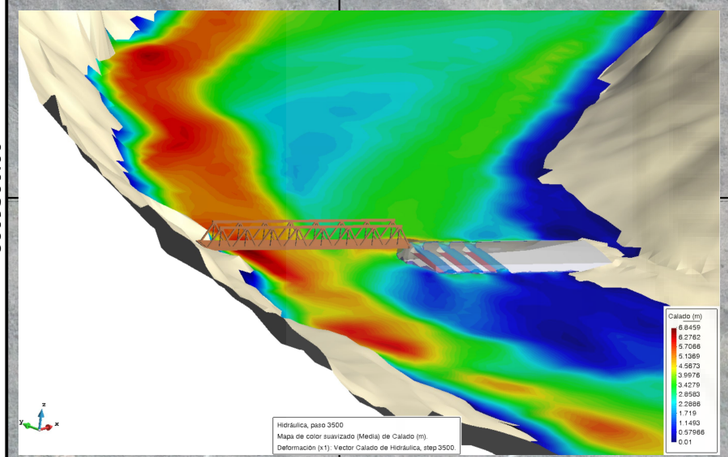
1:7,500

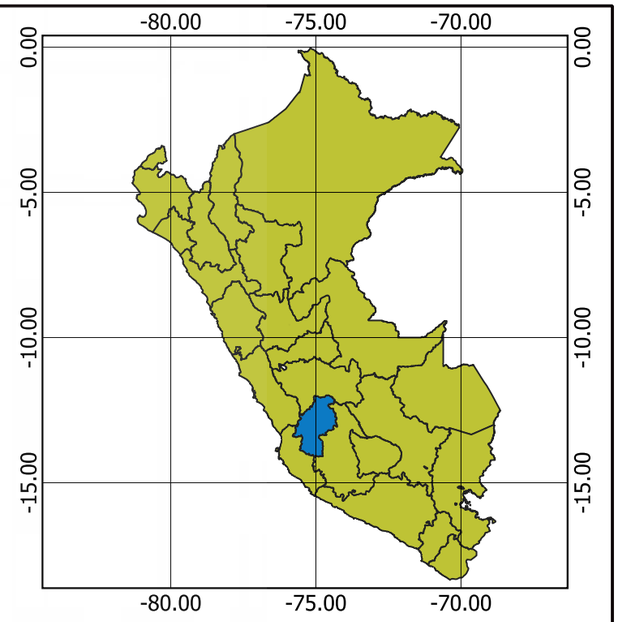
DATUM:
Transverse Mercator WGS 84 - UTM Zona 18S

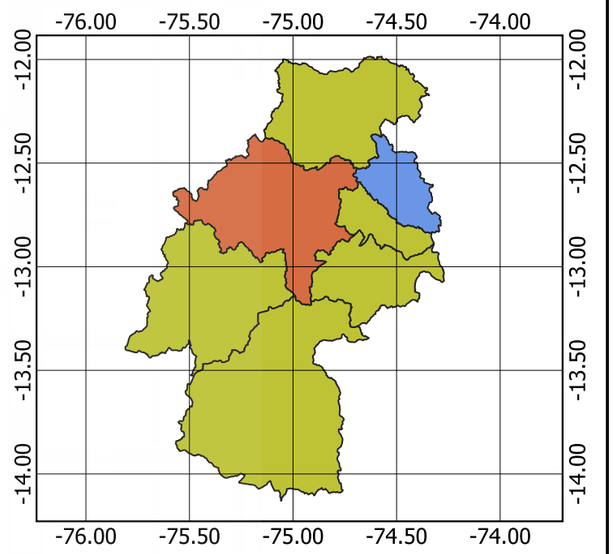
532500.00 533000.00 533500.00 534000.00

8610500.00 8610000.00 8609500.00 8609000.00









Leyenda

- 100_Puntos_evalQ900.shp

002_max_depth_900_3A
Banda 1 (Gray)

6.350988
0.033811

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

PROYECTO:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO

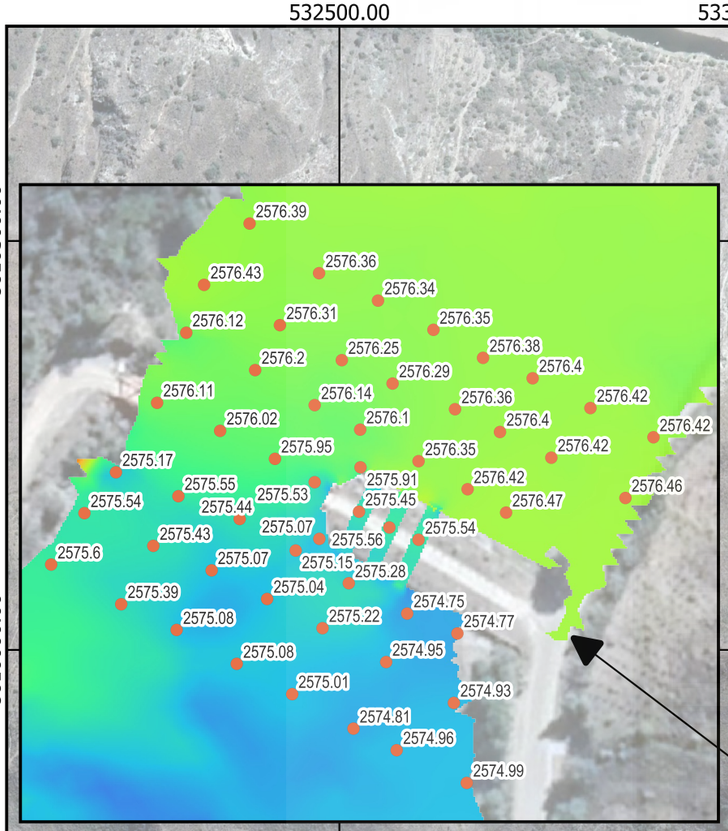
PRESENTADO POR:
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

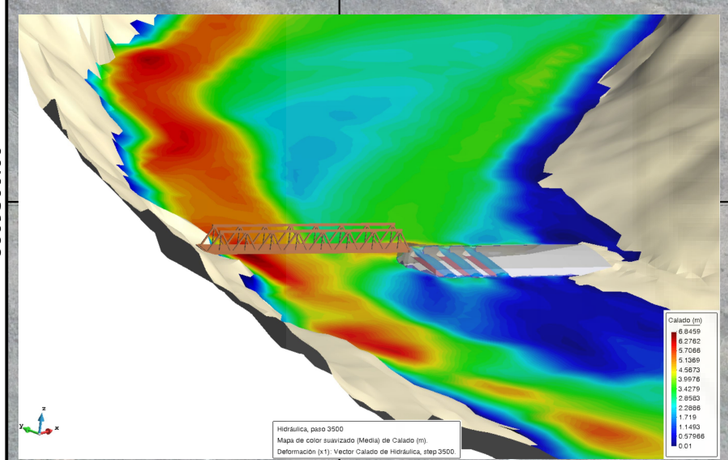
TÍTULO DEL MAPA:
MAPA DE CALADO A QMAX = 900 M3/S, SUPONIENDO LA OBSTRUCCIÓN DE DOS ALCANTARILLAS

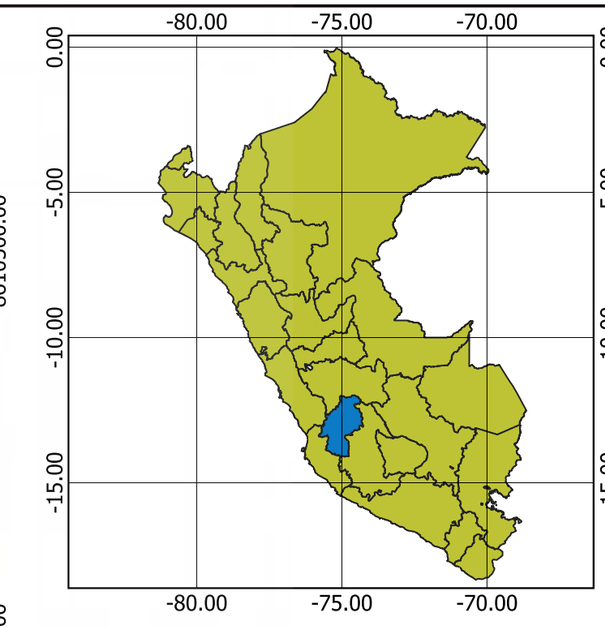
0 200 400 m

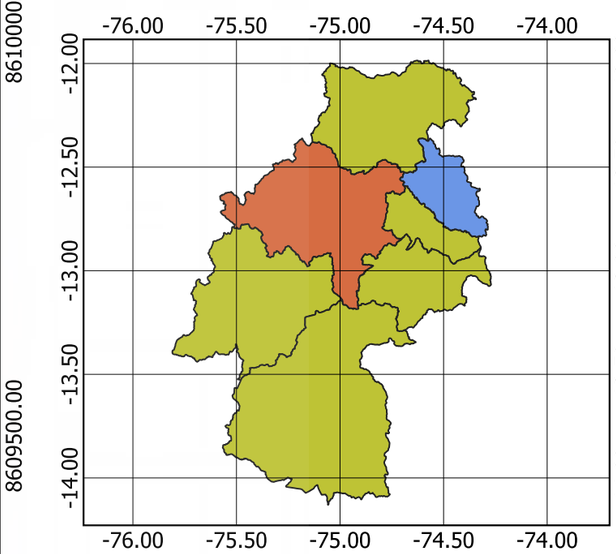
1:7,500

DATUM:
Transverse Mercator WGS 84 - UTM Zona 18S









532500.00 533000.00 533500.00 534000.00

8610500.00 8610000.00 8609500.00 8609000.00

Leyenda

- 100_Puntos_evalQ900.shp

003_max_WSE_900_3A
Banda 1 (Gray)

