

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“DIAGNÓSTICO DE LAS PANTALLAS DE INFILTRACIÓN  
MEDIANTE MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO RIMAC CON  
IBER - 2D, SECTOR LA ATARJEA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL  
PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**FABIO GUSTAVO SILVA GÓMEZ SÁNCHEZ**

**LIMA - PERÚ**

**2023**

# TSP FABIO SILVA

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

15%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

---

1%

★ repositorio.unas.edu.pe

Fuente de Internet

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“DIAGNÓSTICO DE LAS PANTALLAS DE INFILTRACIÓN MEDIANTE  
MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO RIMAC CON IBER- 2D, SECTOR  
LA ATARJEA”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TITULO DE:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

Presentado por:

**BACH. FABIO GUSTAVO SILVA GÓMEZ SÁNCHEZ**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. EDUARDO ABRAHAM CHÁVARRI VELARDE  
Presidente

Mg. Sc. ERICK ABAD ROSALES ASTO  
Miembro

Mg. Sc. RICARDO APACLLA NALVARTE  
Miembro

Mg. Sc. TERESA OLINDA VELÁSQUEZ BEJARANO  
Asesor

LIMA – PERÚ

2023

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada a mis familiares y amigos, que siempre han creído en mi y estuvieron a mi lado, brindándome su apoyo incondicional y motivándome para conseguir mis metas y de esta manera hacer de mí una mejor persona.

Un agradecimiento especial para mis abuelos que, desde el cielo, me están cuidando y guiando para que todo me vaya bien.

Todos son parte fundamental en mis logros del día a día.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a los profesores de la Universidad Nacional Agraria la Molina por brindarme sus enseñanzas con la mejor disposición y sobre todo agradezco a mi asesora la Ing. Mg. Sc. Teresa Velásquez por siempre apoyarme en el desarrollo de mi tesis, por sus consejos y orientación.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Problemática.....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo principal .....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1. Tipos de flujo.....	4
2.2. Estado del flujo.....	6
2.3. Morfología de los ríos .....	6
2.3.1. Perfil longitudinal .....	7
2.3.2. Sección transversal del río .....	9
2.3.3. Propiedades morfológicas de los ríos .....	9
2.3.4. Clasificación de los ríos.....	9
2.4. Estabilidad del cauce .....	12
2.5. Erosión fluvial .....	12
2.6. Coeficiente de Manning .....	12
2.6.1. Ecuación de Manning .....	13
2.7. Ecuación de Chezy .....	17
2.7.1. Cálculo del factor de resistencia de Chézy .....	18
2.8. Socavación.....	21
2.9. Periodo de retorno .....	22
2.10. Recarga artificial .....	24
2.11. Pantallas de infiltración .....	24
<b>III. DESARROLLO DEL TRABAJO .....</b>	<b>25</b>
3.1. Realizar el inventario y situación de las pantallas de infiltración .....	27
3.2. Evaluar las características hidráulicas en las pantallas de filtración con caudales de máximas avenidas para un TR 100 años.....	30
3.3. Evaluar la información topográfica disponible .....	31
3.4. Evaluar las características geotécnicas disponibles en el lugar de las pantallas	

de filtración.....	31
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>35</b>
4.1. Realizar el inventario y situación de las pantallas de infiltración .....	35
4.2. Evaluar las características hidráulicas en las pantallas de filtración con caudales de máximas avenidas para un TR 100 años.....	37
4.2.1. Cálculo del periodo de retorno .....	37
4.2.2. Cálculo del coeficiente rugosidad.....	38
4.3. Evaluar la información topográfica disponible .....	39
4.3.1. Poligonal principal.....	40
4.3.2. Poligonal Secundaria .....	40
4.4. Evaluar las características geotécnicas disponibles en el lugar de las pantallas de filtración.....	43
4.5. Evaluar resultados del modelamiento hidráulico con IBER – 2D.....	45
4.5.1. Geometría del modelo.....	45
4.5.2. Creación de la superficie del cauce .....	46
4.5.3. Condiciones de contorno .....	47
4.5.4. Rugosidad en el modelo.....	48
4.5.5. Generación de malla .....	50
4.5.6. Importación del DEM al modelo .....	50
4.5.7. Simulación del Modelo y Post-proceso .....	51
4.5.8. Resultados de la simulación del modelo.....	52
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>60</b>
<b>VIII. ANEXOS .....</b>	<b>62</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de n para varios niveles en el rio Nishnabotna, Iowa, para la estación de crecimiento promedio .....	16
Tabla 2: Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad .....	17
Tabla 3: Riesgo admisible y vida útil de las obras .....	23
Tabla 4: Periodos de retorno recomendados.....	24
Tabla 5: Código de ubicación geográfica de la zona del proyecto .....	25
Tabla 6: Caudales para distintos periodos de retorno.....	30
Tabla 7: Diagnóstico de las pantallas de infiltración mas críticas.....	37
Tabla 8: Valores para n0, n1, n2, n3, n4 y m5.....	39
Tabla 9: Valores de “n” dados por Horton, para ser empleados en la fórmula de Manning.....	39
Tabla 10: Coordenadas UTM y cotas de las pantallas de infiltración .....	42
Tabla 11: Tamaño de malla de las zonas del estudio .....	50
Tabla 12: Parámetros del tiempo de la simulación.....	51
Tabla 13: Parámetros generales de la simulación.....	51
Tabla 14: Variables del modelamiento.....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diferentes tipos de flujo en canales abiertos; F.G.V. =Flujo gradualmente variado; F.R.V. = Flujo rápidamente variado .....	6
Figura 2: Tipos principales de cauce .....	7
Figura 3: Perfil longitudinal de un río .....	8
Figura 4: Clasificación morfológica de los ríos.....	10
Figura 5: Representación gráfica del Criterio de LANE para distinguir entre los ríos meándricos y entrelazados.....	11
Figura 6: Valores de valor de n con el nivel medio o la profundidad .....	15
Figura 7: Solución gráfica de la ecuación de G.K. ....	18
Figura 8: Plano de ubicación de la zona del proyecto .....	26
Figura 9: Vista aguas arriba de la bocatoma La Atarjea.....	27
Figura 10: Vista aguas debajo de la bocatoma La Atarjea .....	28
Figura 11: Ubicación de pantalla N°1 .....	28
Figura 12: Estado actual del cauce del río Rímac .....	29
Figura 13: Ubicación de pantalla N°60 .....	29
Figura 14: Distribución de calicatas de la pantalla 1 a la 16 .....	32
Figura 15: Distribución de calicatas de la pantalla 17 a la 31 .....	32
Figura 16: Distribución de calicatas de la pantalla 32 a la 46 .....	33
Figura 17: Distribución de calicatas de la pantalla 47 a la 60 .....	33
Figura 18: Pantallas de infiltración enterradas parcial y totalmente .....	35
Figura 19: Pantallas de infiltración N°9 y 12 con gran desgaste en corona .....	36
Figura 20: Pantalla de infiltración N°24 erosionada aguas abajo.....	36
Figura 21: Pantalla de infiltración N°29 con colapso estructural.....	37
Figura 22: Plano de ubicación de las pantallas de infiltración .....	41
Figura 23: Boletín del INGENMET N°043A.....	43
Figura 24: Obtención del material areno gravoso GP (Pantalla N°06) .....	44
Figura 25: Obtención del material areno gravoso GP (Pantalla N°36) .....	45
Figura 26: Geometría del modelo.....	46
Figura 27: Superficie del modelo .....	46
Figura 28: Condiciones del contorno.....	47
Figura 29: Condición del contorno de entrada .....	48

Figura 30: Condición del contorno de salida.....	48
Figura 31: Conformación del material del dique de embancamiento.....	49
Figura 32: Rugosidad del modelo.....	49
Figura 33: Malla generada.....	50
Figura 34: Malla generada y DEM explanado.....	51
Figura 35: Resultado de la velocidad del modelamiento.....	54
Figura 36: Resultado del tirante de agua del modelamiento .....	55
Figura 37: Resultado del froude del modelamiento.....	56

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Ensayos de laboratorio.....	62
--------------------------------------	----

## RESUMEN

El presente TSP tiene como finalidad el planteamiento de renovación para las pantallas de infiltración mediante modelamiento hidráulico del río Rímac con IBERD – 2D, dentro del Sector La Atarjea – SEDAPAL. Se realizó una evaluación técnica de las pantallas de infiltración con el fin de evaluar y determinar las posibles fallas estructurales que pueda presentar la estructura, realizando ensayos de calidad del concreto como perforación diamantina, esclerometría, etc.; además de corroborar y/o actualizar la información de dimensiones brindadas por la entidad. No se está realizando un análisis sobre la recarga de los acuíferos. Respecto a la información hidrológica, se extrajo información del estudio hidrológico desarrollado por la empresa HC & Asociados, el cual extrajo información de las estaciones meteorológicas de SENAMHI ubicadas en la cuenca del río Rímac, con el fin de obtener los caudales máximos a los que fueron sometidas las pantallas de infiltración. Respecto a la información topográfica, se extrajo información del estudio topográfico desarrollado por la empresa CISPDR, el cual realizó el levantamiento topográfico de la zona, a fin de identificar las características del cauce y longitudes de las pantallas de infiltración. Respecto a la información geotécnica, se extrajo información del estudio topográfico desarrollado por la empresa CISPDR, el cual determinó las características geotécnicas y geológicas del cauce del río, caracterizando los diferentes estratos del terreno e identificando el material predominante. Finalmente, la información recolectada de los diferentes estudios, fue acoplada e implementada en el software IBER - 2D, teniendo como resultado final los parámetros hidráulicos a los cuales fueron sometidas las pantallas de infiltración, y con ello identificando cuales son las estructuras más críticas con el fin de plantear su renovación.

**Palabras clave:** río Rímac, pantallas de infiltración, caudales máximos, renovación.

## ABSTRACT

The purpose of this TSP is the presentation of the renewal approach for infiltration screens through hydraulic modeling of the Rímac river with IBERD – 2D, within the La Atarjea Sector – SEDAPAL. A technical evaluation of the infiltration screen was performed to evaluate and determine the possible structural failures that the structure may present, performing quality tests of the concrete such as diamond drilling, sclerometry, etc.; in addition to corroborating and/or updating the dimension information provided by the entity. An analysis on aquifer recharge is not being performed. Regarding the hydrological information, it was extracted from the hydrological study developed by the company HC & Asociados, which took information from the SENAMHI meteorological stations located in the Rímac river basin, to obtain the maximum flow rates to which the infiltration screens were subjected. Regarding the topographic information, it was extracted from the topographic study developed by the company CISPDR, which performed the topographic survey of the area, to identify the characteristics of the riverbed and lengths of the infiltration screens. Regarding the geotechnical information, it was extracted from the topographic study developed by the company CISPDR, which determined the geotechnical and geological characteristics of the riverbed, characterizing the different strata of the terrain and identifying the predominant material. Finally, the collected information from the different studies, was coupled and implemented in the software IBER – 2D, having as result the hydraulic parameters to which the infiltration screens were subjected, and with that identifying which where the most critical structures in order to propose their renewal.

**Keywords:** Rimac river, infiltration screens, maximum flows, renewal.

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Problemática

La cuenca del río Rímac es una de las cuencas más importantes del Perú, pues abastece a la ciudad de Lima y alrededores con el 80 % de la demanda total de agua y el 17% de la demanda hidroenergética (ANA, 2010). Concentra, aproximadamente, la tercera parte de la población nacional.

Actualmente la situación es dramática en la ciudad de Lima, pues el déficit hídrico actual no permite atender los requerimientos de agua potable de cerca de 800,000 limeños. Han existido cuantiosas inversiones orientadas a resolver el problema como obras de regulación y trasvases de cuencas vecinas (Mantaro, Chillón y Lurín), nuevas plantas de tratamiento para agua potable (Huachipa), la implementación de emisarios submarinos (Taboada y La Chira) entre otros. (SEDAPAL, Plan Maestro optimizado 2015-2044, 2014). Sin embargo, no se ha conseguido superar este problema.

Ante esta situación, entre los años 1994 y 1997, mediante el Estudio “Tratamiento del cauce del Río Rímac para la recarga del acuífero y conducción en periodo de estiaje”, se construyeron, en dos etapas, 60 pantallas de infiltración. La primera etapa fue en el año 1995, cuando se construyeron 10 de ellas y los 50 restantes, entre los años 1996-1997. Estas fueron ubicadas a lo largo de 6 km espaciadas entre si a 100 m cada una, ubicadas entre la Bocatoma La Atarjea y el Puente Huachipa. Se realizó este proyecto con el fin de mejorar la recarga del acuífero mediante la construcción de pantallas de infiltración para abastecer e incrementar el nivel freático en los pozos subterráneos que se encuentra en la zona de investigación.

El año 2017, debido al Fenómeno del Niño Costero, ocurrido el año 2017, se presentaron fuertes precipitaciones, provocando desbordes, inundaciones y huaicos de gran magnitud en el Río Rímac ocasionando grandes daños en las estructuras de SEDAPAL, entre ellas las 60

pantallas de infiltración.

Considerando que el agua es un recurso vital para las diferentes actividades que se realizan, es importante mantener una dotación continua. Es por ello, que se debe mantener en buen estado de conservación las pantallas de infiltración.

En este contexto, y con el objeto de ubicar las zonas con ocurrencia de mayores velocidades y riesgo de erosión se modelará el tramo del sector La Atarjea haciendo uso del software IBER 2D. Este software desarrolla la simulación considerando datos hidráulicos, geotécnicos y de mecánica de suelos, lo que permite realizar una variedad de simulaciones hidráulicas, incluyendo el cálculo de flujo en lámina libre bidimensional en ríos y cauces, la identificación de zonas inundables y la evaluación de zonas de riesgo, el modelado hidráulico de inundaciones y el análisis de su impacto en el terreno, etc. Además, tiene una interfaz gráfica intuitiva y fácil de usar, lo que facilita la interpretación de los resultados y la creación de modelos (IMASGAL, 2022).

Finalmente. los parámetros hidráulicos resultantes de este modelamiento serán los siguientes:

- Tirante
- Velocidad
- Froude

Dicha información servirá para plantear la renovación de las pantallas de infiltración.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo principal**

Diagnóstico de las pantallas de infiltración mediante modelación hidráulico del río Rímac con IBER – 2D sector La Atarjea.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Realizar el inventario y situación de las pantallas de infiltración
- Evaluar las características hidráulicas en las pantallas de filtración con caudales de máximas avenidas para un TR 100 años.
- Evaluar la información topográfica disponible.
- Evaluar las características geotécnicas disponibles en el lugar de las pantallas de infiltración.
- Evaluar resultados del modelamiento hidráulico con IBER – 2D.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Tipos de flujo

Según Chow (1994), “los tipos de flujo en canales abiertos pueden clasificarse en muchos tipos y describirse de varias maneras. La clasificación se hace de acuerdo con el cambio en la profundidad del flujo con respecto al tiempo y al espacio”.

- Flujo permanente y flujo no permanente

Tiempo como criterio. Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad de flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración. El flujo es no permanente si la profundidad cambia con el tiempo (p. 5).

- Flujo uniforme

Espacio como criterio. Se dice que el flujo en canales abiertos es uniforme si la profundidad de flujo es la misma en cada sección del canal. Un flujo uniforme puede ser permanente o no permanente, según cambie o no la profundidad con respecto al tiempo (p. 6).

- Flujo uniforme permanente

Es el tipo de flujo fundamental que se considera en la hidráulica de canales abiertos. La profundidad del flujo no cambia durante el intervalo de tiempo bajo consideración (p. 6).

- Flujo uniforme no permanente

El establecimiento de un flujo uniforme no permanente requeriría que la superficie del agua fluctuó de un tiempo a otro pero permaneciendo paralela al fondo del canal (p. 6).

- Flujo variado

Espacio como criterio. El flujo es variado si la profundidad de flujo cambia a lo largo del canal. El flujo variado puede ser permanente o no permanente (p. 6).

El flujo variado puede clasificarse además como rápidamente variado o gradualmente variado (p. 6).