2,579.416
2,573.457

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

PROYECTO:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO

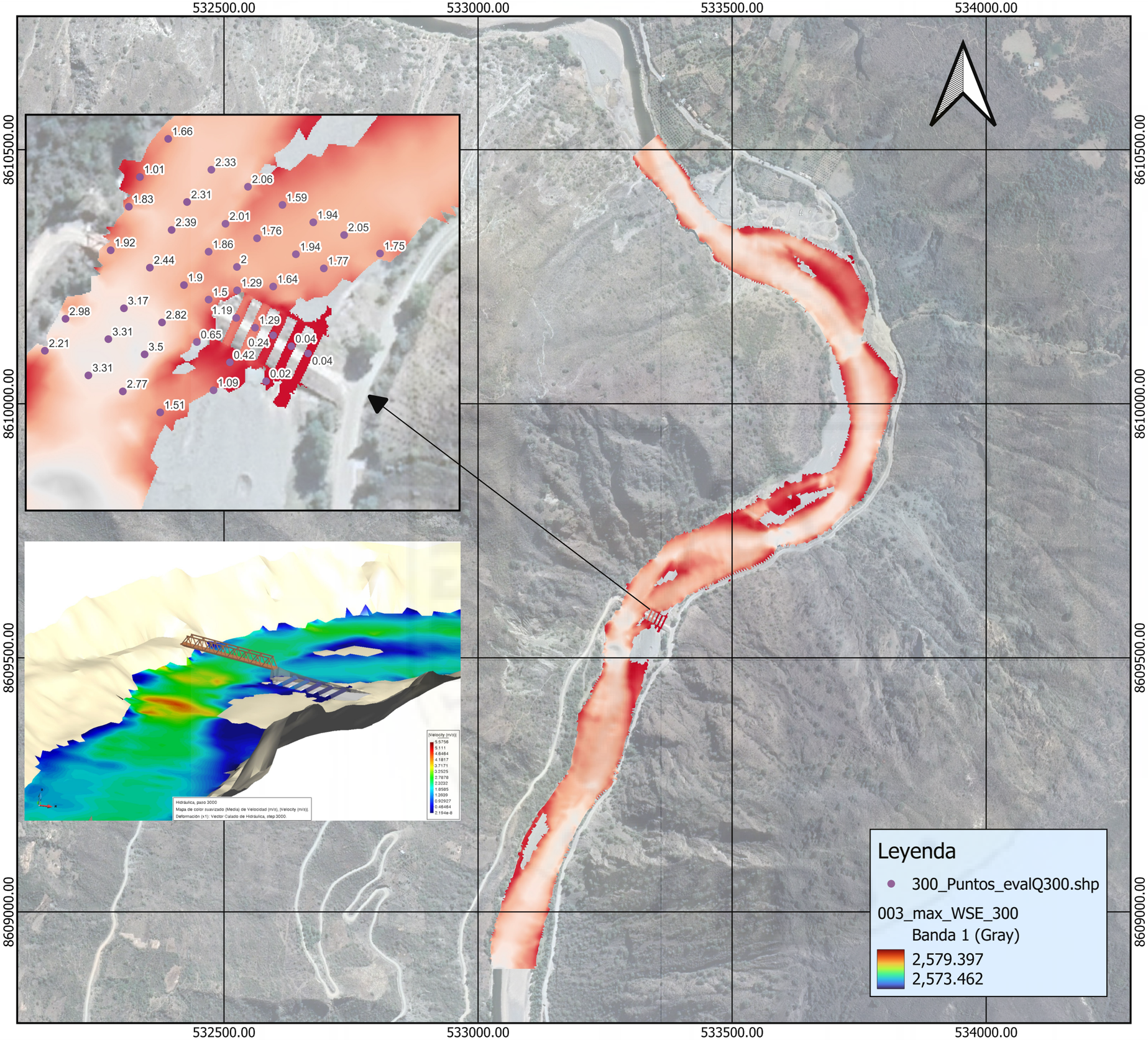
PRESENTADO POR:
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

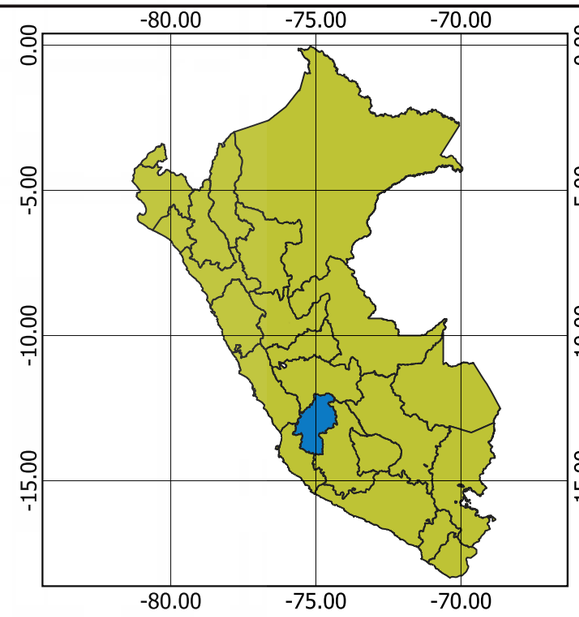
TÍTULO DEL MAPA:
MAPA DE COTA DE AGUA QMAX = 900 M3/S, SUPONIENDO LA OBSTRUCCIÓN DE DOS ALCANTARILLAS