- Flujo rápidamente variado

El flujo es rápidamente variado si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias comparativamente cortas; de otro modo, es gradualmente variado. (p.6)

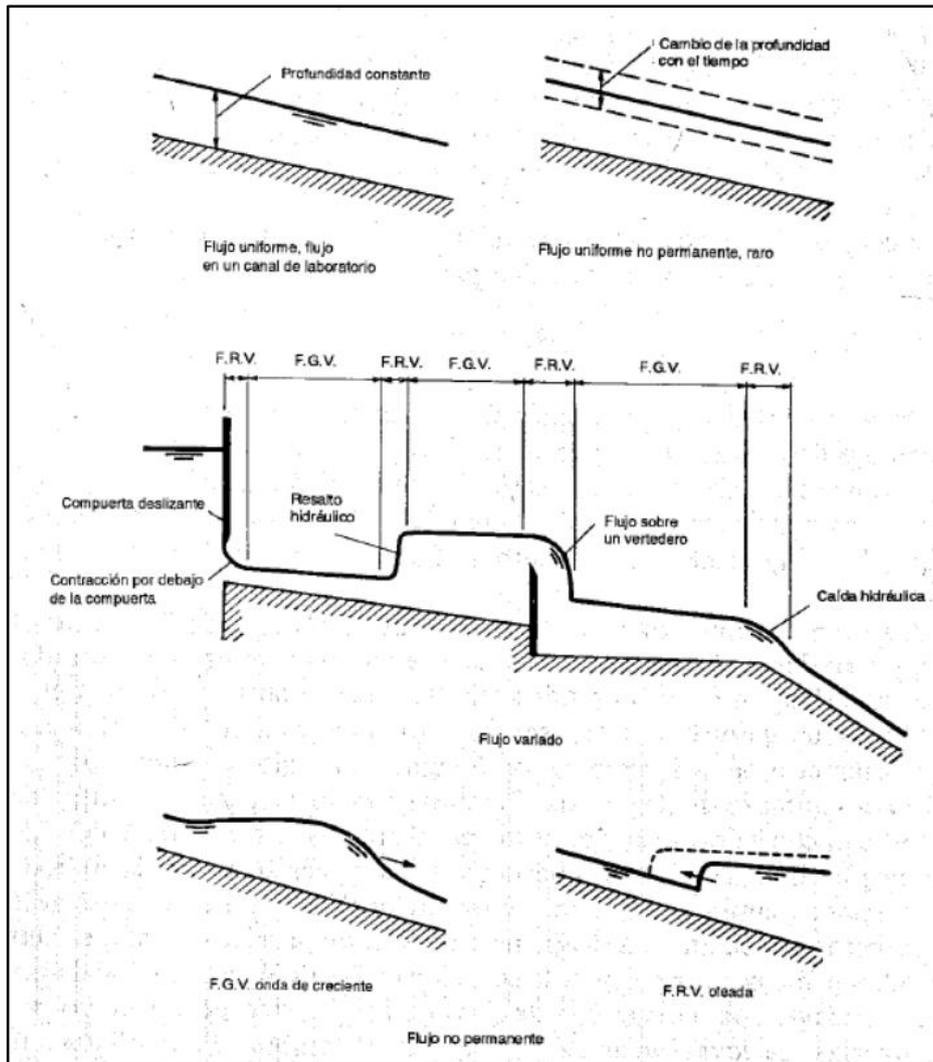
Para mayor claridad, la clasificación del flujo en canales abiertos se resume de la siguiente manera:

A. Flujo permanente

1. Flujo uniforme
2. Flujo variado
  - a. Flujo gradualmente variado
  - b. Flujo rápidamente variado

B. Flujo no permanente

1. Flujo uniforme no permanente (raro)
2. Flujo no permanente (es decir, flujo variado no permanente)
  - a. Flujo gradualmente variado no permanente
  - b. Flujo rápidamente variado no permanente



**Figura 1: Diferentes tipos de flujo en canales abiertos; F.G.V. =Flujo gradualmente variado; F.R.V. = Flujo rápidamente variado**

FUENTE: Chow (1994)

## 2.2. Estado del flujo

Según Ven Te Chow (1994), “el estado o comportamiento del flujo en canales abiertos está gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad en relación con las fuerzas inerciales del flujo”.

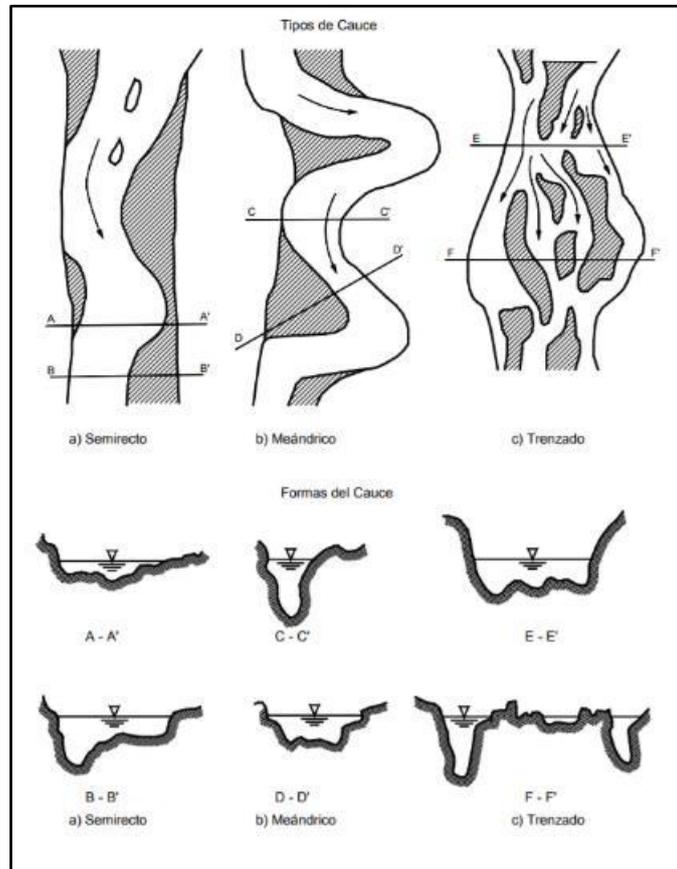
## 2.3. Morfología de los ríos

Suárez (2021) define la morfología de los ríos como:

El estudio científico de la forma y estructura de la geografía física de los ríos. El resultado de la erosión, transporte y sedimentación de partículas de suelo de la cuenca y los valles que transita. La forma de los canales depende de las características

hidrológicas y geológicas de la cuenca y de las propiedades de los sedimentos (p. 100).

En la siguiente figura se observa las tres principales formas de los canales o cauces:



**Figura 2: Tipos principales de cauce**

FUENTE: Suarez (2001)

### 2.3.1. Perfil longitudinal

Según Rocha (1998) “los ríos tienden naturalmente a la sinuosidad, a que su recorrido este formado por una sucesión de curvas. La sinuosidad representa para el río el mínimo consumo de energía” (p. 182).

Suarez (2001) describe el perfil longitudinal de un río:

Como éste pierde cota a lo largo de su recorrido. Generalmente presenta forma cóncava, en las partes altas están las mayores pendientes por lo que las velocidades y el material transportado están constituidos por partículas gruesas. En las partes

bajas la pendiente disminuye notablemente, por lo que las velocidades son menores así como el diámetro del sólido transportado.

El cambio brusco de pendientes puede obedecer a varios factores:

a. Cambios climáticos

Cuando el río pasa de un tipo de roca a otra, o atraviesa fallas geológicas

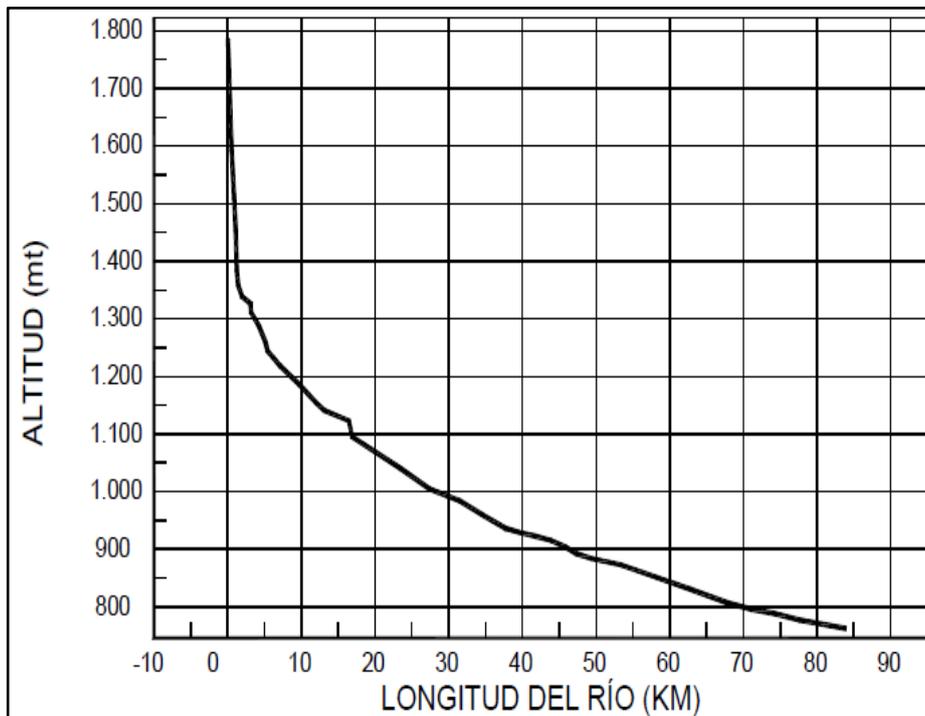
b. Confluencia de ríos

Los caudales cambian bruscamente y también la mezcla de sedimentos.

c. Erosión o sedimentación remontante por efecto de la intervención antrópica del cauce

Explotación de materiales, puentes, represas, modificación del alineamiento del cauce, canalización, etc. (p. 100).

En la siguiente figura se presenta un perfil longitudinal de un río:



**Figura 3: Perfil longitudinal de un río**

FUENTE: Suarez (2001)

### **2.3.2. Sección transversal del río**

Suarez (2001) describe la sección transversal del río como:

La forma de la sección transversal de una corriente depende del sitio del canal, de su geometría en planta, del tipo del canal y de las características de los sedimentos. La sección transversal en una curva es más profunda en el lado exterior o cóncavo del canal con un talud lateral prácticamente vertical y es poco profundo en la barra de punto que se forma en el lado convexo o interior de la curva (p. 100).

Para determinar la sección transversal de un río, es importante conocer su ancho, área de sección y máxima profundidad, así como los valores siguientes:

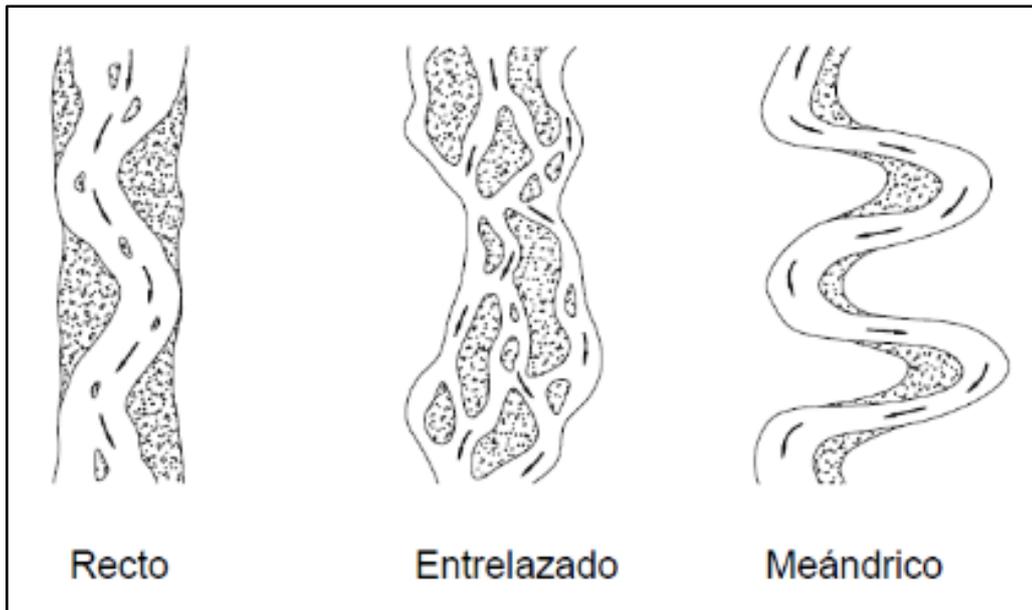
- Área (A)
- Ancho (w)
- Capacidad del canal ( $AR^{2/3}$ )
- Perímetro mojado (longitud total del perímetro por debajo del nivel de agua)
- Profundidad promedio (d)
- Radio hidráulico (R) (Área/perímetro mojado)
- Relación ancho – profundidad (w/d)

### **2.3.3. Propiedades morfológicas de los ríos**

Los cauces pueden ser de forma semirrecta, trenzada o meándrica. En cada época del año, una misma corriente presenta cambios de patrón tanto en su longitud como en su caudal. Los cauces también se clasifican como de lecho simple o múltiple y de acuerdo al material de fondo como rocoso o aluvial, cohesivo o granular, homogéneo o heterogéneo (Suárez Díaz, 2021).

### **2.3.4. Clasificación de los ríos**

Según Rocha (1998), la clasificación de los ríos se basa de acuerdo a un punto de vista morfológico. Los cuales se agrupan en rectos, entrelazados, meándricos y lo podemos apreciar en la siguiente figura:



**Figura 4: Clasificación morfológica de los ríos**

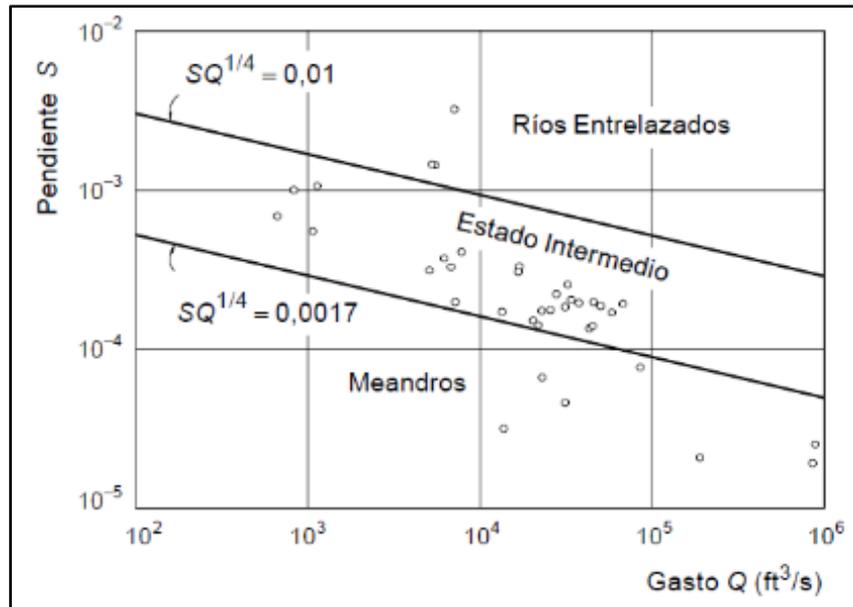
FUENTE: Rocha (1998)

Estas formas de los ríos se pueden presentar en tramos sucesivos o en un mismo tramo, influenciando por la pendiente y el caudal.

Rocha (1998) “se aplica la ecuación de LANE para determinar si se va a presentar un estado de río entrelazado o meándrico” (p.198).

Si,  $SQ^{1/4} \leq 0,0017$  (Meandros)  
 $SQ^{1/4} \geq 0,010$  (Entrelazados)

Donde la pendiente (S) está en ft/ft y el caudal (Q) en ft<sup>3</sup>/s. Estas expresiones se representan gráficamente en la siguiente figura:



**Figura 5: Representación gráfica del Criterio de LANE para distinguir entre los ríos meándricos y entrelazados**

FUENTE: Rocha (1998)

De acuerdo a Rocha (1998), se defino como:

- Ríos rectos

Estos ríos presentan una sinuosidad baja pues son menores a 1.5. No existen ríos rectos en la Naturaleza. El rio desarrolla su propia sinuosidad. Para el caudal de diseño el rio ocupa toda la sección transversal y se comporta como si fuese recto (p. 187).

- Ríos entrelazados

Estos ríos generalmente son anchos, con gran pendiente, formando pequeños tirantes que corren en forma de canales, algunas veces son llamados ríos trenzados. La existencia de los ríos entrelazados son debido a dos causas las cuales son: primero por el exceso de sedimentos que no transporta el rio totalmente, los cuales se depositan y dan lugar a la formación de islas, y la segunda es la fuerte pendiente que origina pequeños tirantes (p. 187).

- Ríos entrelazados

Estos ríos presentan sinuosidad alta pues son mayores a 1.5. Están formados por una sucesión de curvas. La característica de estas curvas, que son muy dinámicas, es que no se deben esencialmente a las propiedades del terreno, sino a la naturaleza del comportamiento fluvial (p. 187).

#### **2.4. Estabilidad del cauce**

Velarde Bernal (2019), “En lo que sigue se presentan varios métodos de cálculo que permiten conocer las características estables de una corriente natural, o las relaciones que guardan los diferentes parámetros de una corriente cuando está en equilibrio. En presentación se restringe al comportamiento de ríos formados por un solo cauce o canal. Esos criterios son la teoría del régimen, el método de Altunin y el método de Maza-Cruickshank”.

Maza y García (1997), Sobre estabilidad del cauce, “La teoría de régimen es completamente empírica y fue ampliada con base en observaciones sobre el comportamiento de canales de riego, que han estado en operación durante varios años y, por tanto, se consideran estables”. Blench, y Simons y Albertson, optaron por considerar lo siguiente: “Como muchos de esos canales tienen márgenes o bordos arcillosos, la teoría de régimen se recomienda para este tipo de material; sin embargo, otros autores dentro del mismo grupo han estudiado canales arenosos. Así, las fórmulas de Lacey permiten tomar en cuenta el diámetro de sedimentos granulares del fondo, pero no al de las orillas.

Maza y García (1997), dentro de la teoría de régimen, los autores muestran sus fórmulas de diseño en forma explícita, ya que así las obtuvieron. Altunin en cambio, obtiene fórmulas de diseño a partir de tres ecuaciones fundamentales, lo que señala una diferencia entre ambos criterios.

#### **2.5. Erosión fluvial**

La erosión fluvial es un agente de primera magnitud, puede verse en forma de ríos o en forma de aguas subterráneas. De esta manera, erosionan tanto los materiales del suelo como los de la superficie. La erosión fluvial también transporta los materiales que ha erosionado y los deposita en cuencas sedimentarias.