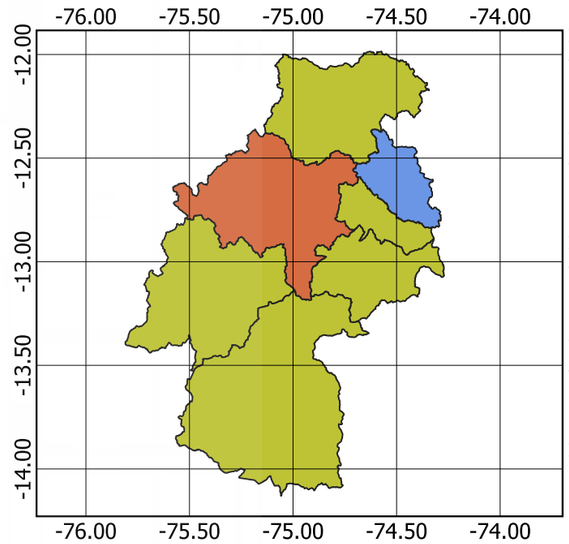
0 200 400 m

1:7,499.991166

DATUM:
Transverse Mercator WGS 84 - UTM Zona 18S







UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

PROYECTO:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO

PRESENTADO POR:
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

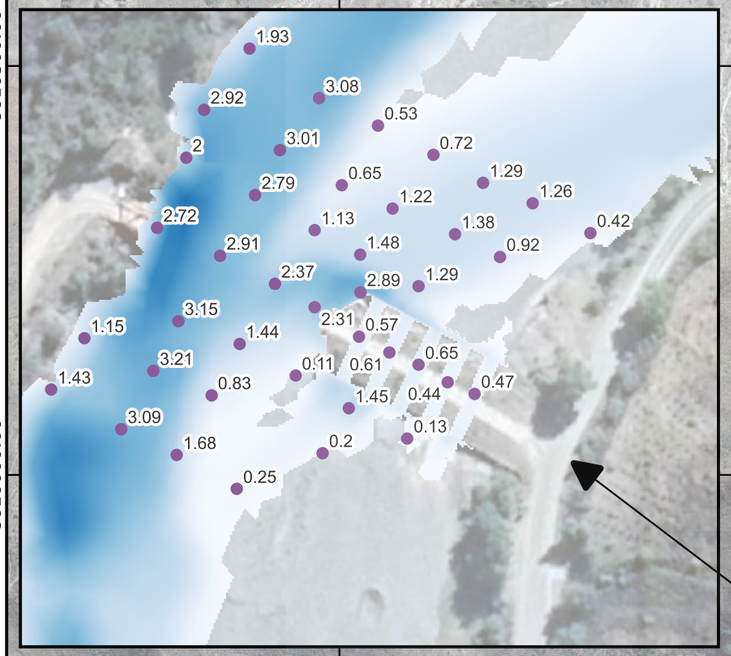
TITULO DEL MAPA:
MAPA DE VELOCIDADES QMAX = 300 M3/S

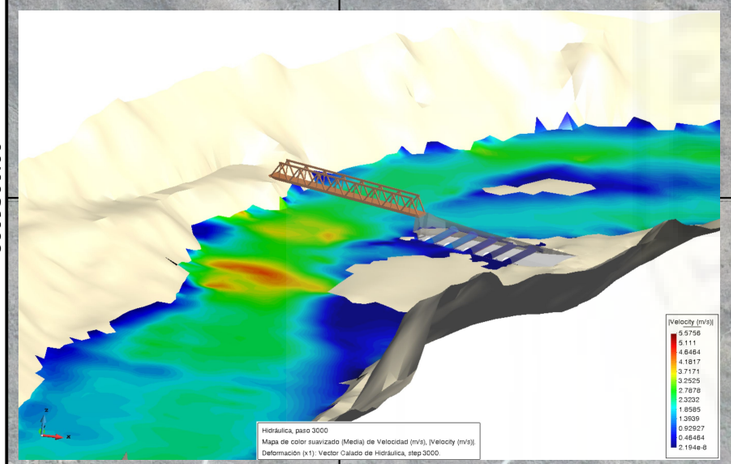
0 200 400 m
1:7,500

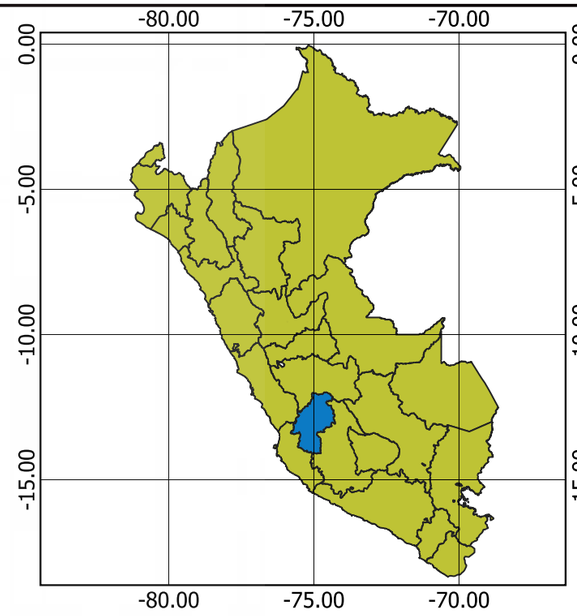
DATUM:
Transverse Mercator WGS 84 - UTM Zona 18S

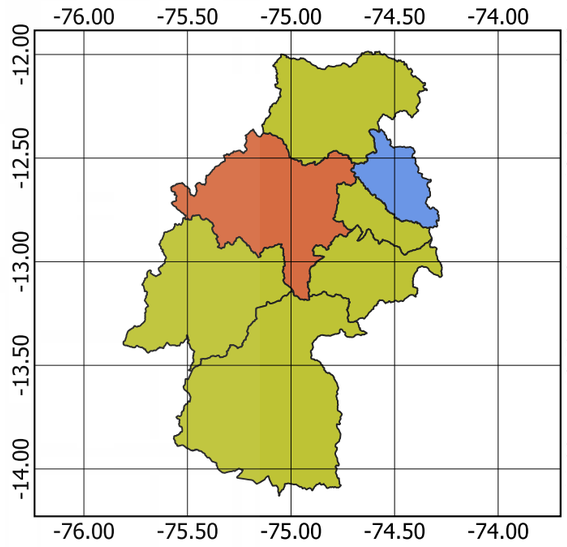
532500.00 533000.00 533500.00 534000.00

8610500.00 8610000.00 8609500.00 8609000.00









Leyenda

- 300_Puntos_evalQ300.shp

002_max_depth_300
Banda 1 (Gray)

6.222241
0.020434

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

PROYECTO:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO

PRESENTADO POR:
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

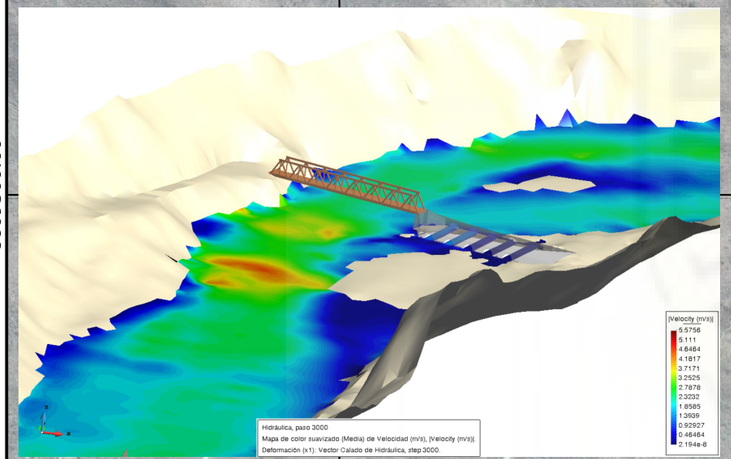
TITULO DEL MAPA:
MAPA DE CALADO QMAX = 300 M3/S

0 200 400 m
1:7,500

DATUM:
Transverse Mercator WGS 84 - UTM Zona 18S

532500.00 533000.00 533500.00 534000.00

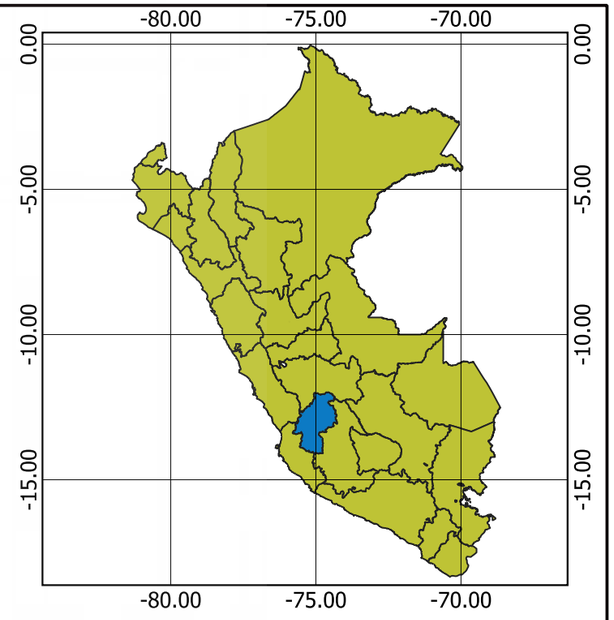
8610500.00 8610000.00 8609500.00 8609000.00