#### **2.6. Coeficiente de Manning**

El Coeficiente de rugosidad de Manning, valor “n” es una medida de la resistencia fraccional. Ejercido por un canal sobre el flujo. El valor del coeficiente también puede reflejar otras pérdidas de energía, tales como los que resultan del flujo inestable, la turbulencia extrema y el transporte de material suspendido y escombros, que son difíciles o imposibles de aislar y

cuantificar (Coon, 1998).

### 2.6.1. Ecuación de Manning

El ingeniero francés Antoine de Chézy, conocido internacionalmente por su contribución a la hidráulica de los canales abiertos, desarrolla la primera fórmula de fricción que se conoce y fue presentada en 1769. La fórmula permite obtener la velocidad media en la sección de un canal donde se establece que  $v$ , siendo la velocidad media del agua en m/s, el radio hidráulico en metros, la pendiente longitudinal de la solera o fondo del canal en m/m y el coeficiente de Chézy.

En el año 1889, el ingeniero irlandés Robert Manning, presentó por primera vez la ecuación durante la lectura de un artículo en una reunión del Institute of Civil Engineers de Irlanda. El artículo fue publicado más adelante en Transactions, del Instituto. La ecuación en principio fue dada en una forma complicada y luego simplificada a  $V = C * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$ , donde V es la velocidad media, C el factor de resistencia al flujo, R el radio hidráulico y S la pendiente longitudinal. Esta fue modificada posteriormente por otros autores y expresada en unidades métricas como  $V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$  (siendo n el coeficiente de rugosidad Manning).

Más tarde, fue convertida otra vez en unidades inglesas, resultando en  $V = \frac{1.486}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$  (Chow, 1994).

La ecuación de Manning es el resultado del proceso de un ajuste de curvas, y por tanto es completamente empírica en su naturaleza. Debido a su simplicidad de forma y a los resultados satisfactorios que arroja para aplicaciones prácticas, la fórmula Manning se ha hecho la más usada de todas las fórmulas de flujo uniforme para cálculos de escurrimiento en canal abierto (Chow, 1994).

Para calcular entonces el coeficiente de rugosidad se dispone de tablas (como la publicada por el U.S Department of Agriculture en 1955; Chow, 1959) y una serie de fotografías que muestran valores típicos del coeficiente para un determinado tipo de canal (Ramser, 1929 y Scobey, 1939).

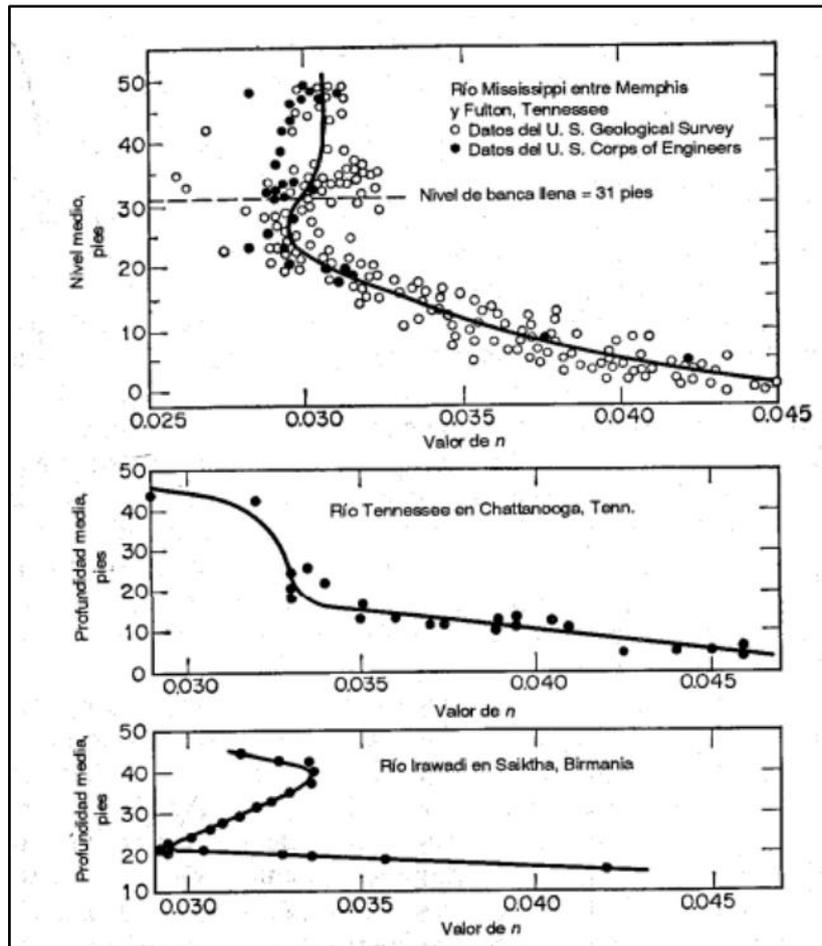
### **a. Selección del coeficiente de rugosidad de Manning**

Seleccionar un valor de  $n$  significa estimar la resistencia al flujo en un canal determinado para determinar correctamente el coeficiente de rugosidad se estudian 4 enfoques:

- Entender los factores que afectan el valor de  $n$  con el fin de adquirir el conocimiento básico del problema o de la situación a presentar y así disminuir el rango de incertidumbre.
- Consultar una tabla de valores comunes de  $n$  para canales de diferentes tipos.
- Tener discernimiento de algunos canales comunes cuyos coeficientes de rugosidad se conocen.
- Determinar el valor de  $n$  mediante un procedimiento analítico basado en la distribución de velocidades teóricas en la sección transversal de un canal y en los datos de medición de velocidad o de rugosidad (Chow, 1994).

### **b. Tamaño y forma del canal**

Un incremento en el radio hidráulico puede aumentar o disminuir el coeficiente “ $n$ ”, según la condición del canal.



**Figura 6: Valores de valor de  $n$  con el nivel medio o la profundidad**

FUENTE: Chow (1994)

### c. Nivel y caudal

Cuando el agua es poco profunda, las irregularidades del fondo del canal quedan expuestas y sus efectos se vuelven pronunciados, pero el valor de  $n$  puede ser grande en niveles altos si las bancas están cubiertas por pastos o son rugosas. El valor  $n$  para planicies de inundación es mayor que el del canal y su magnitud depende de la vegetación o de la condición superficial. En las planicies de inundación el valor de  $n$  varía con el nivel de sumergencia de la vegetación correspondiente a niveles bajos. En la siguiente tabla se pueden evidenciar valores de  $n$  para varios niveles de inundación, un claro ejemplo es en el río Nishnabotna, en Iowa, para la estación de crecimiento promedio (Chow, 1994).

**Tabla 1: Valores de n para varios niveles en el río Nishnabotna, Iowa, para la estación de crecimiento promedio**

Profundidad de agua, pies	Sección del canal	Cubierta de la planicie de inundación				
		Maíz	Pastos	Vegas	Pastos de grano	Maleza y basuras
Por debajo de 1	0.03	0.06	0.05	0.10	0.10	0.12
1 a 2	0.03	0.06	0.05	0.08	0.09	0.11
2 a 3	0.03	0.07	0.04	0.07	0.08	0.10
3 a 4	0.03	0.07	0.04	0.06	0.07	0.09
Por encima de 4	0.03	0.06	0.04	0.05	0.06	0.08

FUENTE: Chow (1994)

#### **d. Cambio estacional**

El valor de n puede variar ya sea aumentando en la estación de crecimiento y disminuyendo en la estación inactiva, esta variación se da por el crecimiento estacional de plantas acuáticas, hierbas, malezas, sauces y árboles en el canal o en las bancas (Chow, 1994).

#### **e. Material en suspensión o carga de lecho**

Consumirá energía y causará una pérdida de altura e incrementará la rugosidad aparente del canal, todos estos factores deben estudiarse y evaluarse con respecto a las condiciones relacionadas con el tipo de canal y así se determina el valor de n, con una guía general para la escogencia, debe aceptarse que las condiciones que tiendan a inducir turbulencia y a causar retardo incrementarán el valor de n, y aquellas que tiendan a reducir la turbulencia y el retardo disminuirán de n (Chow, 1994).

Cowan desarrolló un procedimiento para estimar el valor de n, calculándose así:

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

FUENTE: Chow (1994)

$n_0$  es un valor básico de n para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados,  $n_1$  es un valor que debe agregarse al  $n_0$  para corregir el efecto de las rugosidades superficiales,  $n_2$  es un valor para considerar las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal,  $n_3$  es un valor para considerar las obstrucciones,  $n_4$  es

un valor para considerar la vegetación y las condiciones de flujo, y  $m_5$  es un factor de corrección de los efectos por meandros en el canal. Los valores apropiados de  $n_0$  a  $n_4$  y  $m_5$  pueden seleccionarse en la siguiente tabla de acuerdo con las condiciones dadas (Chow, 1994).

**Tabla 2: Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad**

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	$n_0$	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	$n_1$	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	$n_2$	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	$n_3$	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	$n_4$	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	$m_5$	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

FUENTE: Chow (1994)

## 2.7. Ecuación de Chezy

El ingeniero francés Antoine Chézy en 1769 desarrollaba la primera ecuación de flujo uniforme, dicha ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$V = C\sqrt{RS}$$

FUENTE: Chow (1994)

Donde V es la velocidad media que se expresa en pies/s, R es el radio hidráulico en pies, S es la pendiente de la línea de energía y C es un factor de resistencia al flujo, el cual se conoce como de Chézy (Chow, 1994).

Esta ecuación se da a partir de sus suposiciones, la primera fue hecha por Chézy, establece la fuerza que resiste al flujo, siendo esta fuerza igual a  $KV^2$ , donde K es una constante de proporcionalidad. La segunda suposición es el principio básico del flujo uniforme, este establece que en el flujo uniforme la componente efectiva de la fuerza gravitacional que causa el flujo debe ser igual a la fuerza total de resistencia (Chow, 1994).

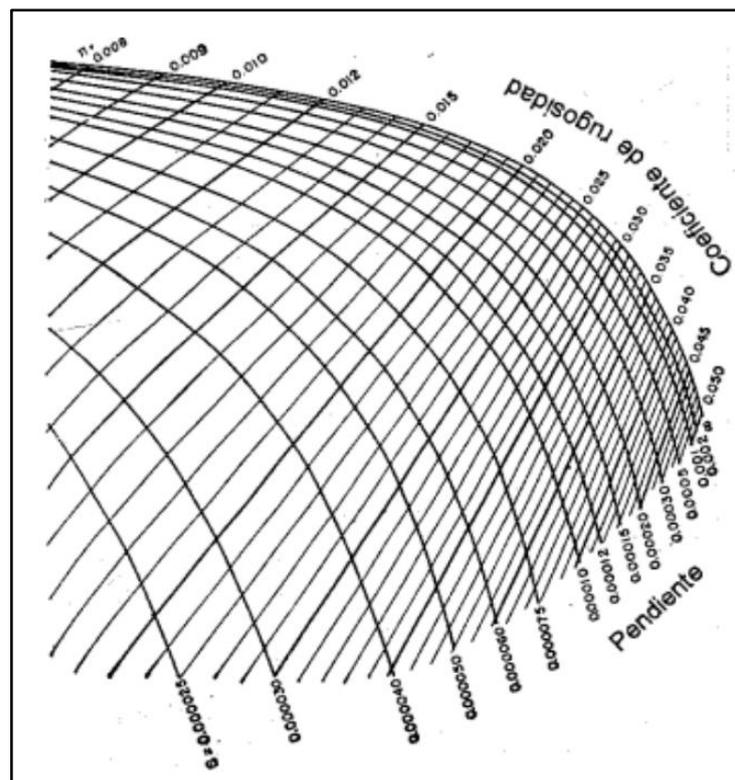
### 2.7.1. Cálculo del factor de resistencia de Chézy

Este cálculo se realiza mediante tres ecuaciones, la primera ecuación es la ecuación de G.K. que expresa el valor de C en términos de la pendiente S, el radio hidráulico R y el coeficiente de rugosidad n. En unidades inglesas, la ecuación es:

$$C = \frac{41,65 + \frac{0,00281}{S} + \frac{1,811}{n}}{1 + \left(41,65 + \frac{0,00281}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

FUENTE: Chow (1994)

El coeficiente n de la ecuación mencionada anteriormente se conoce como n de Kutter (Chow, 1994).



**Figura 7: Solución gráfica de la ecuación de G.K.**

FUENTE: Chow (1994)

Para encontrar C cuando se conoce R, S y n: una recta que une el valor de R en el eje de las abscisas con el punto donde la curva de pendiente S intersecta la línea indicará el valor de C en el eje de las ordenadas y para encontrar n cuando se conoce C, R y S: una línea recta desde R en el eje de las abscisas, hasta C en el eje de las ordenadas, llegando hasta la curva de pendiente S, indicara encima de sí misma el valor de n (Chow, 1994).

### a. La ecuación de Manning

El ingeniero Robert Manning presentó una ecuación el 4 de diciembre de 1889 en una reunión del Institute of Civil Engineers de Irlanda. Dicha ecuación fue simplificada a  $V = CR^2/S^{1/2}$  donde V es la velocidad media, C es el factor de resistencia al flujo, R es el radio hidráulico y n es la pendiente. Actualmente está dada por la siguiente expresión (Chow, 1994):

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

FUENTE: Chow (1994)

### b. Expresiones de la fórmula de Manning

La expresión más simple de la fórmula de Manning se refiere al coeficiente de Chézy:

$$C = \frac{1}{n} R(h)^{1/6}$$

FUENTE: Chow (1994)

De donde, por sustitución en la fórmula de Chézy  $V(h) = C\sqrt{R(h) * S}$ , se deduce su

forma mas habitual:  $V(h) = \frac{1}{n} R(h)^{2/3} \sqrt{S}$  o  $Q(h) = \frac{1}{n} A R(h)^{5/3} \sqrt{S}$

Siendo:

- C = coeficiente de rugosidad que se aplica en la fórmula de Chézy
- R(h) = radio hidráulico, en m, función del tirante hidráulico
- n, es un parámetro que depende de la rugosidad de la pared
- V(h) = velocidad media del agua, en m/s, que es función del tirante hidráulico
- S = la pendiente de la línea de agua, en m/m
- A = área de la sección del flujo de agua, en m<sup>2</sup>
- Q(h)= caudal del agua en m<sup>3</sup>/s (Chambilla, 2019)

También se puede expresar de la siguiente forma (utilizando el SI)

$$V(h) = \frac{1}{n} * \left( \frac{A(h)}{P(h)} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

O

$$Q(h) = \frac{1}{n} * \frac{A(h)^{\frac{5}{3}}}{P(h)^{\frac{2}{3}}} * S^{\frac{1}{2}}$$

FUENTE: Chambilla (2019)

Siendo:

- A(h)= área mojada (área de la sección del flujo de agua), en m<sup>2</sup>, en función del tirante hidráulico
- P(h)= perímetro mojado, en m, en función del tirante hidráulico
- n= un parámetro que depende de la rugosidad de la pared, su valor varía entre 0.01 para paredes pulidas y 0.06 para ríos con fondo irregular y con vegetación
- V(h)= velocidad media del agua, en m/s, en función del tirante hidráulico
- Q(h)= caudal del agua, en m<sup>3</sup>/s, en función del tirante hidráulico
- S= pendiente de la línea de agua, en m/m

Para el sistema unitario anglosajón:

$$V(h) = \frac{1.486}{n} * \left( \frac{A(h)}{P(h)} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

O

$$Q(h) = \frac{1.486}{n} * \frac{A(h)^{\frac{5}{3}}}{P(h)^{\frac{2}{3}}} * S^{\frac{1}{2}}$$

FUENTE: Chambilla (2019)

Siendo:

- A(h)= Área mojada, en pies<sup>2</sup>, función del tirante hidráulico h
- P(h) = Perímetro mojado, en pies, función del tirante hidráulico h
- n= Un parámetro que depende de la rugosidad de la pared
- V(h) = Velocidad media del agua, en pies/s, que es función del tirante hidráulico h
- Q(h)= Caudal del agua, en pies<sup>3</sup>/s, en función del tirante hidráulico h
- S = la pendiente de la línea de agua en pies/pies (Chambilla, 2019)

## 2.8. Socavación

Suárez (2021) define socavación como:

La socavación consiste en la profundización del nivel del fondo del cauce de una corriente causada por el aumento del nivel de agua en las avenidas, modificaciones en la morfología del cauce o por la construcción de estructuras en el cauce como puentes, espigones, etc.

Debe diferenciarse la socavación de la erosión no recuperable en el sentido de que después de que pase la avenida o se elimine la causa de la socavación en procesos posteriores, comúnmente se vuelven a depositar sedimentos en un proceso cíclico, y se puede recuperar el nivel del fondo del cauce. La socavación está controlada por las características hidráulicas del cauce, las propiedades de los sedimentos del fondo y la forma y localización de los elementos que la inducen (p.135).

Componentes de la socavación

- Socavación por aumento de caudal

Define la socavación por aumento de caudal como:

Al aumentar el caudal la velocidad aumenta y se produce erosión en el fondo de la corriente. Al bajar nuevamente el nivel de la corriente, comúnmente esta socavación se recupera nuevamente por sedimentación. La socavación ocurre en periodos de horas o días, afectando prácticamente todo el cauce. Al pasar la avenida nuevamente se produce sedimentación y generalmente el cauce recupera, al menos parcialmente, el material socavado durante el paso de la creciente (p. 138).

- Socavación por contracción del cauce

Define la socavación por contracción del cauce como:

La construcción de un puente o alguna otra obra civil puede disminuir el ancho del cauce para el paso de grandes caudales y al presentarse los caudales, se produce un aumento extraordinario de las velocidades en la contracción, produciéndose socavación del fondo del cauce en el sector contraído (p. 138).

- Socavación general

La socavación general se puede producir por varias causas:

- a. Aumento del caudal durante las avenidas
- b. Incremento de la pendiente del cauce por alteración del canal, o corte de meandros.
- c. Remoción de sedimentos del flujo por la construcción de una presa o por

extracción de materiales del fondo del cauce.

d. Transferencia de agua de una cuenca a otra, la cual altera la capacidad de transporte de sedimentos de ambas corrientes.

e. Disminución de la rugosidad del cauce por obras de regulación del canal.

Esta socavación es una erosión general de todo el cauce y no depende de que exista o no un puente u otra estructura. La socavación general tiene como resultado una disminución en el nivel del fondo del cauce y los niveles de agua y por lo tanto puede producir exposición de las fundaciones, de los oleoductos y otras estructuras colocadas en el cauce del río.

La socavación puede ocurrir a todo lo largo y ancho del cauce durante el paso de una avenida. Los niveles de socavación general varían de acuerdo a los caudales y la profundidad de socavación no es la misma en toda la sección (p. 140).

## **2.9. Periodo de retorno**

El Periodo de Retorno de cualquier evento extremo (lluvias torrenciales, temperaturas extremas, huracanes, etc.), se define como el lapso o número de años que en promedio, se cree que será igualado o excedido, es decir, es la frecuencia con la que se presenta un evento (Méllice & Reason, 2007).

De acuerdo a Velarde Bernal (2021)

El período de retorno es igual al inverso de la probabilidad de excedencia en un solo año. Para los períodos de retorno que exceden de diez años, no es necesario hacer las diferencias en períodos de retorno entre las series anuales y parciales pues son insignificantes.

El periodo de retorno es el tiempo que se requiere para que un evento de magnitud dada se repita, en promedio. Así, cuando se dice que el período de retorno de un caudal en un río es cada dos años, significa que ese valor en promedio se observará cada dos años en ese río.

Los periodos de retorno de cálculo atendiendo a las recomendaciones bibliográficas se estiman desde 2 a 500 años. Según Mosonyi y Buck (1977). Para la determinación del periodo de retorno de las estructuras de medición de caudal o estaciones hidrométricas se debe considerar dos aspectos, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla ante la

socavación. Según Yevjevich el riesgo de falla de una estructura está en función a:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{P}\right)^n$$

Donde:

- R: Riesgo de falla de la estructura
- P: Probabilidad de no ocurrencia de la falla
- N: Periodo de vida de la estructura

Y el tiempo de retorno está en función al riesgo de falla según:

$$T_r = \frac{1}{1 - (1 - R)^{1/N}}$$

Donde:

- Tr: Es el tiempo de retorno del evento

Una vez se cuente con la información básica de la planimetría y de los datos hidrométricos, se debe buscar un método que logre proporcionar los caudales instantáneos que servirán para el diseño adecuado y brinden seguridad a las estructuras hidráulicas.

Los criterios para estimar la avenida de cálculo que deben soportar las estructuras han sido determinados por diseñadores y estudios hidráulicos. El principio es que las avenidas deben ser calculadas según su periodo de repetición o retorno en el tiempo según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC-2010.

**Tabla 3: Riesgo admisible y vida útil de las obras**

RIESGO ADMISIBLE	VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS (n años)									
	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
0,01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0,02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
0,05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0,10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0,20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
0,25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695
0,50	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
0,75	1,3	2	2,7	4,1	7,7	15	18	37	73	144
0,99	1	1,11	1,27	1,66	2,7	5	5,9	11	22	44

FUENTE: MTC (2010)

De acuerdo a los valores presentados en la tabla anterior, se recomienda utilizar como máximo, los siguientes valores de riesgo admisible de obras de drenaje:

**Tabla 4: Periodos de retorno recomendados**

TIPO DE OBRA	RIESGO (%)	VIDA UTIL (AÑOS)	TR (AÑOS)
Puentes (Socavación Tr=500 años)	25	50	174
Alc de paso de quebradas importantes, pontones y badenes	30	25	71
Alc de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35	15	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40	15	30
Subdrenes	40	15	30
Defensas Ribereñas	25	40	140

FUENTE: MTC (2010)

### 2.10. Recarga artificial

La recarga artificial se define como un conjunto de métodos que permiten la intervención programada o inducida de agua en un acuífero, aumentando el grado de garantía y disponibilidad de los recursos hídricos, influyendo en su calidad (Murillo *et al.*, 1999).

Este método pretender contribuir técnica y económicamente la gestión racional del potencial de una cuenca hidrográfica, para satisfacer una determinada demanda hídrica (Murillo *et al.*, 1999).

### 2.11. Pantallas de infiltración

Las pantallas de infiltración son estructuras hidráulicas de concreto, cuyo objetivo es contener la fuerza del flujo de agua, con el fin de modificar su comportamiento de un flujo turbulento a un flujo laminar y a su vez, retener el flujo de agua del fondo del cauce del río durante todo el año y que, mediante infiltración, abastezca e incremente la napa freática de los pozos subterráneos que se encuentren en el área de influencia. Para luego ello ser extraído y suministrado para abastecer a la población (Alegría Panta y Pérez Campos, 2019).

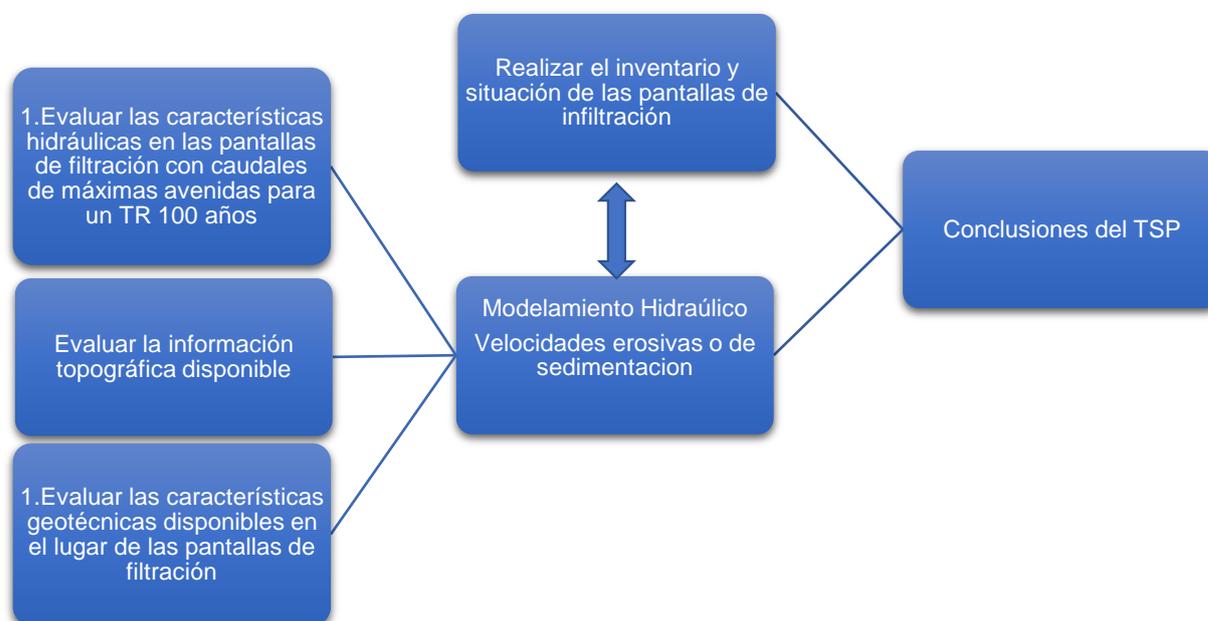
### III. DESARROLLO DEL TRABAJO

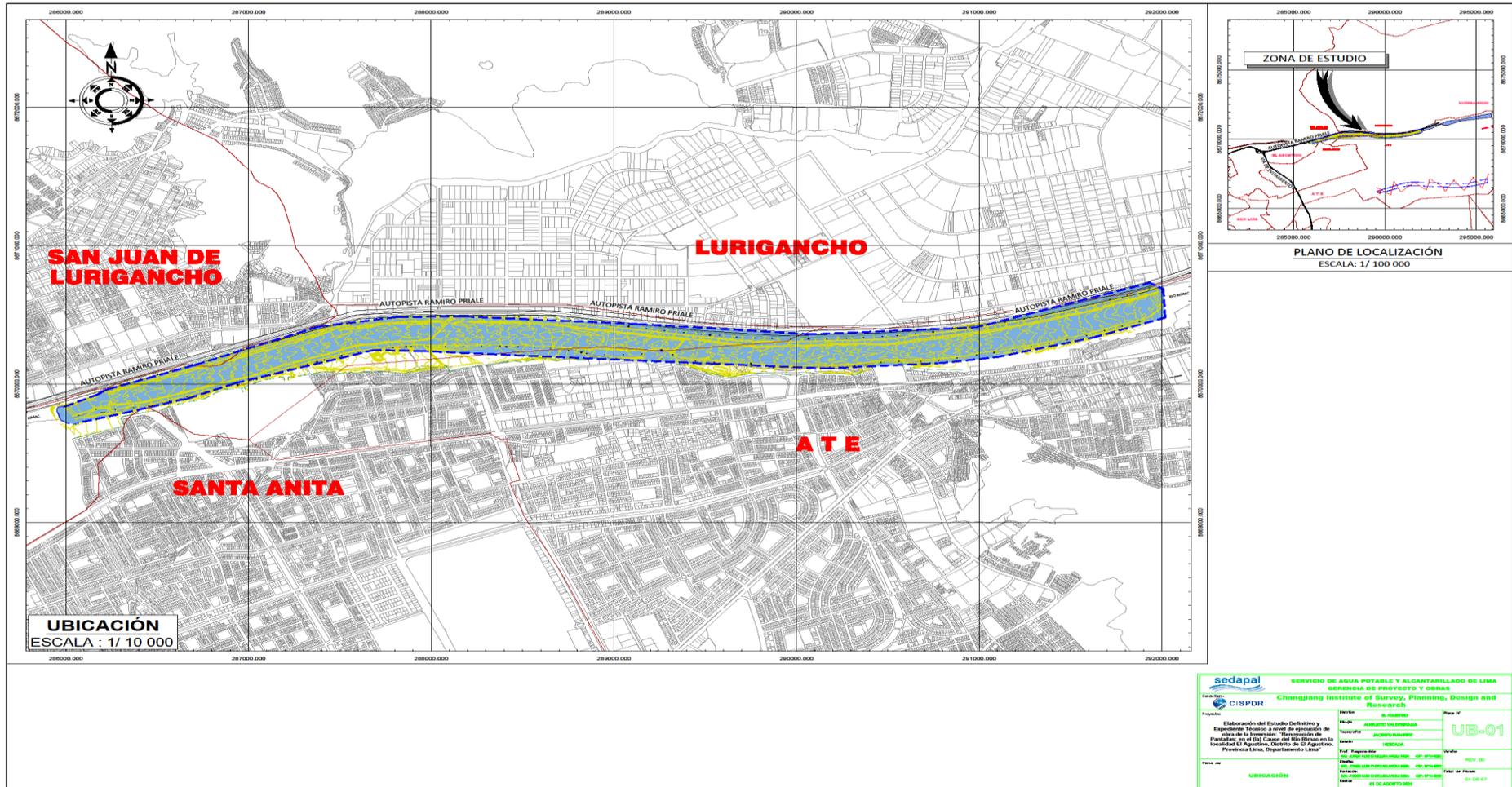
El proyecto se encuentra ubicado entre la Bocatoma La Atarjea y la pantalla de infiltración N°60, ubicada dentro del cauce del río Rímac, en los distritos de El Agustino y Lurigancho Chosica, provincia Lima y departamento de Lima.

**Tabla 5: Código de ubicación geográfica de la zona del proyecto**

<b>UBIGEO:</b>	140135
<b>DEPARTAMENTO:</b>	Lima
<b>PROVINCIA:</b>	Lima
<b>DISTRITO:</b>	El Agustino

Este trabajo fue desarrollado mediante una evaluación técnica de las pantallas de infiltración, realizando visitas técnicas a la zona del estudio. Se desarrolló un modelamiento hidráulico con la finalidad de ubicar los lugares con velocidades erosivas o sedimentación, para este fin se utilizó la información existente del estudio hidrológico, topográfico y geotécnico. Para finalmente llegar a concluir el objetivo principal del presente trabajo que tiene como meta plantear la renovación de pantallas de infiltración en los casos que así lo amerite. El esquema siguiente muestra el flujo metodológico del proyecto:





**Figura 8: Plano de ubicación de la zona del proyecto**

FUENTE: CISPDR (2021)

### **3.1. Realizar el inventario y situación de las pantallas de infiltración**

La zona de estudio se encuentra dentro de las instalaciones del sector La Atarjea de SEDAPAL, en el cual podemos encontrar oficinas administrativas y técnicas, también estructuras hidráulicas como reservorios, desarenadores, bocatoma, rápidas, pantallas de infiltración, etc.

Para el reconocimiento de campo y toma de muestras de gran importancia en base a las características actuales que se presentan en el lugar permiten prever las medidas de mitigación necesarias e implantar las mejoras correspondientes. Los trabajos de campo tuvieron como objetivo realizar el descripción, caracterización y estado actual de las pantallas de infiltración, mediante ensayos de esclerometría, perforaciones diamantinas, calicatas, corroboración de dimensiones y evaluación de la inspección de campo. Ubicadas en el cauce del río, iniciando la pantalla N°1 aguas arriba de la bocatoma y terminando 6km aguas arriba en la pantalla N°60.

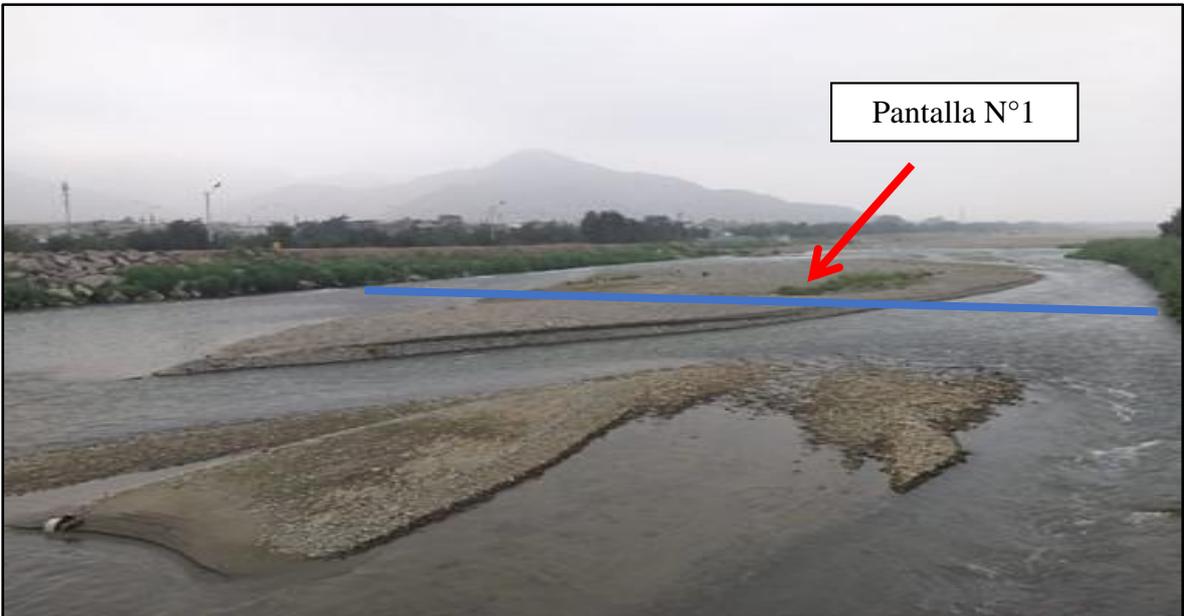
Se realizaron reiteradas visitas a campo para el respectivo reconocimiento de campo y recolección de información, como se puede apreciar en las siguientes figuras:



**Figura 9: Vista aguas arriba de la bocatoma La Atarjea**



**Figura 10: Vista aguas debajo de la bocatoma La Atarjea**



**Figura 11: Ubicación de pantalla N°1**



**Figura 12: Estado actual del cauce del río Rímac**



**Figura 13: Ubicación de pantalla N°60**

La zona del estudio cuenta con varios accesos al cauce, lo que facilitó el desarrollo de las actividades como la evaluación del estado actual de las pantallas de infiltración, el

levantamiento topográfico, las excavaciones de calicatas, los ensayos diamantinos, etc.

### **3.2. Evaluar las características hidráulicas en las pantallas de filtración con caudales de máximas avenidas para un TR 100 años**

Del estudio hidrológico fue desarrollado mediante el Modelo Hidrograma Unitario, el cual permite estimar el hidrograma de salida de una cuenca a partir de la precipitación. Este modelo fue procesado en el software HEC-HMS y se basa en la idea de que la precipitación se distribuye uniformemente en el tiempo y en la cuenca, y que el escurrimiento generado por cada unidad de precipitación se puede representar mediante un hidrograma unitario. El hidrograma de salida se obtiene convolucionando el hidrograma unitario con la serie de precipitación. Este software permite estimar el caudal máximo en avenidas para diferentes períodos de retorno, lo que es importante para el diseño de obras de protección y prevención de inundaciones.