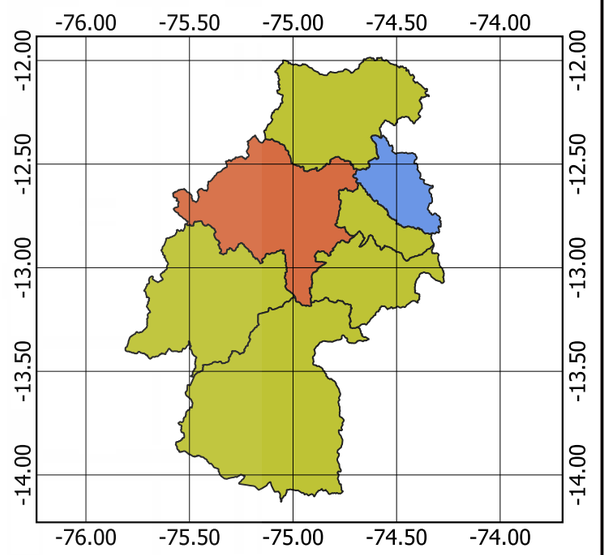


Leyenda

- 300_Puntos_evalQ300.shp

003_max_WSE_300
Banda 1 (Gray)
2,579.397
2,573.462





UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA

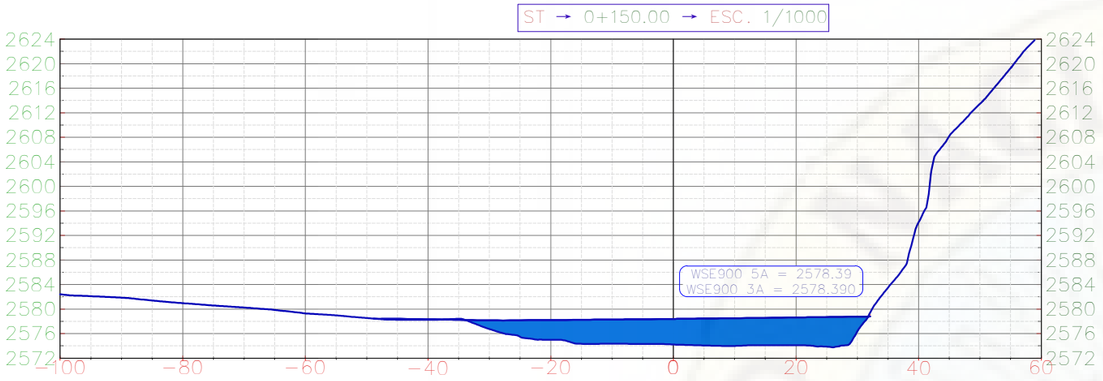
PROYECTO:
INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO

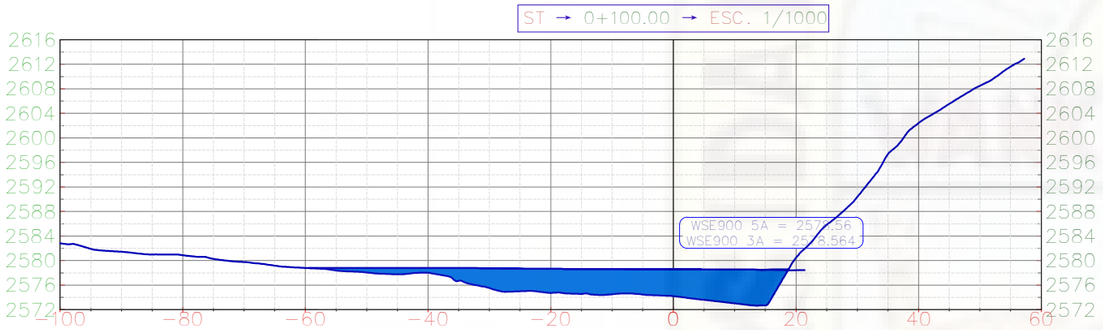
PRESENTADO POR:
Bach. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO
Bach. HUAMANÍ CASO MARÍA ELENA

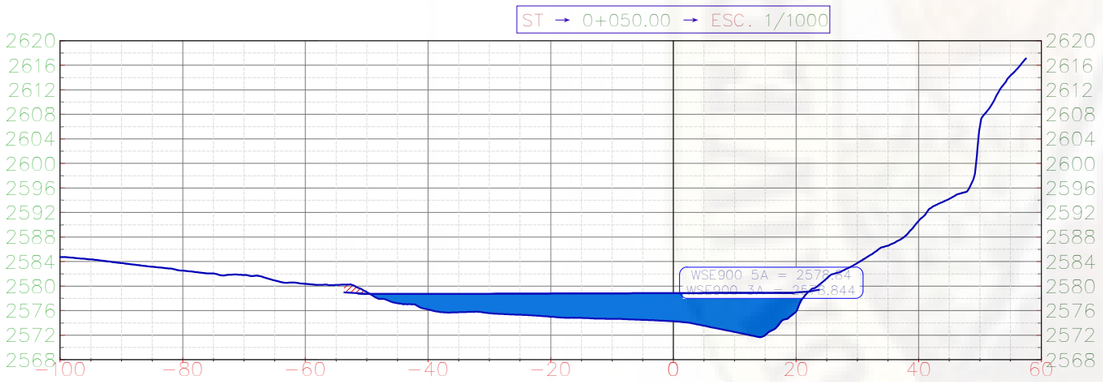
TÍTULO DEL MAPA:
MAPA DE COTA DE AGUA QMAX = 300 M3/S

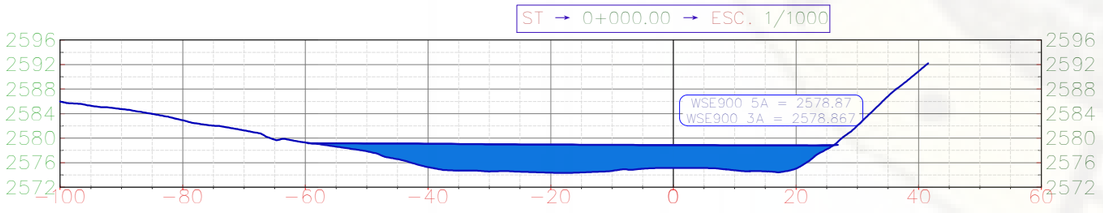
0 200 400 m
1:7,500

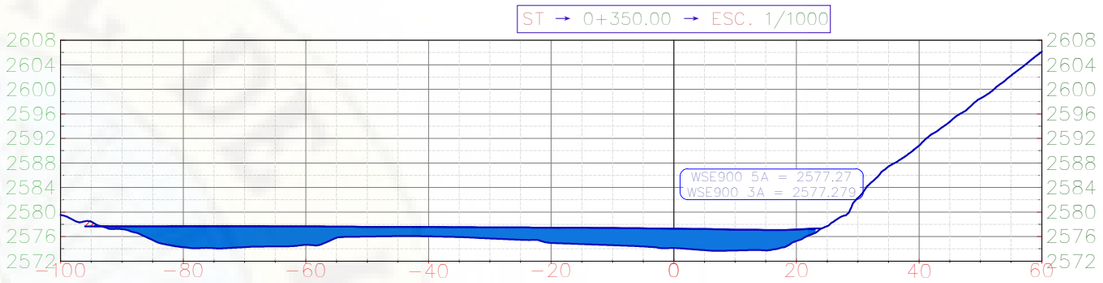
DATUM:
Transverse Mercator WGS 84 - UTM Zona 18S