Los valores de caudales máximos en el proyecto, se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 6: Caudales para distintos periodos de retorno**

<b>PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)</b>	<b>CAUDALES (M<sup>3</sup>/S)</b>
<b>10</b>	155.4
<b>25</b>	194.1
<b>50</b>	228.3
<b>100</b>	265.3
<b>200</b>	309.7
<b>500</b>	374.3
<b>1000</b>	432.8

FUENTE: HC&ASOCIADOS (2021)

De acuerdo a la Resolución Jefatural N°153-2016-ANA del 15 junio del 2016, en el Artículo 9 – Modelamiento Hidráulico ítem 9.2, a la letra indica lo siguiente:

9.2. La determinación de los caudales máximos se establecen en base a los siguientes criterios:

- a) En cauces naturales de agua colindantes a terrenos agrícolas: periodo de retorno de 50 (cincuenta) años.
- b) En cauces naturales de agua colindantes a asentamientos poblacionales: periodo de retorno de 100 (cien) años.

Por ende, bajo el criterio establecido por el ANA, e indicando que las estructuras analizadas se encuentran ubicadas colindando con asentamientos poblaciones, se consideró un tiempo de retorno de 100 años.

### **3.3. Evaluar la información topográfica disponible**

El objetivo principal de este capítulo es realizar el levantamiento topográfico de la zona del proyecto, incluyendo las pantallas de infiltración y estructuras adicionales. En los trabajos de reconocimiento de campo se ubicaron los puntos de geodesía, nivelación y poligonal, además se estableció el inicio y consideraciones de seguridad para las labores a ejecutar.

El levantamiento topográfico se desarrolló mediante GPS diferencial, que presenta como características principales una mayor eficiencia en la toma de datos, con un tiempo de medida por cada punto de 3.5 segundos y una precisión de medida de distancia de 5mm/km. Para su desarrollo se realizó el establecimiento de una poligonal principal y una poligonal secundaria.

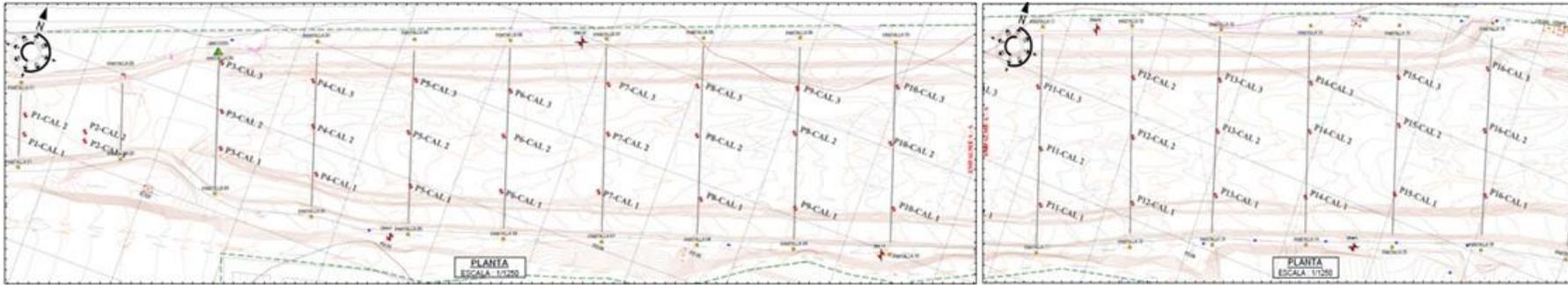
### **3.4. Evaluar las características geotécnicas disponibles en el lugar de las pantallas de filtración**

El objetivo principal de este capítulo es con el fin de caracterizar los estratos y diferentes materiales a lo largo del tramo evaluado y así definir los aspectos del proyecto, relacionados con dichas propiedades geotécnicas.

Los trabajos de exploración de campo consistieron en realizar calicatas de 3m de profundidad, acompañados de ensayos de laboratorio, necesario para definir el perfil estratigráfico del área de estudio, proporcionando las condiciones mínimas de cimentación de las estructuras, indicando tipo y profundidad de los cimientos, capacidad portante admisible y magnitud de asentamientos.

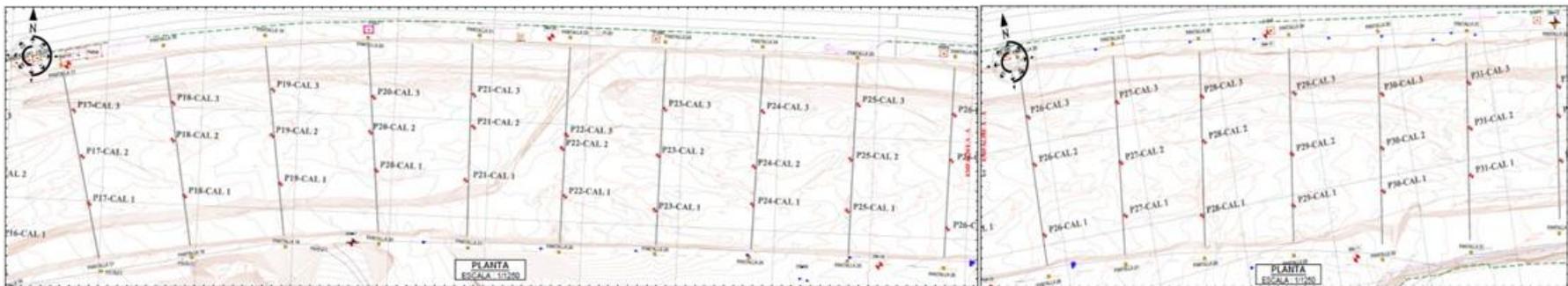
El planteamiento de las calicatas en las 60 pantallas de infiltración se muestra en las figuras 14 a la 17 y se distribuyeron de la siguiente forma:

- Pantalla 1 y 2: 2 calicatas c/u
- Pantalla 3 a la 34: 3 calicatas c/u
- Pantalla 35 a la 60: 2 calicatas c/u



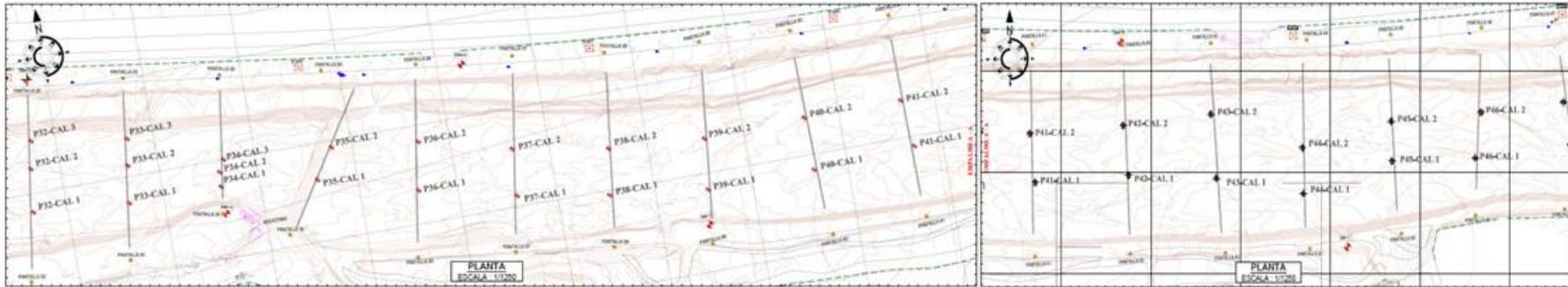
**Figura 14: Distribución de calicatas de la pantalla 1 a la 16**

FUENTE: CISPDR, 2021



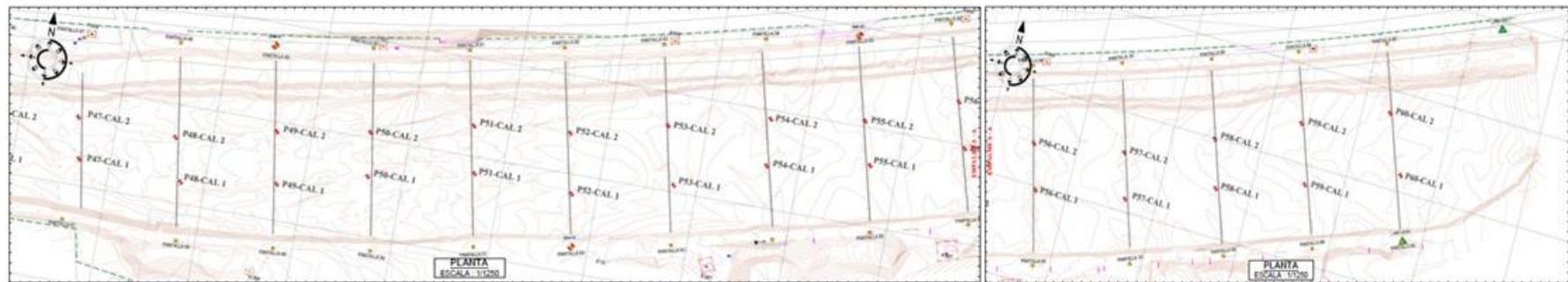
**Figura 15: Distribución de calicatas de la pantalla 17 a la 31**

FUENTE: CISPDR, 2021



**Figura 16: Distribución de calicatas de la pantalla 32 a la 46**

FUENTE: CISPDR, 2021



**Figura 17: Distribución de calicatas de la pantalla 47 a la 60**

FUENTE: CISPDR, 2021

Con toda la información mencionada, analizada y evaluada, se propondrá la renovación de las pantallas de infiltración en las áreas más afectadas.

Con la ayuda de Software IBER 2D, se podrán obtener datos sobre los tirantes, la velocidad y el número de froude, lo que confirmará la propuesta de renovar las pantallas de infiltración. Dado que estas estructuras se encuentran en el cauce del río Rímac, que está compuesto principalmente por estratos aluviales, la velocidad y los tirantes calculados en la remoción y/o sedimentación del material transportado serán influyentes, esta información es relevante para recomendar los criterios mínimos de diseño de las pantallas de infiltración.

Todo el tramo considerado será inspeccionado en campo, para llegar a conclusiones confiables y validar los resultados obtenidos.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Realizar el inventario y situación de las pantallas de infiltración

De haber realizado el reconocimiento de campo, evaluación y diagnóstico de las pantallas de infiltración, se observó el estado actual de las estructuras y se hizo corroboraciones con la información brindada por la entidad.

De acuerdo a la información remitida por la entidad y a la labor realizada, se encontró una relación directa entre la longitud de las pantallas y el ancho del cauce del río Rímac. Según la información alcanzada, la longitud se encuentra entre los 64 y 210 m y según el trabajo realizado la longitud varía entre 70 y 207 m. La falta de mantenimiento en la zona del proyecto, ha ocasionado que las estructuras no se encuentren en un estado óptimo de funcionamiento, donde se puede apreciar pantallas enterradas parcial y totalmente, desgastes moderados en la corona, erosionadas aguas abajo, con fallas estructuras, etc.



**Figura 18: Pantallas de infiltración enterradas parcial y totalmente**



**Figura 19: Pantallas de infiltración N°9 y 12 con gran desgaste en corona**



**Figura 20: Pantalla de infiltración N°24 erosionada aguas abajo**



**Figura 21: Pantalla de infiltración N°29 con colapso estructural**

De acuerdo al trabajo realizado em campo, se presenta en el siguiente cuadro, las pantallas de infiltración más críticas:

**Tabla 7: Diagnóstico de las pantallas de infiltración mas críticas**

<b>N° DE PANTALLA</b>	<b>DIAGNÓSTICO</b>
<b>Pantalla N°3</b>	Desgaste en la parte inferior de la rápida
<b>Pantalla N°9</b>	Gran desgaste en la corona de la estructura
<b>Pantalla N°12</b>	Gran desgaste en la corona de la estructura
<b>Pantalla N°17</b>	Colapso de la estructura
<b>Pantalla N°20</b>	Gran desgaste en la corona de la estructura y erosionado aguas abajo
<b>Pantalla N°21</b>	Gran desgaste en la corona de la estructura
<b>Pantalla N°24</b>	Gran desgaste en la corona de la estructura y erosionado aguas abajo
<b>Pantalla N°25</b>	Gran desgaste en la corona de la estructura y erosionado aguas abajo
<b>Pantalla N°29</b>	Colapso de la estructura
<b>Pantalla N°31</b>	Colapso de la estructura
<b>Pantalla N°35</b>	Desgaste en la parte inferior de la rápida

#### **4.2. Evaluar las características hidráulicas en las pantallas de filtración con caudales de máximas avenidas para un TR 100 años**

##### **4.2.1. Cálculo del periodo de retorno**

Para el cálculo del periodo de retorno, se empleará la Tabla 3 que se presenta en el ítem 2.9, la cual contiene valores al riesgo R y a la vida útil n de las estructuras. Para las pantallas de infiltración se está considerando  $Tr=100$  años.

Utilizando la siguiente fórmula, se determina el suceso de máximas avenidas que ocurrirán:

$$P = 1 - (1 - R)^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

- R= riesgo
- Tr= periodo de retorno
- n= vida útil en años

Según los datos obtenidos de la tabla tenemos:

- R= 0.20
- n= 20 años
- Tr= 100

$$P = 1 - (1 - 0.20)^{\frac{1}{20}}$$

$$P = 0.01$$

La probabilidad del caudal de máximas avenidas será de 0.01, expresado de otra manera, existe la probabilidad de 99% que las máximas avenidas no ocurran en un año cualquiera.

#### **4.2.2. Cálculo del coeficiente rugosidad**

Uno de los parámetros básicos utilizados en los estudios de hidráulica fluvial de los ríos, lo constituye la rugosidad, cuya representación más conocida en el coeficiente “n” de Manning. Para calcular el coeficiente de Manning el método del SCS, planteado por Cowan, considera su dependencia de la rugosidad, vegetación, irregularidad del canal, alineamiento del canal, sedimentación y socavación, obstrucciones, tamaño y forma del canal, nivel y caudal, cambio estacional, material en suspensión y carga de fondo, todo ello resumido en la siguiente expresión.

$$n = (n0 + n1 + n2 + n3 + n4) m5$$

Empleando la información de la Tabla 2, y de acuerdo a las condiciones del cauce del río, se procede a calcular la rugosidad del cauce como se muestra a continuación:

**Tabla 8: Valores para n0, n1, n2, n3, n4 y m5**

VARIABLES	VALORES	CONDICION
n0	0.028	Características del canal grava gruesa
n1	0.005	Irregularidades menores
n2	0.000	Graduales
n3	0.000	Sin obstrucciones
n4	0.007	Existe poca densidad de vegetación en las márgenes de los ríos
m5	1.000	La pendiente promedio del río en el tramo de estudio es de 1.8

FUENTE: SCS

$$n = (n0 + n1 + n2 + n3 + n4) m5$$

$$n=0.040$$

Para seleccionar la rugosidad del concreto de las pantallas de infiltración, se utilizó como referencia la siguiente tabla:

**Tabla 9: Valores de “n” dados por Horton, para ser empleados en la fórmula de Manning**

Superficie	Condiciones			
	Perfectas	Buenas	Regulares	Malas
<b>Canales y Zanjas</b>				
Canales revestidos con concreto	0.012	0.014*	0.016*	0.018
En tierra, alineados y uniformes	0.017	0.020	0.0225	0.025*
En roca, lisos y uniformes	0.025	0.030	0.033*	0.035
En roca, con salientes y sinuosos	0.035	0.040	0.045	
Sinuosos y de escurrimiento lento	0.0225	0.025*	0.0275	0.030
Dragados en tierra	0.025	0.0275*	0.030	0.033
Con lecho pedregoso y bordos de tierra, enhierbados	0.025	0.030	0.035*	0.040
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.028	0.030	0.033	0.035
<b>Corrientes naturales</b>				
1. Limpios, bordos rectos, llanos, sin hendidas ni charcos profundos	0.025	0.0275	0.030	0.033
2. Igual a 1, pero con algo de hierbas y piedra	0.030	0.033	0.035	0.040
3. Sinuoso, algunos charcos y escollos limpios	0.033	0.035	0.040	0.045
4. Igual a 3, de poco tirante con pendiente y sección menos eficientes	0.040	0.045	0.050	0.055
5. Igual a 3, algo de hierba y piedras	0.035	0.040	0.045	0.050
6. Igual a 4, secciones pedregosas	0.045	0.050	0.055	0.060
7. Ríos perezosos, cauce enhierbado o con charcos profundos	0.050	0.060	0.070	0.080
8. Cauces muy enhierbados	0.075	0.100	0.125	0.150

\* Valores corrientemente usados en la práctica.

FUENTE: Ciancaglini (1996)

Y de acuerdo a las características identificadas en la evaluación técnica de las pantallas de infiltración, el valor de “n” seleccionado es:

$$n=0.018$$

#### 4.3. Evaluar la información topográfica disponible

El levantamiento topográfico se desarrolló en época de estiaje, en donde presentan tramos de encauzamiento del río. Estos tramos se dividen en 2 partes, la primera entre las pantallas

N°60 y 22, donde el encauzamiento se presenta al margen derecho del río, y el segundo entre las pantallas N°22 y 03, donde el encauzamiento se presenta al margen izquierdo del río. Entre las pantallas N°03 y 01, el flujo de agua abarca todo el ancho del cauce.

En el desarrollo de este estudio se ha considerado lo siguiente:

#### **4.3.1. Poligonal principal**

Para llevar a cabo el control horizontal de todo el levantamiento topográfico del estudio, se colocaron se colocaron 24 puntos en la poligonal, de los cuales 4 eran puntos geodésicos establecidos. La poligonal principal se estableció por el método de poligonal abierta con control en la que se cuenta con las coordenadas de los puntos inicial y final y la orientación de las alineaciones inicial y final, haciendo factible desarrollar los siguientes cálculos:

- Cálculo y compensación del error de cierre angular
- Cálculo de acimuts o rumbos entre alineaciones (Ley de propagación de los acimuts)
- Cálculo de las proyecciones de los lados
- Cálculo de error de cierre Lineal
- Compensación del error de lineal
- Cálculo de las coordenadas de los Vértices

#### **4.3.2. Poligonal Secundaria**

Se llevo a cabo un control mas detallado de reservorios, cisternas, estaciones de bombeo y otras estructuras. Se establecieron 60 puntos ubicados en las estructuras mencionadas utilizando el método estático, lo que nos permitió alcanzar presiones milimétricas tantos en horizontal como en vertical.

Finalmente se obtuvo la topografía de la zona del proyecto, el cual incluye las pantallas de infiltración y se presenta a continuación.



De la topografía levantada y georreferenciada, se procedió a definir las coordenadas y cotas de cada pantalla de infiltración, tomando como referencia el punto medio. Los cuales se presentan a continuación:

**Tabla 10: Coordenadas UTM y cotas de las pantallas de infiltración**

N° DE PANTALLA	COORDENADAS UTM			N° DE PANTALLA	COORDENADAS UTM		
	NORTE	ESTE	COTA		NORTE	ESTE	COTA
Pantalla N°1	8669814.486	286055.989	259.927	Pantalla N°31	8670317.954	288965.217	306.166
Pantalla N°2	8669858.462	286152.363	262.014	Pantalla N°32	8670312.303	289066.736	307.103
Pantalla N°3	8669885.295	286247.700	263.184	Pantalla N°33	8670307.711	289166.878	308.617
Pantalla N°4	8669914.842	286344.217	264.693	Pantalla N°34	8670315.498	289267.581	310.408
Pantalla N°5	8669941.670	286441.228	266.371	Pantalla N°35	8670281.777	289369.736	313.962
Pantalla N°6	8669974.665	286534.800	267.794	Pantalla N°36	8670264.230	289462.766	315.609
Pantalla N°7	8670007.314	286629.951	269.334	Pantalla N°37	8670253.600	289563.310	316.807
Pantalla N°8	8670040.594	286723.831	270.357	Pantalla N°38	8670240.703	289661.535	318.293
Pantalla N°9	8670071.926	286818.744	271.737	Pantalla N°39	8670229.052	289760.622	319.709
Pantalla N°10	8670105.823	286912.825	273.257	Pantalla N°40	8670221.795	289866.824	320.981
Pantalla N°11	8670138.951	287007.446	274.797	Pantalla N°41	8670220.093	289967.359	322.487
Pantalla N°12	8670178.633	287102.206	276.507	Pantalla N°42	8670219.357	290072.928	324.011
Pantalla N°13	8670211.223	287191.314	277.880	Pantalla N°43	8670223.557	290172.541	325.489
Pantalla N°14	8670245.702	287287.932	278.931	Pantalla N°44	8670226.960	290270.674	326.891
Pantalla N°15	8670278.742	287381.437	280.663	Pantalla N°45	8670237.182	290369.883	328.462
Pantalla N°16	8670313.092	287477.050	282.435	Pantalla N°46	8670249.894	290465.173	330.139
Pantalla N°17	8670336.627	287576.716	284.259	Pantalla N°47	8670246.363	290567.390	331.118
Pantalla N°18	8670354.532	287676.653	285.561	Pantalla N°48	8670262.256	290665.679	333.330
Pantalla N°19	8670369.671	287777.041	286.759	Pantalla N°49	8670273.963	290764.354	334.522
Pantalla N°20	8670378.418	287879.263	288.189	Pantalla N°50	8670289.024	290863.833	335.973
Pantalla N°21	8670379.697	287979.612	289.813	Pantalla N°51	8670308.369	290964.364	337.873
Pantalla N°22	8670379.018	288078.777	290.992	Pantalla N°52	8670326.025	291062.098	339.973
Pantalla N°23	8670380.502	288178.382	292.737	Pantalla N°53	8670346.835	291162.936	341.180
Pantalla N°24	8670379.988	288278.922	294.500	Pantalla N°54	8670369.876	291263.061	343.056
Pantalla N°25	8670377.778	288378.712	296.367	Pantalla N°55	8670392.893	291360.598	344.831
Pantalla N°26	8670378.398	288478.889	298.115	Pantalla N°56	8670420.014	291456.176	346.574
Pantalla N°27	8670372.110	288575.995	299.613	Pantalla N°57	8670448.991	291556.882	348.260
Pantalla N°28	8670362.631	288669.371	301.240	Pantalla N°58	8670481.116	291653.931	350.122
Pantalla N°29	8670348.632	288768.620	423.033	Pantalla N°59	8670514.539	291748.508	352.028
Pantalla N°30	8670331.142	288867.160	304.518	Pantalla N°60	8670547.647	291843.066	353.900

FUENTE: CISPDR (2021)

#### 4.4. Evaluar las características geotécnicas disponibles en el lugar de las pantallas de filtración

Para el análisis y descripción geológica del área del proyecto del tramo subterráneo de la línea de transmisión se utilizó como fuente el boletín del INGEMMET N° 043A\_Geología Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica, 1992, Mapa Geológico del Cuadrángulo de Chosica Hoja 24-j. La zona de estudio ya se sitúa sobre depósitos aluviales del río Rímac, que se abren paso a lo largo de las formaciones de rocas volcánicas intrusivas (dioritas).

LEYENDA						
CRONOESTRATIGRAFÍA			LITOESTRATIGRAFÍA			
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	ROCAS INTRUSIVAS		
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENA	Dep. aluviales	Qh-al		
		PLEIS-TOCENA	Dep. aluviales	Qpl-al		
			Dep. glaciares	Qpl-gl		
	TERCIARIO	SUPERIOR	Volc. Huarochiri	Ts-hu	Diorita	Ts-di
			Volc. Millotingo	Ts-m	Andesita	Ts-a
		INFERIOR	Volc. Colqui	Ti-co	Riolita	Ts-r
			Gpo. Rimac	Ti-ri		
			SUPER	TIPO DE ROCA		

**Figura 23: Boletín del INGENMET N°043A**

FUENTE: Boletín N° 043A\_Geología Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica, 1992. Cuadrángulo de Lima Hoja 25-i-1, 2003.

Los horizontes identificados en esta unidad geotécnica están caracterizados por suelos granulares medianamente densos, identificados como gravas poligénicas mal graduadas de con clastos subredondeados y rodados, englobados en una matriz areno limoso (GP-GM).

De acuerdo a los trabajos de exploración y a los ensayos de laboratorio, se observa que el material predominante en el cauce del río, que en su generalidad es un conglomerado areno gravoso tipo “GP”, con características de alto contenido de permeabilidad, lo que permite una filtración adecuada para la fluencia del río, y un valor elevado de capacidad portante, lo que brinda una resistencia de cimentación adecuada para la construcción de las pantallas de infiltración.

Las muestras fueron obtenidas en forma directa del suelo inalterado, el muestreo se realizó con personal especializado y las muestras se tomaron del material representativo y se colocaron en sacos debidamente codificados para el envío al laboratorio, como se muestra en las siguientes figuras.

Las calicatas fueron realizadas con el uso de equipo mecánico (retroexcavadora). La excavación mediante equipo mecánico de sustenta principalmente por la seguridad del personal, ya que la profundidad es de 3 metros que sobrepasa en un 60% la altura promedio de una persona, así mismo por el tipo de material donde una herramienta manual solo ocasionaría incidentes en su proceso, ya que el existen bolonerías de hasta más de 8” de diámetro.



**Figura 24: Obtención del material areno gravoso GP (Pantalla N°06)**

FUENTE: CISPDR (2021)



**Figura 25: Obtención del material arenoso gravoso GP (Pantalla N°36)**

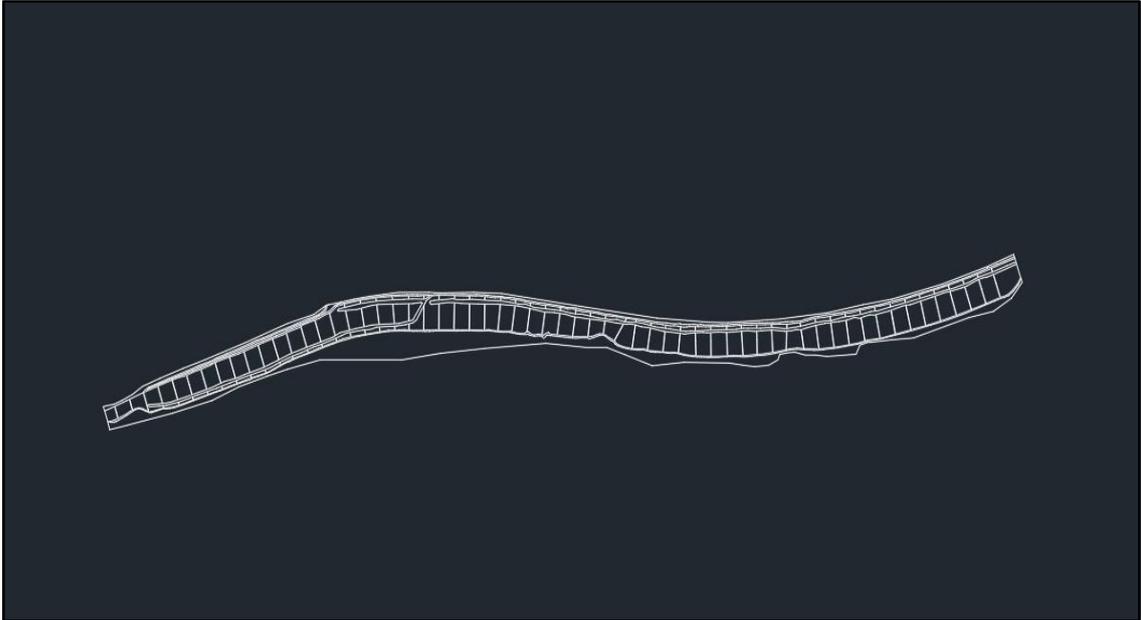
FUENTE: CISPDR (2021)

#### **4.5. Evaluar resultados del modelamiento hidráulico con IBER – 2D**

##### **4.5.1. Geometría del modelo**

Para determinar los parámetros hidráulicos como tirante, velocidad, froude y demás, se ha utilizado los softwares Civil 3D y ArcGIS, para desarrollar el modelo geométrico del área de estudio en dos dimensiones.

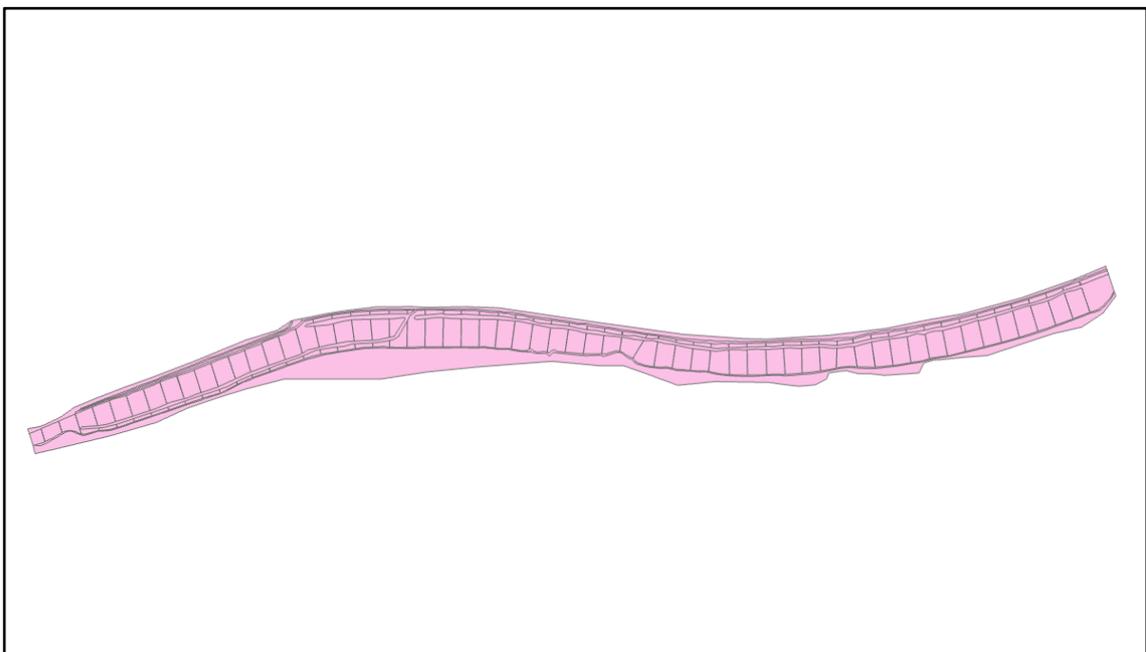
Se inicio la delimitación con Civil 3D mediante la generación de polígonos, diferenciado las áreas según su cobertura y tamaño de malla. Una vez terminado la delimitación, el archivo se exporta en formato DXF y se puede apreciar en la siguiente figura.



**Figura 26: Geometría del modelo**

#### **4.5.2. Creación de la superficie del cauce**

Luego el archivo DXF se importa al ArcGIS, donde se genera la creación de la superficie, ya que el software Iber importa modelos digitales en forma ASCII. Por ello, el archivo generado en formato TIN se ha convertido en formato Raster. Lo descrito se puede apreciar en la siguiente figura.



**Figura 27: Superficie del modelo**

Una vez importado el archivo Raster al Iber, se procede a colapsar el modelo para eliminar puntos y/o líneas que se dupliquen y no general errores en el cálculo. Para finalmente generar la superficie NURBS.

#### 4.5.3. Condiciones de contorno

Respecto a la información hidrodinámica, se debe definir la entrada y salida del flujo de agua, por lo que se ha considerado un régimen crítico-super crítico en la entrada y un flujo supercrítico-crítico en la salida. En la Figura 28 se puede apreciar en forma general la selección de entrada y salida del flujo de agua. En las figuras 29 y 30, se aprecia la entrada y salida respectivamente.