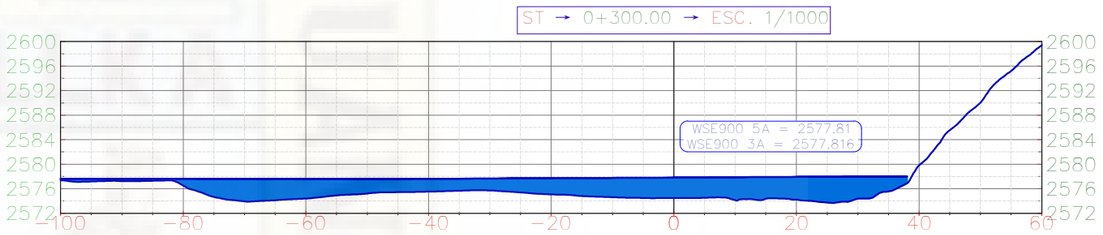


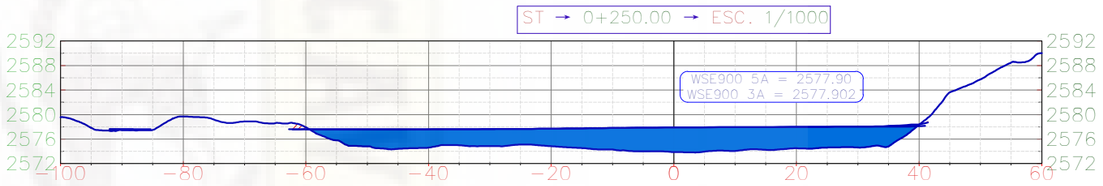


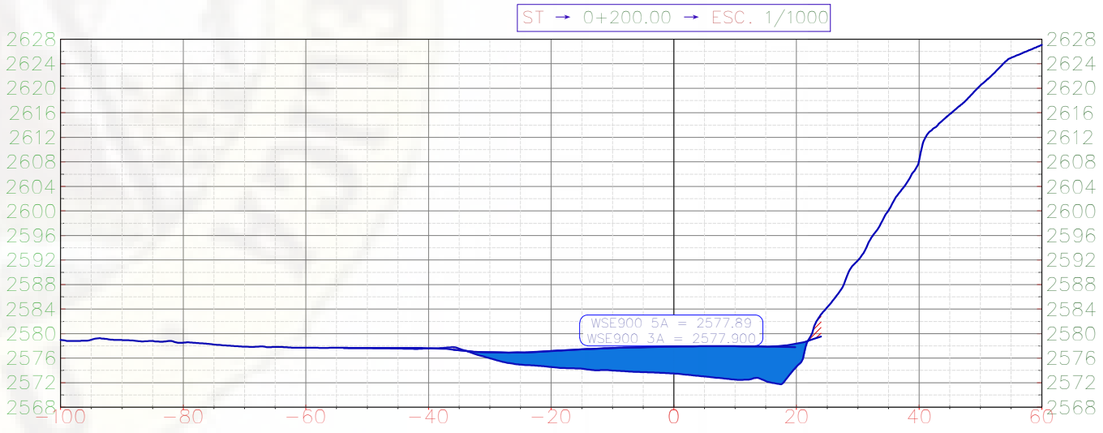




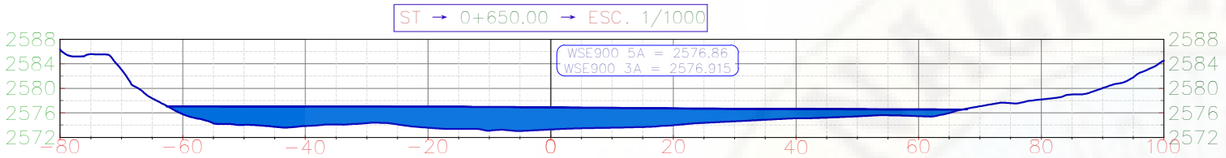


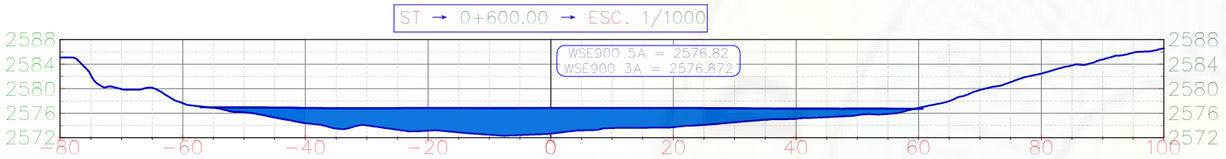


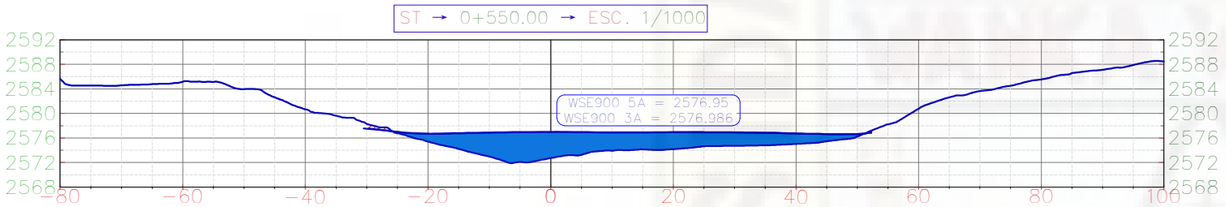


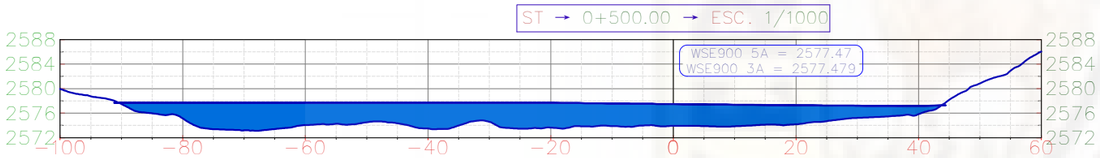


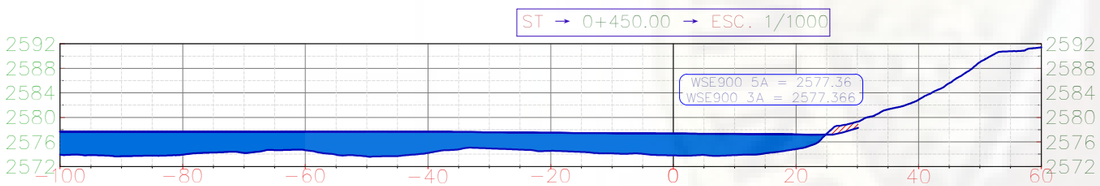
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA	ASESOR: Msc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO TESISTAS: BACH. ING. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO BACH. HUAMANI CASO MARIA ELENA	TESIS: "INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO"	LAMINA : SECCIONES TRANSVERSALES	ESCALA : 1/1000 FECHA : OCTUBRE – 2021	CODIGO : **ST-001**