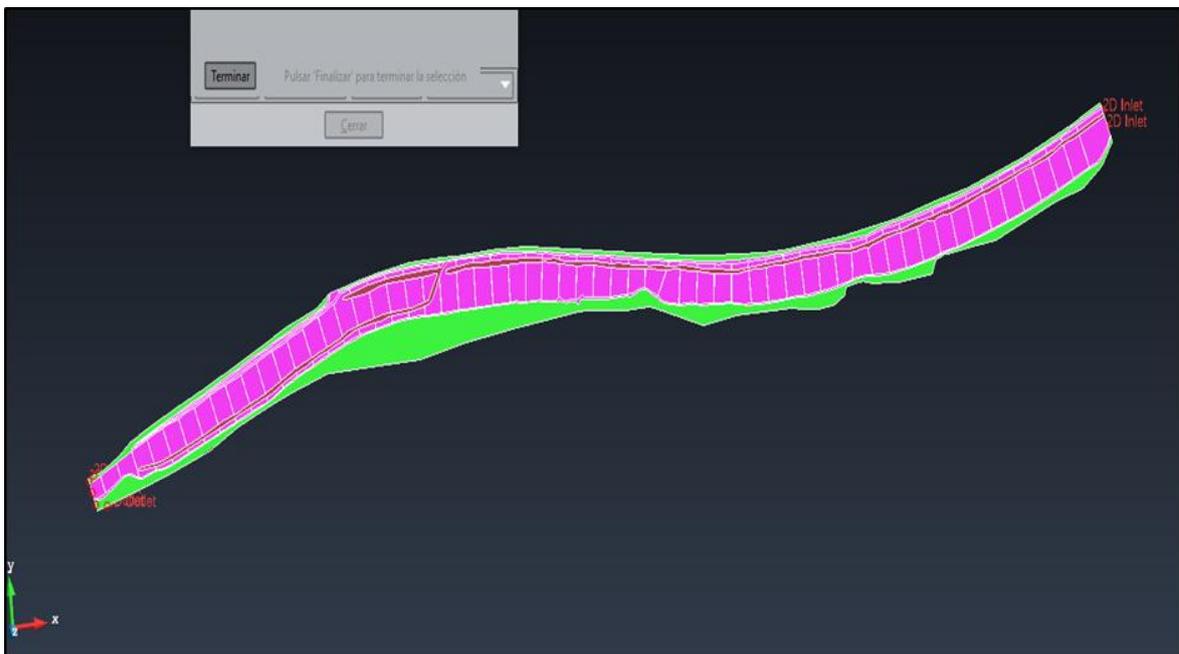
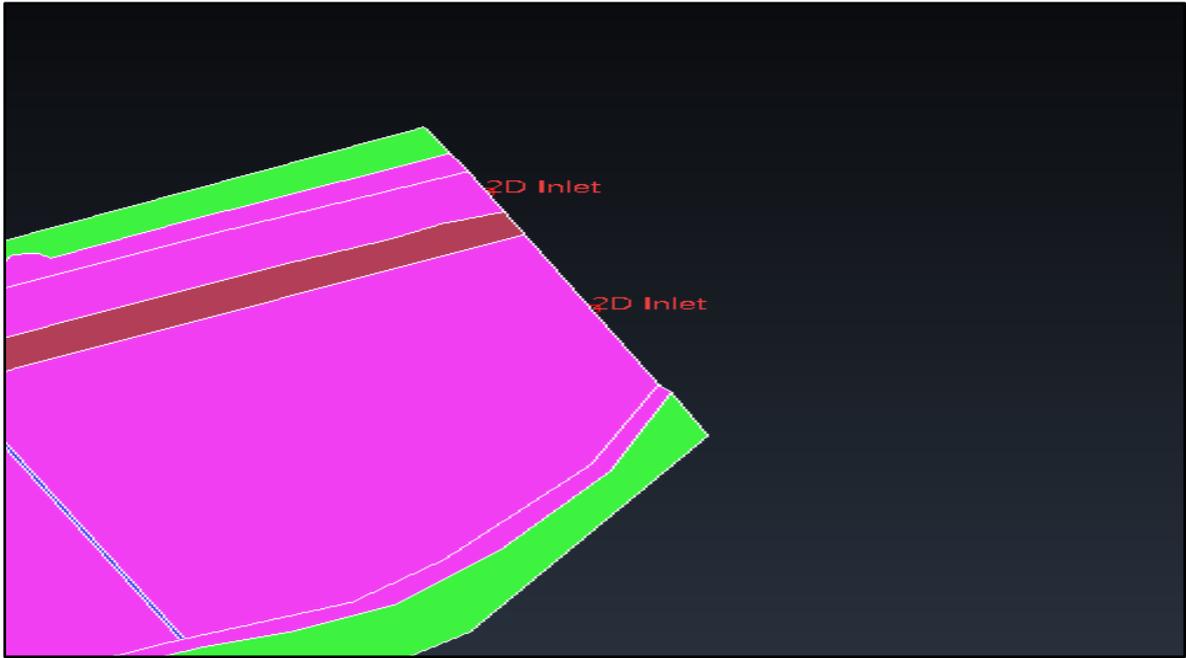
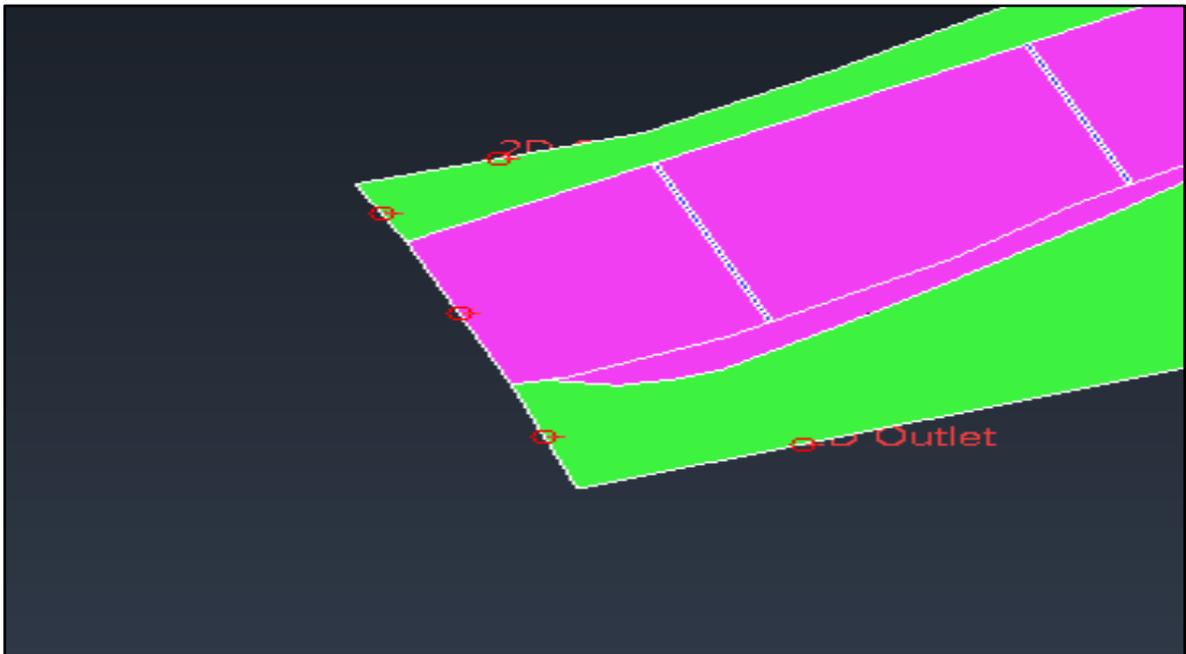


Figura 28: Condiciones del contorno



**Figura 29: Condición del contorno de entrada**



**Figura 30: Condición del contorno de salida**

#### **4.5.4. Rugosidad en el modelo**

Para ingresar los coeficientes de rugosidad al modelo en IBER, se han hecho cálculos y consideraciones respecto a los materiales que se encuentran en la zona del estudio, esto se detalló en el ítem 4.2.2 y se obtuvo los siguientes valores:

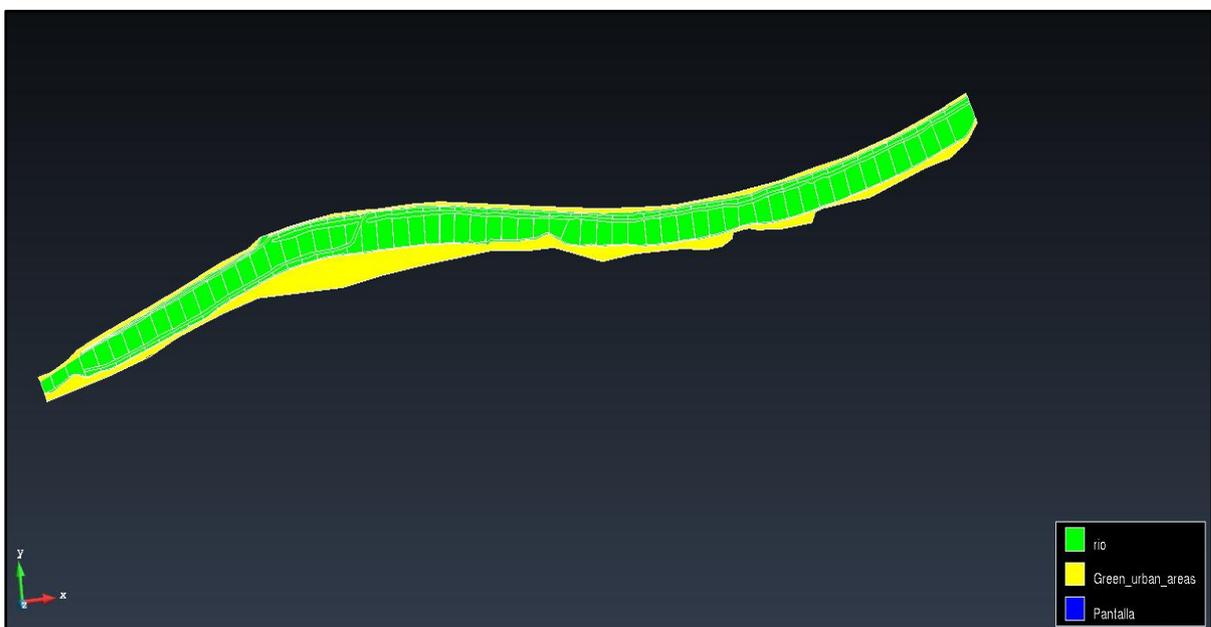
- Pantalla de infiltración:  $n = 0.018$

- Cauce del río:  $n = 0.040$
- Dique de embancamiento:  $n = 0.040$  (Está conformado por el mismo material del cauce del río y se puede apreciar en la Figura 31)



**Figura 31: Conformación del material del dique de embancamiento**

En la Figura 32 se ha identificado y colocado los diferentes valores de rugosidad de los materiales que se encuentran en la zona del estudio.



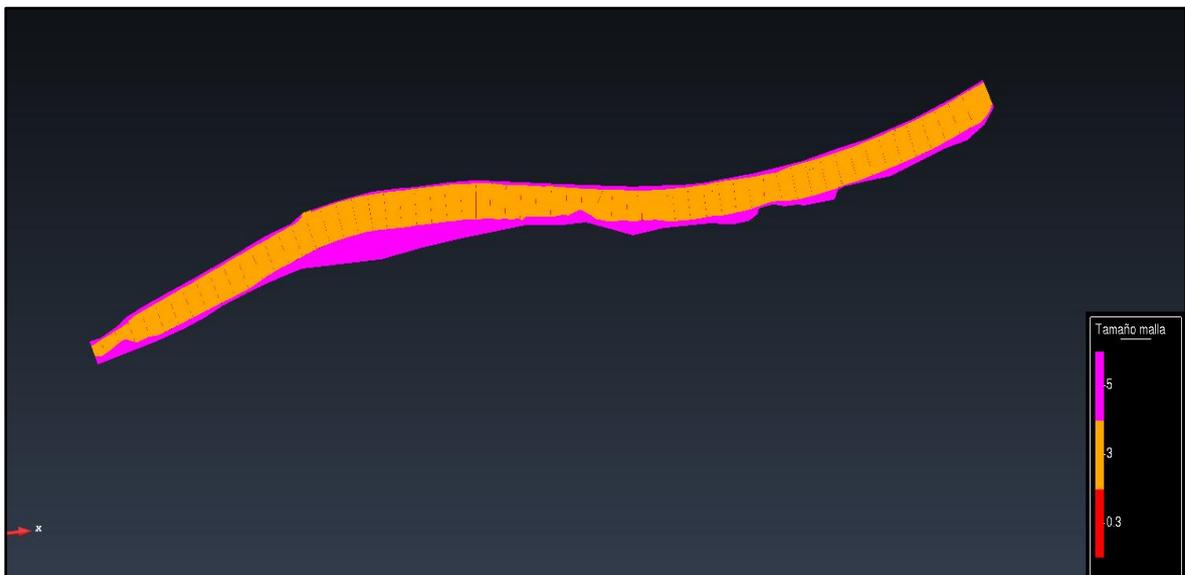
**Figura 32: Rugosidad del modelo**

#### 4.5.5. Generación de malla

La generación de mallas, se realiza mediante la ecuación diferencial de volúmenes finitos. Para ello se divide el dominio de estudios en celdas de tamaño relativamente pequeño (malla de cálculo). Estas consideraciones se tuvieron en cuenta para generar las mallas de las diferentes zonas del estudio. La asignación del tamaño de malla se presenta en el siguiente cuadro y se visualiza en la Figura 33:

**Tabla 11: Tamaño de malla de las zonas del estudio**

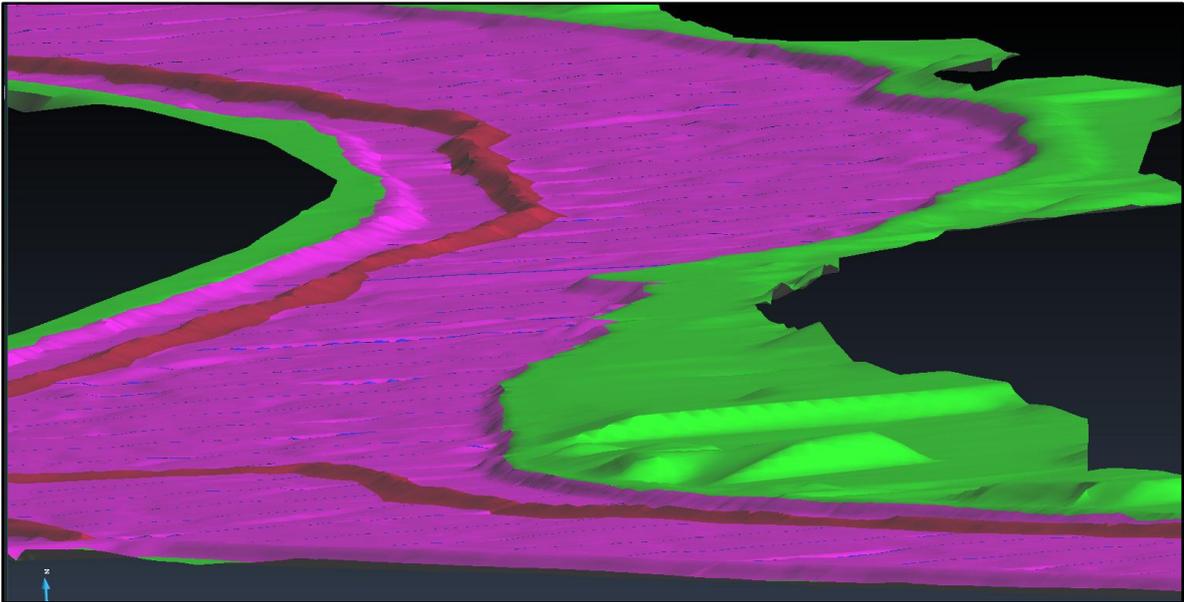
Cobertura de suelo	Tamaño de malla (m)
Ribera del cauce	5
Cauce	3
Pantalla	0.3



**Figura 33: Malla generada**

#### 4.5.6. Importación del DEM al modelo

Para incorporar las cotas del terreno a la malla generada, se deben importar el DEM de la topografía del terreno y generarlo en formato TIFF, visualizándose en la siguiente figura.



**Figura 34: Malla generada y DEM explanado**

#### 4.5.7. Simulación del Modelo y Post-proceso

Previo al inicio de la simulación, se debe realizar las configuraciones respecto a los parámetros hidráulicos, recursos del hardware, etc. Los valores considerados fueran teniendo en cuenta un TR 100 años.

Se inicia configurando el tiempo máximo de simulación del modelo e intervalos de resultados 2D.

**Tabla 12: Parámetros del tiempo de la simulación**

Parámetros de Tiempo	Tiempo (s)
Instante Inicial	0
Tiempo máximo de simulación	12000
Intervalo de resultados 2D	40

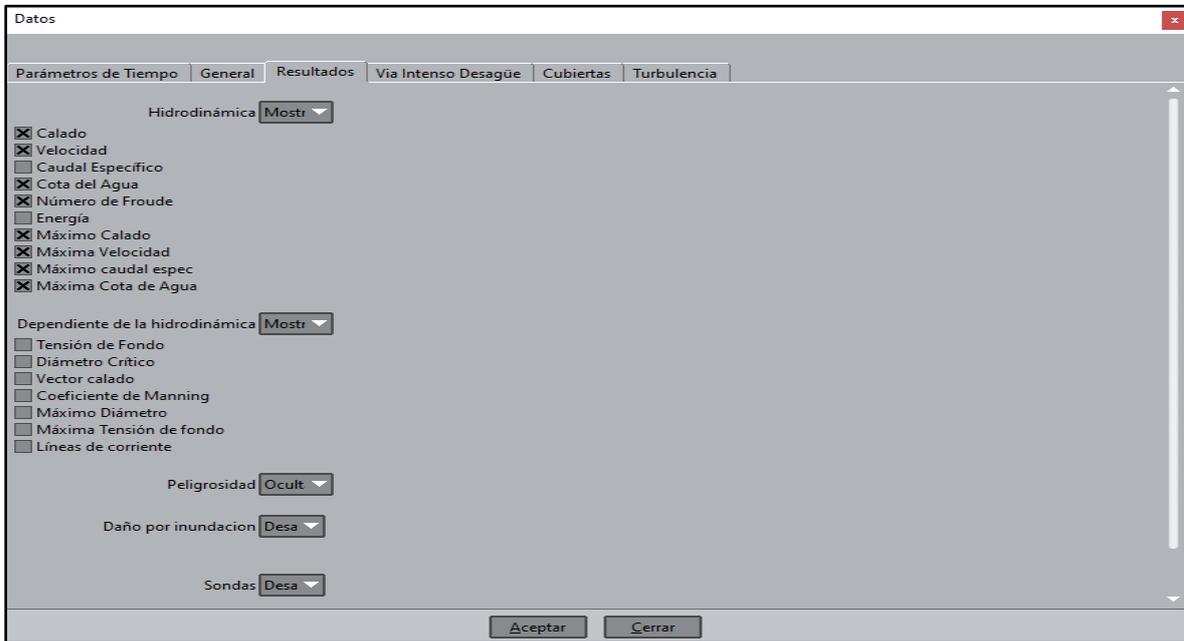
Luego, en la siguiente pestaña se configura los parámetros generales como el número de procesadores, el número de Courant-Friedrichs-Levy (CFL) y el límite seco mojado.

**Tabla 13: Parámetros generales de la simulación**

Parámetros	Valores
Número de procesadores	7
CFL	0.45
Límite seco-Mojado(m)	0.01

Después se seleccionan las variables hidráulicas que se obtendrán del modelamiento, como es el caso del calado (tirante), velocidad, Froude, etc., las cuales fueron consideradas en el presente desarrollo del TSP y se puede apreciar en la siguiente figura.

**Tabla 14: Variables del modelamiento**



Finalmente, se inicia la simulación del modelo numérico y se podrá visualizar el ingreso del caudal y el tiempo transcurrido de la simulación.