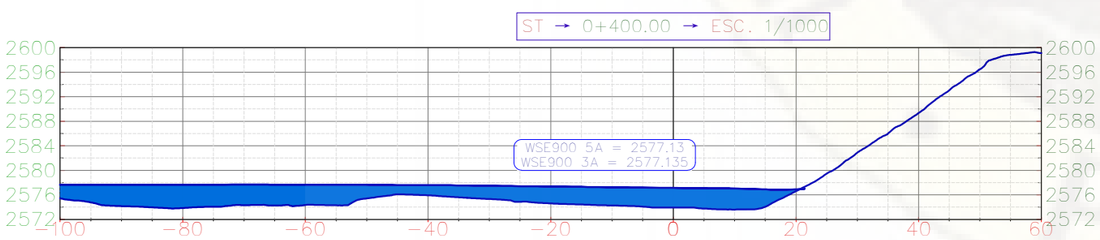


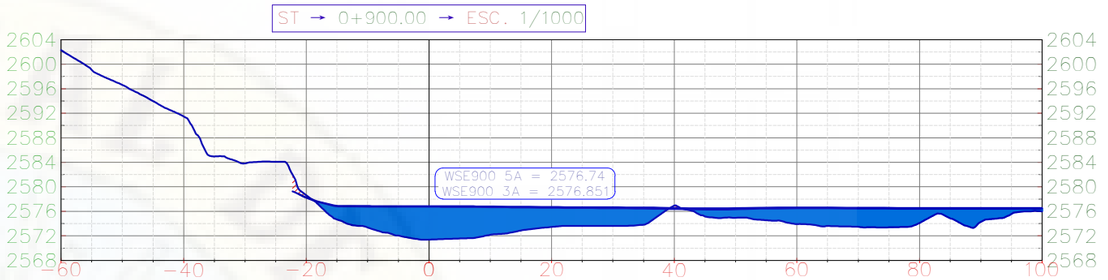


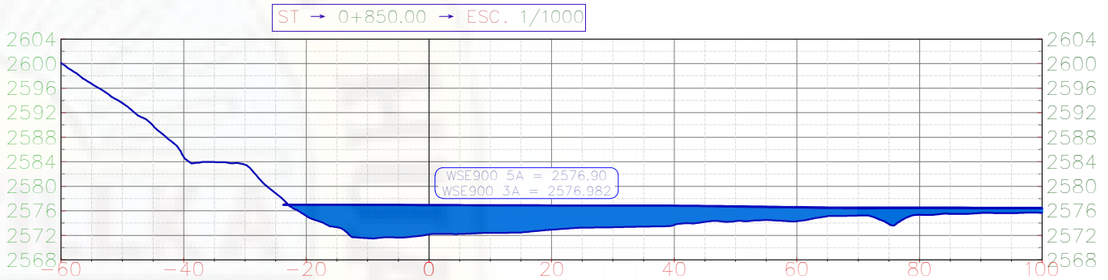


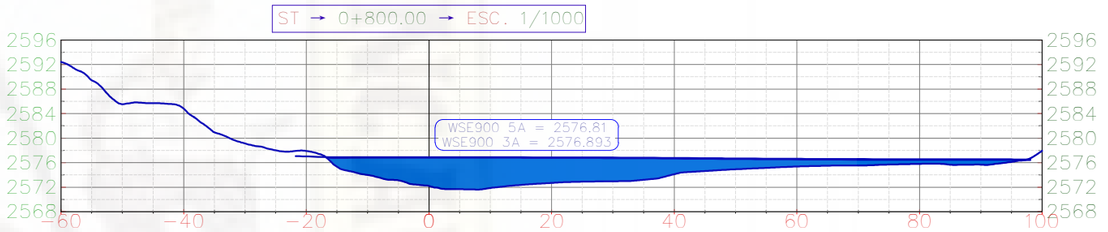


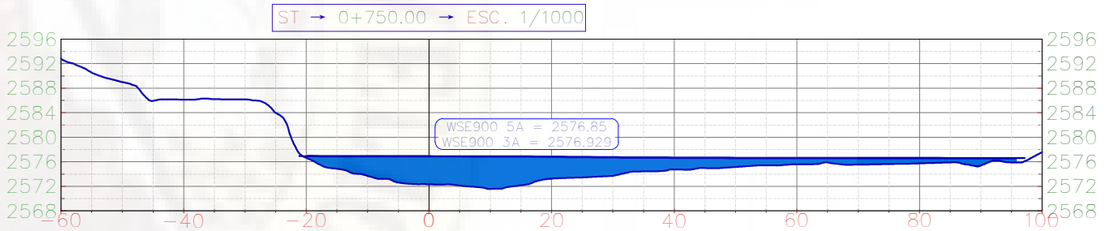


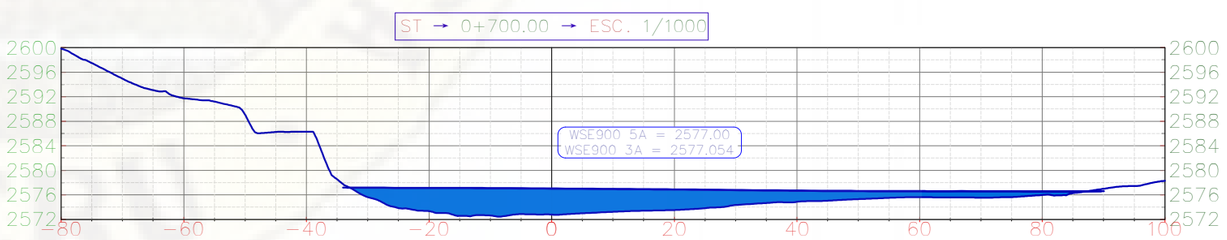




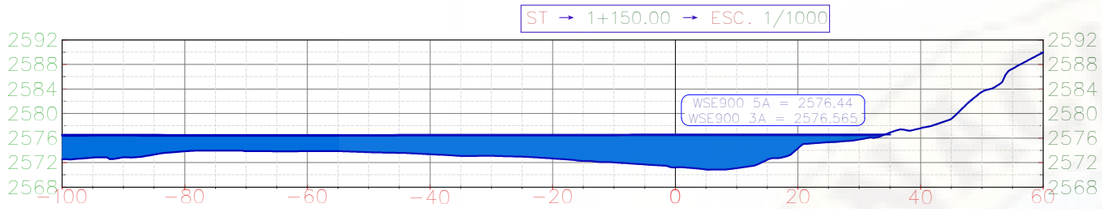


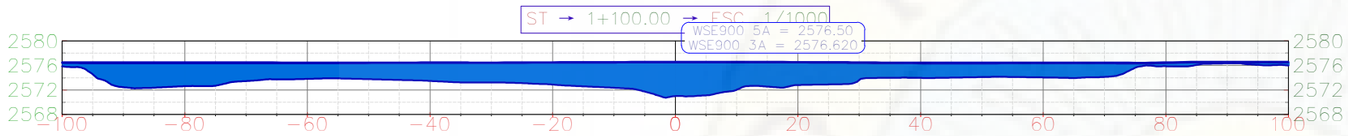


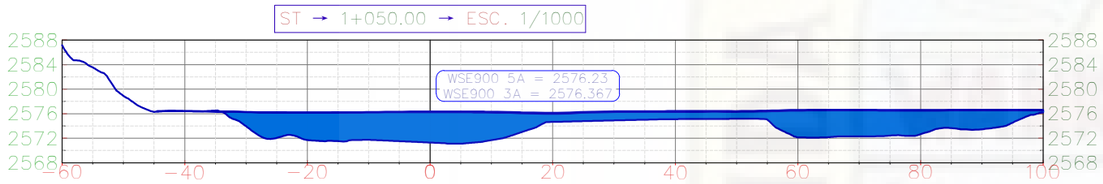


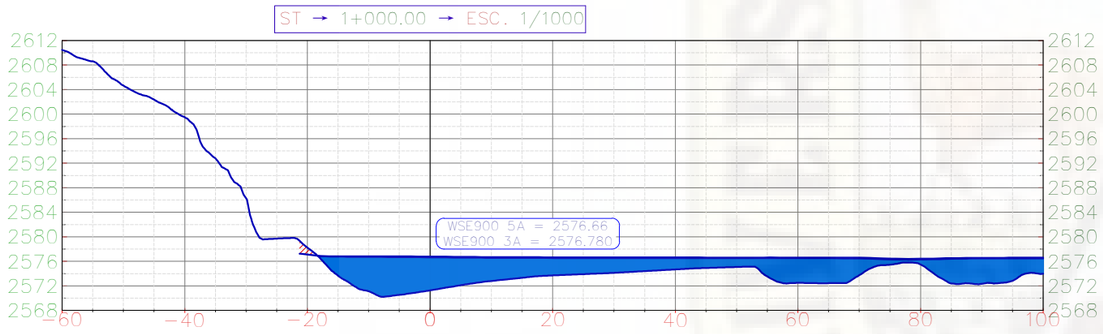


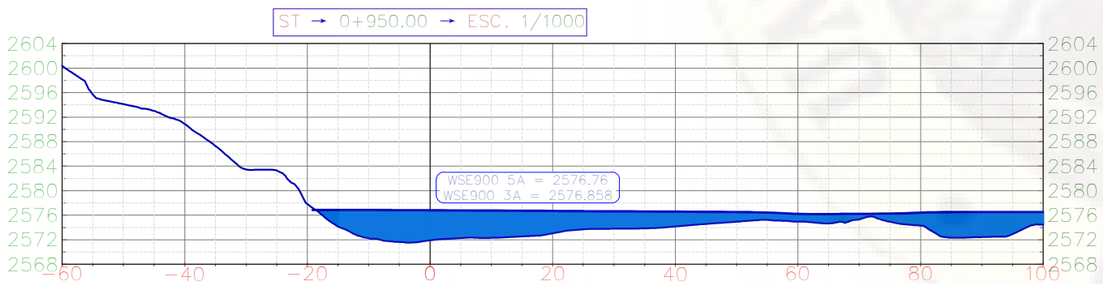
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA / **ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA**	ASESOR: Msc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO TESISTAS: BACH. ING. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO BACH. HUAMANI CASO MARIA ELENA	TESIS: "INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO"	LAMINA : SECCIONES TRANSVERSALES	ESCALA : 1/1000 FECHA : OCTUBRE – 2021	CODIGO : **ST-002**

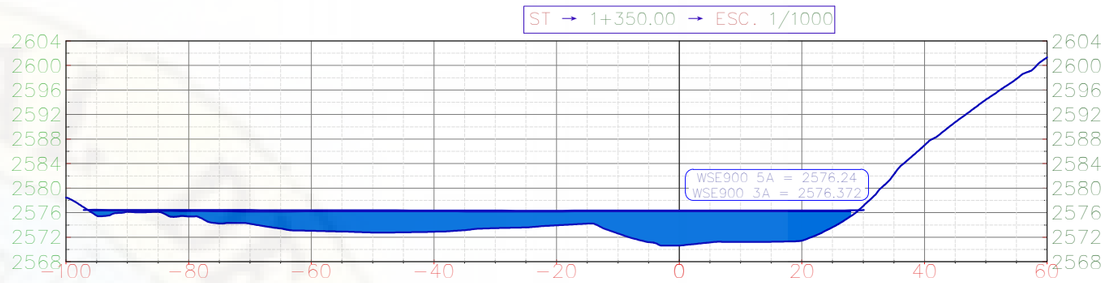


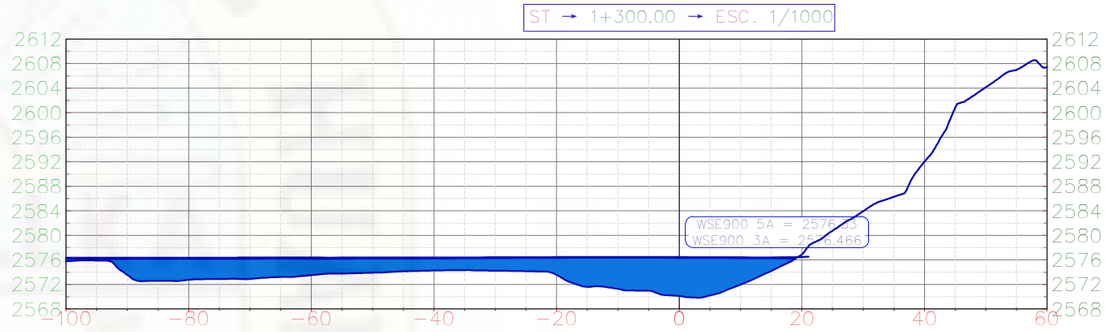


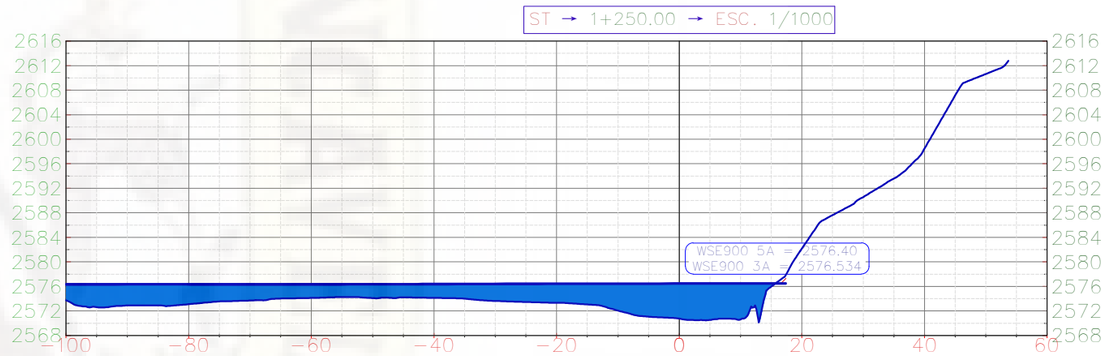


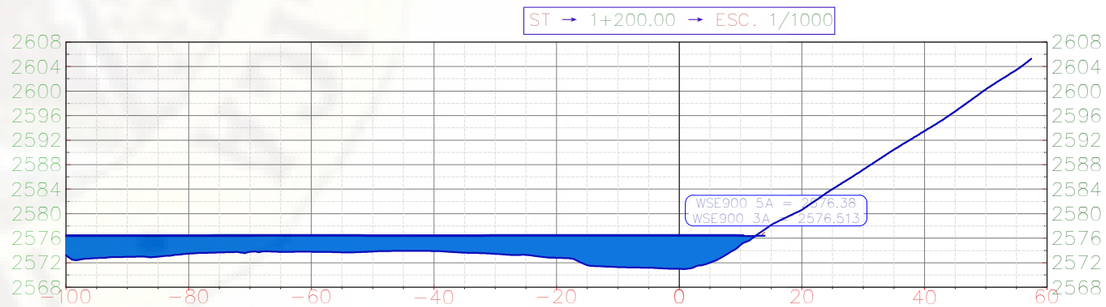




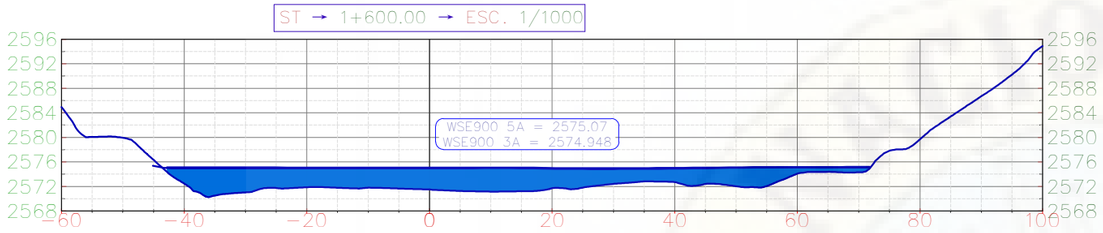


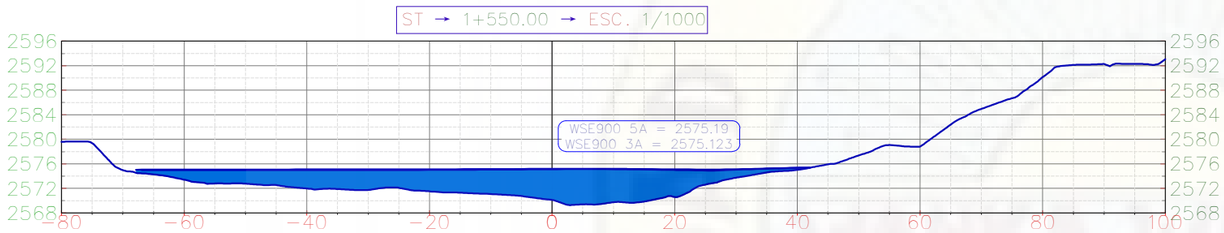


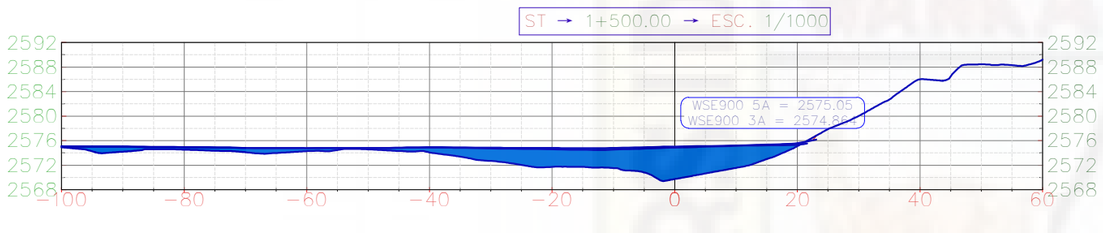


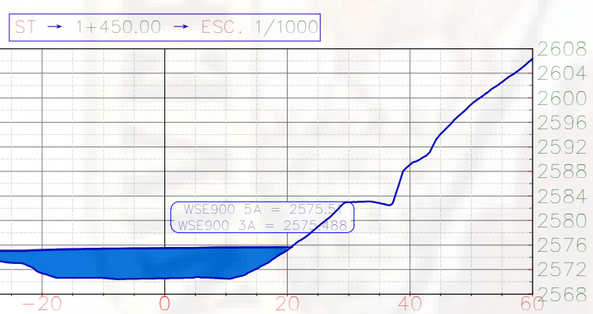


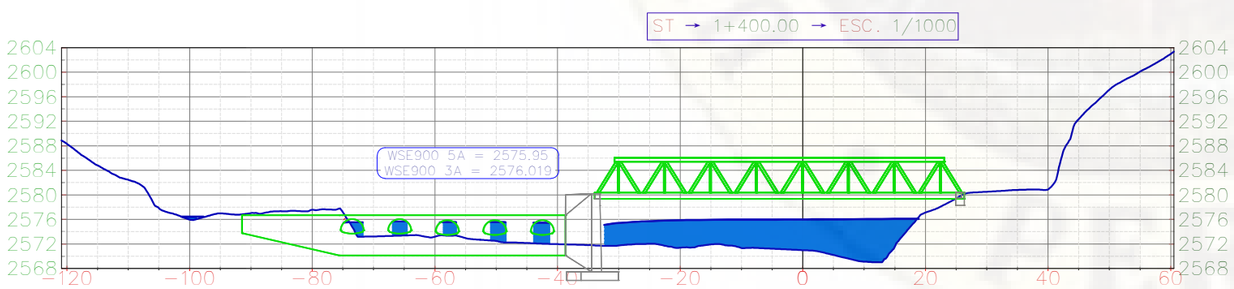
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA	ASESOR: Msc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO TESISTAS: BACH. ING. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO BACH. HUAMANI CASO MARIA ELENA	TESIS: "INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO"	LAMINA : SECCIONES TRANSVERSALES	ESCALA : 1/1000 FECHA : OCTUBRE – 2021	CODIGO : **ST-003**

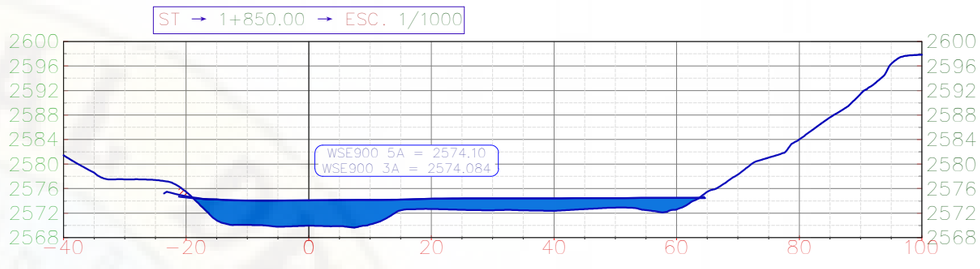


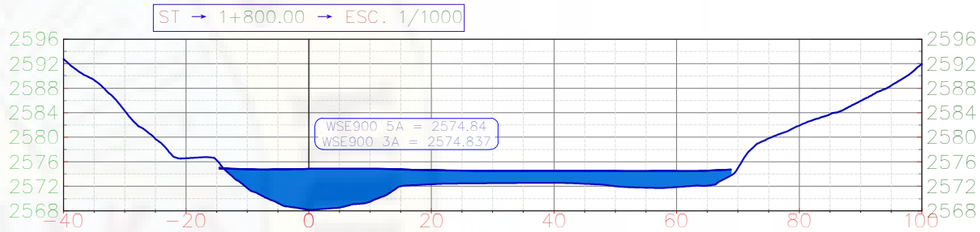


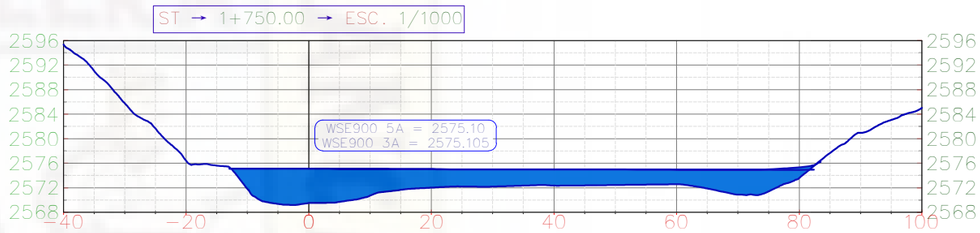


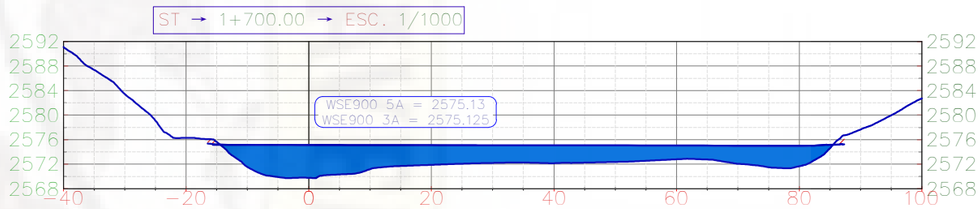


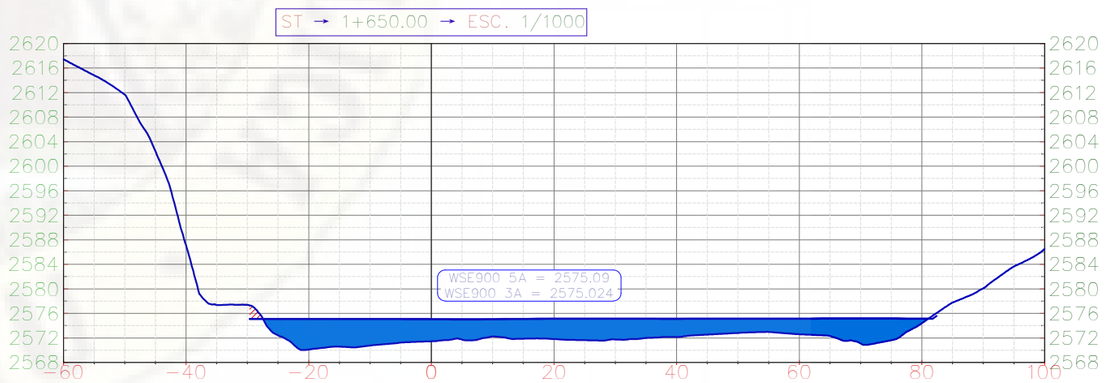




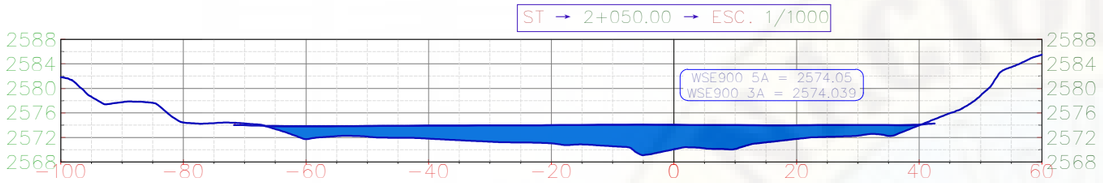


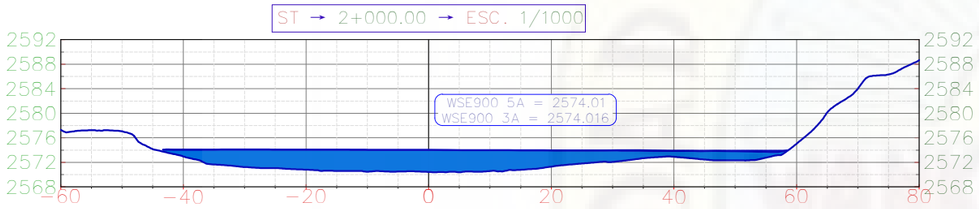


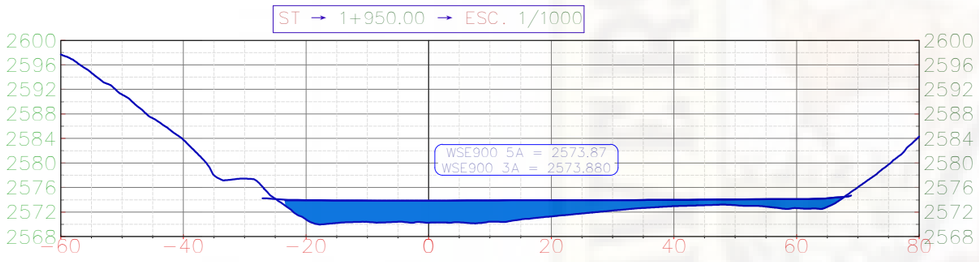


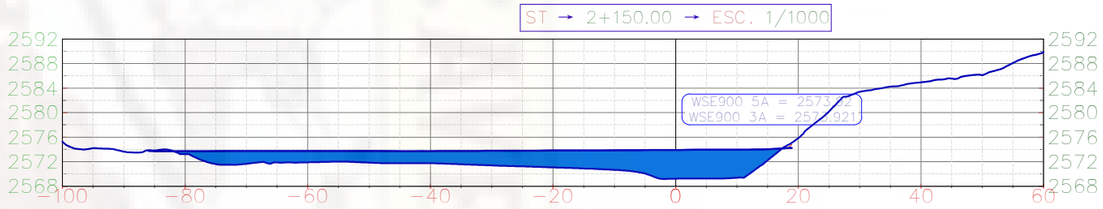


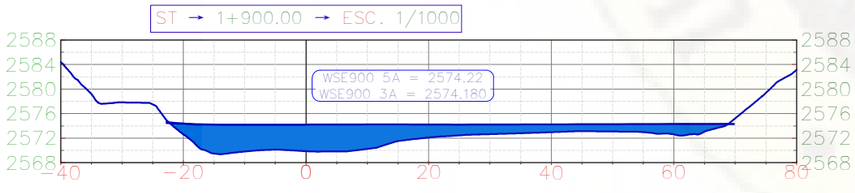
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA	**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA**	ASESOR: Msc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO TESISTAS: BACH. ING. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO BACH. HUAMANI CASO MARIA ELENA	TESIS: "INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO"	LAMINA : SECCIONES TRANSVERSALES	ESCALA : 1/1000 FECHA : OCTUBRE – 2021	CODIGO : **ST-004**

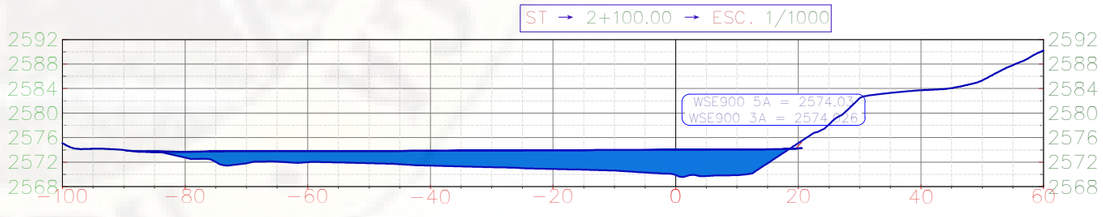












UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCAVELICA	ASESOR: Msc. AYALA BIZARRO IVÁN ARTURO TESISTAS: BACH. ING. PARIONA ESCOBAR ROBER MARCELINO BACH. HUAMANI CASO MARIA ELENA	TESIS: "INFLUENCIA DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTO EN LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL PUENTE CCOTA RÍO MANTARO MEDIANTE MODELO NUMÉRICO"	LAMINA : SECCIONES TRANSVERSALES	ESCALA : 1/1000 FECHA : OCTUBRE – 2021	CODIGO : **ST-005**