#### 4.5.8. Resultados de la simulación del modelo

En las siguientes figuras se presentan los planos de la simulación del modelo obteniendo los valores de velocidad, tirante de agua y froude, dentro de los 6km de la zona de estudio y para un caudal de 265.30 m<sup>3</sup>/s.

Respecto a los resultados de las velocidades, se puede observar que los valores ronda entre los 0.00 y 7.00 m/s, teniendo un promedio de 2.40 m/s. Entre las pantallas N° 60 y 22, los valores más altos se presentan en la sinuosidad del río y entre las pantallas N°22 y 03, se presentan en el tramo donde se encauza del río. Además, los mayores valores de velocidad se presentan a unos 15 y 25 m aguas abajo de las pantallas de infiltración.

Respecto a los resultados del tirante de agua, se puede observar que los valores ronda entre los 0.00 y 6.00 m, teniendo un promedio de 0.80 m. Entre las pantallas N° 60 y 22, los valores más altos se presentan en la sinuosidad del río y entre las pantallas N°22 y 03, se presentan en el tramo donde se encauza del río. Los mayores valores se encuentran entre las pantallas N° 03 y 01, ya que el tramo donde se encuentra la bocatoma, estructura que retiene el flujo de agua, la almacena y eleva el tirante. También los mayores valores de tirante se presentan aguas arriba de la pantalla de infiltración.

Respecto a los resultados del froude, se puede observar que los valores ronda entre los 0.00 y 4.20, teniendo un promedio de 0.86 m. Los mayores valores de froude se presentan en las aguas debajo de las pantallas de infiltración, siendo un flujo supercrítico.



Figura 35: Resultado de la velocidad del modelamiento

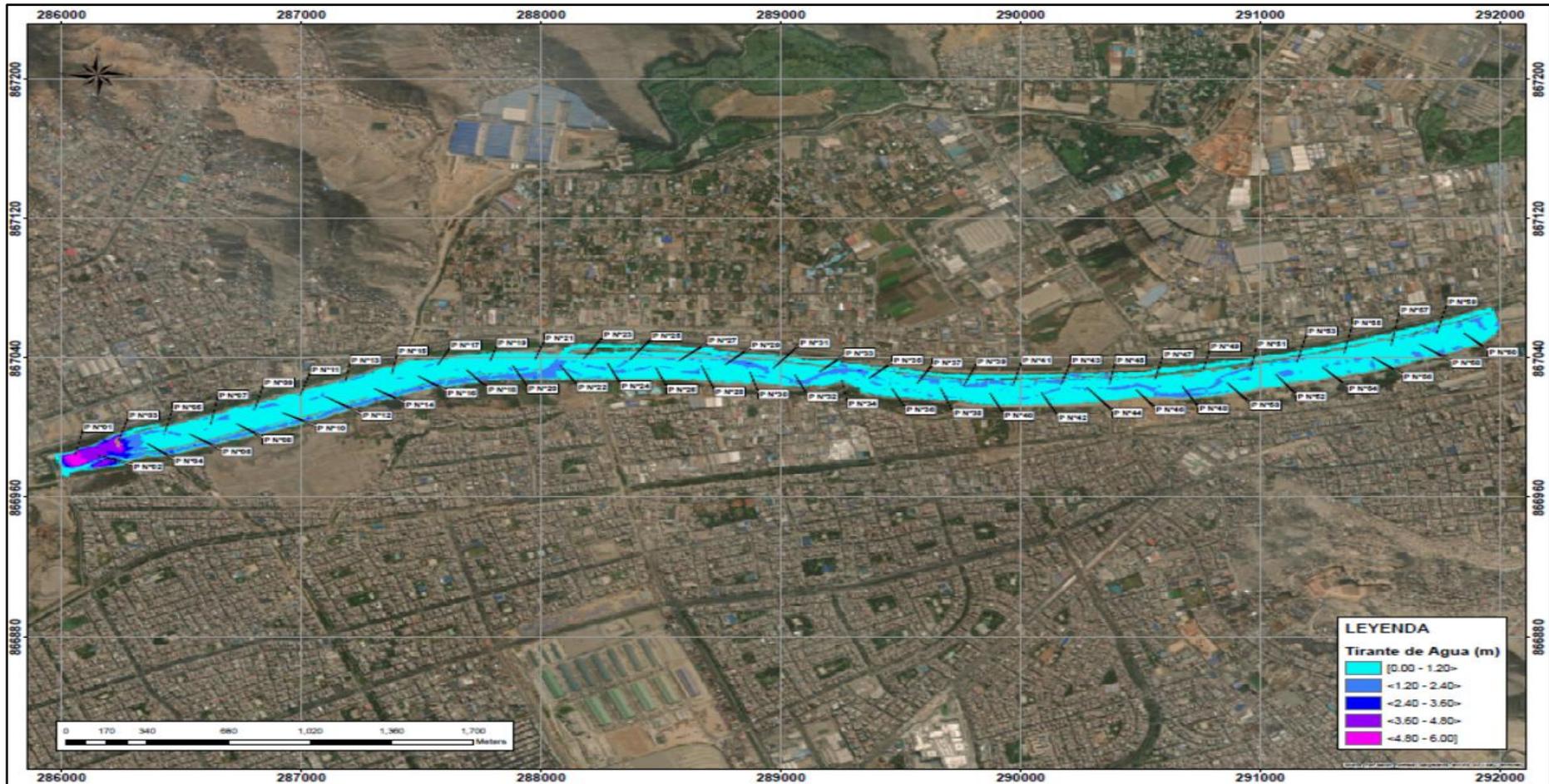


Figura 36: Resultado del tirante de agua del modelamiento



Figura 37: Resultado del froude del modelamiento

## V. CONCLUSIONES

Respecto al objetivo principal se concluye que:

- De acuerdo al desarrollo del presente Trabajo de Suficiencia Profesional, en la cual se plantea la renovación de las pantallas de infiltración, mediante la evaluación de trabajos en campo y del modelamiento hidráulico, se ha determinado que se requiere renovar 11 pantallas de infiltración.

Respecto a los objetivos específicos se concluye que:

- De acuerdo al inventario y situación de las pantallas, se ha detectado problemas de erosión en las coronas, así como pantallas totalmente colapsadas. También se ha podido visualizar erosión del terreno aguas abajo de las pantallas debido a velocidades altas que se producen por el resalto hidráulico.
- Existen diferencias entre las longitudes de las pantallas de infiltración alcanzadas por SEDAPAL y de las longitudes corroboradas de acuerdo a la evolución en campo. Según la información entregada, las longitudes se encontraban entre 64.00 y 210.00; y de acuerdo a la evaluación las longitudes oscilaban entre los 70.00 y 207.00 m.
- El material predominante presenta una clasificación GP, con bolonerías de hasta más de 8" de diámetro, siendo una clasificación común en ríos. Por otro lado, se adjunta en el anexo 1 los ensayos de laboratorio de calicatas, los cuales tienen valores elevados para considerar que el material del cauce presenta una resistencia de cimentación adecuada para la construcción de nuevas pantallas de infiltración, como el caso de la pantalla N°24 que presenta  $c' = 0.18 \text{ kg/cm}^2$  y  $\Phi' = 34.5^\circ$ .
- Para el modelamiento hidráulico se empleó un caudal de 265.30 m<sup>3</sup>/s. para un tiempo de retorno de 100 años. Presenta los mayores valores de tirante aguas arriba de la pantalla de infiltración, caso contrario, son el caso de la velocidad y froude, los cuales sus mayores valores se presentan aguas abajo.
- Para un tiempo de retorno de 100 años, se ha presentado problemas de desbordamiento a entre las pantallas N°19 y 21.

- Al inicio del modelamiento, se presenta un valor de velocidad de 7 m/s. Esto se debe a que al ingresar el valor de caudal (265.30 m<sup>3</sup>/s), este ingresa como una caída, lo que ocasiona los valores picos de velocidades.
- Se ha identificado tres tramos críticos según el análisis topográfico e hidráulico entre las pantallas N°60-22, N°22-3 y N°3-1.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Las pantallas de infiltración identificadas con problemas estructurales, debe ser renovadas lo antes posible.
- Se deben plantear campañas de descolmatación del río tras cada época de lluvias.
- Se recomienda que el levantamiento topográfico se realiza a unos 500 metros aguas arriba y aguas abajo de la zona de estudio, para un correcto análisis del modelamiento hidráulico.
- Para evitar problemas de erosión aguas en las pantalla de infiltración, se recomienda colocar enrocado de 1m de diámetro aguas arriba y con ello disipar un porcentaje de la energía que recibirá cada una.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegría Panta, M. y Pérez Campos, M. (2019). *Análisis Hidráulico – Estructural para las pantallas de infiltración, caso: Planta La Atarjea Lima-2019* (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2010). *Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac: estudio hidrológico y ubicación de la red de estaciones hidrométricas en la cuenca del río Rimac*. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- Cabrera Balarezo, J.J. (2017). *Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación* (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Chambilla, C. (20 de 03 de 2019). *Academia.edu. Formula de Manning*. Recuperado de [https://www.academia.edu/28325579/F%C3%B3rmula\\_de\\_Manning](https://www.academia.edu/28325579/F%C3%B3rmula_de_Manning).
- Charca Huaricallo, M.A. (2019). *Contaminación geogénica en las aguas subterráneas de la cuenca del Río Rímac e Intercuencas 1375539* (Tesis de maestría). Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares.
- Chow, V.T. (1994). *Hidraulica de Canales Abiertos*. Bogotá: Nomos S.A.
- Ciancaglini, N. (1996). *Canales de Desviación*. Argentina, UNESCO
- CISPDR. (2021). *Elaboración del Estudio Definitivo y Expediente Técnico a nivel de ejecución de obra de la Inversión: “Renovación de Pantallas; en el (la) Cauce del Río Rimac en la localidad El Agustino, Distrito de El Agustino, Provincia Lima, Departamento Lima*. Lima.
- Coon, W.F. (1998). *Estimation of Roughness Coefficients for Natural Stream Channels with Vegetated Banks. s.l. : GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY PAPER 2441, 1998*.
- Duque-Sarango, P., Patiño, D. y López, X. (2019). *Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- García Mendivelso, D. A. y Matamoros Rodríguez, H. (2019). *Análisis y comparación de los resultados de la simulación de flujo de un modelo físico a escala con el modelo numérico utilizado por el software IBER 2D*. Bogotá.

- HC & ASOCIADOS. (2021). *Elaboración del Estudio Definitivo y Expediente Técnico del Proyecto: "Creación Estación de Alerta del río Rímac, Chosica del distrito de Lurigancho – provincia de Lima - departamento de Lima"*.
- IBER. (2012). *Modelización bidimensional de flujo en lámina libre en aguas poco profundas. España*. Obtenido de <http://www.iberaula.es/web/index.php>
- IMASGAL. (Febrero de 2022). *Noticias: ¿Qué es iber? Un software libre para la modelización hidráulica*. Recuperado de <https://imasgal.com/que-es-iber/>
- Mélice, J. & Reason, C. (2007). Return period of extreme rainfall at George, South Africa. *South African Journal of Science*, 103(11-12), 499-501.
- MTC. (2010). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Mosonyi, E. & Buck, W. (1977). Selection of Design Flood. *Bulletin of the International Commission on Irrigation and Drainage*.
- Murillo, J., De la Orden, J., Armayor, J. y Castaño, S. (1999). *Recarga Artificial de Acuíferos*.
- Parodi Gonzales Prada, E. P. (2016). Recarga del acuífero de lima mediante el uso de aguas residuales tratadas. *PUCP*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Pérez, J., Escobar, J. y Fragozo, J. (2018). *Modelación Hidráulica 2D de Inundaciones en Regiones con Escasez de Datos. El Caso del Delta del Río Ranchería, Riohacha-Colombia*. Riohacha.
- Rocha, A. (1998). *Introducción a la hidráulica fluvial*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- SEDAPAL. (2014). *Plan Maestro optimizado 2015-2044*. Lima: Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Lima .
- SEDAPAL. (2020). *Concurso Publico N° 0058-2020 - Primera convocatoria - Bases Integradas* . Lima: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima.
- Suárez Díaz, J. (2021). *Control de erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia.
- Velarde Bernal, S.P. (2021). *Simulación del proceso de socavación del cauce del río Rimac. Caso puente Morón* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

## **VIII. ANEXOS**

### **Anexo 1: Ensayos de laboratorio**

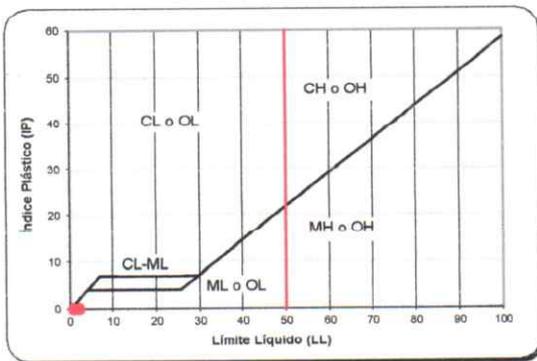
**INFORME DE ENSAYO - CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

INFORME N° : LABGEO-21-163.03A

Fecha de Emisión : 28/06/2021  
Fecha de Recepción : 31/05/2021

**CLIENTE** : Changjiang Institute of Survey Planning, Design and Research sucursal del Perú  
**DIRECCIÓN** : Cal. Tomas Edison Nro. 250 Urb. Country Club Lima - Lima - San Isidro  
**SOLICITANTE** : Ing. Cesar Vitor  
**PROYECTO** : Elaboración del estudio definitivo y expediente técnico a nivel de ejecución de obra de la inversión: "Renovación de Pantallas; en el (la) cauce del Río Rímac en la localidad El Agustino, Distrito de El Agustino, Provincia Lima, Departamento Lima"  
**UBICACIÓN** : Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima "SEDAPAL" Autopista Ramiro Prialé N° 210 Distrito: El Agustino

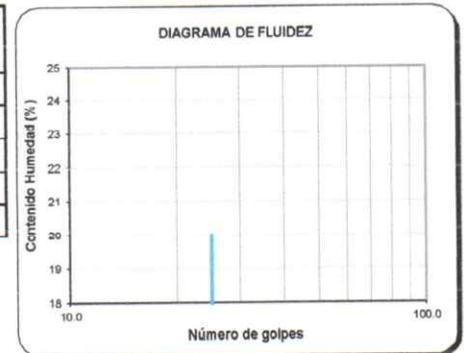
IDENTIFICACIÓN	Pantalla 24 / Calicata N°1	MUESTRA	---	PROFUNDIDAD (m)	3.00
CARACTERÍSTICA DEL MATERIAL (VISUAL)	FORMA :	Sub redondeado	DUREZA :	Duro y Durable	T.M.V. 2 in.
	COLOR DE MUESTRA :	Pardo muy oscuro	CLASIFICACIÓN VISUAL:	GP	



**Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad (ASTM D4318)**

FECHA DE EJECUCIÓN	-
Límite Líquido ( LL )	-
Límite Plástico ( LP )	NP
Índice Plástico ( IP )	-
% Retenido malla No. 40	-

N.P. (No Plástico)



**Determinación del Contenido de Humedad (ASTM D2216)**

Método de Ensayo	A
FECHA DE EJECUCIÓN :	03/06/2021
Masa de tara (g)	280
Masa de tara + muestra húmeda (g)	5 375
Masa de tara + muestra seca (g)	5 214
<b>Contenido de humedad (%)</b>	<b>3</b>

Cantidad de muestra cumple con el ensayo: Cumple  
Más de un tipo de material en la muestra: No

**Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS)**

<b>GP</b>
<b>Nombre de Grupo</b>
<b>Poorly graded gravel with sand</b>
<b>Nombre de Grupo local</b>
<b>Grava mal graduada con arena</b>

**DATOS DE LOS ENSAYOS**

Preparación de Muestra	ASTM D6913/D6913M	Seca al aire	Método Utilizado ASTM D4318	Límite Líquido	---
	ASTM D4318	---		Límite Plástico	---

Observaciones : ---

*Christian Romero*  
CHRISTIAN ROMERO CRISTOBAL  
JEFE DE LABORATORIO

ROMERO CRISTOBAL  
CHRISTIAN HENRY  
pcucho@labgeo-crvv.com  
Fecha: 28/06/2021 16:45  
Firmado por: www.tocapu.pe

*David Vasquez*  
DASVE LOPEZ DAVID LEONCIO  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CP N° 57142

VASQUEZ LOPEZ DAVID LEONCIO  
LABGEO CRVV S.A.C.  
INGENIERO CIVIL - CIP 57142  
pcucho@labgeo-crvv.com  
Fecha: 28/06/2021 16:46  
Firmado por: www.tocapu.pe



Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio  
CIP-57142

Sello

Referencia	ASTM D2216-19	Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
	ASTM D4318-17e1	Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
	ASTM D6913/D6913M -17	Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis
	ASTM D2487-17e1	Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Ensayos realizados en las instalaciones de la Av. Nicolás Ayllón N°9746 (Carretera Central km 13) - Ate vitarte por el personal acreditado.

Los resultados solo están relacionados con la muestra ensayada. La muestra ha sido identificada y entregada en el laboratorio por el cliente.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de Calidad de LABGEO CRVV S.A.C.  
Prohibido la reproducción Total o Parcial, excepto con autorización previa y por escrito de LABGEO CRVV S.A.C.

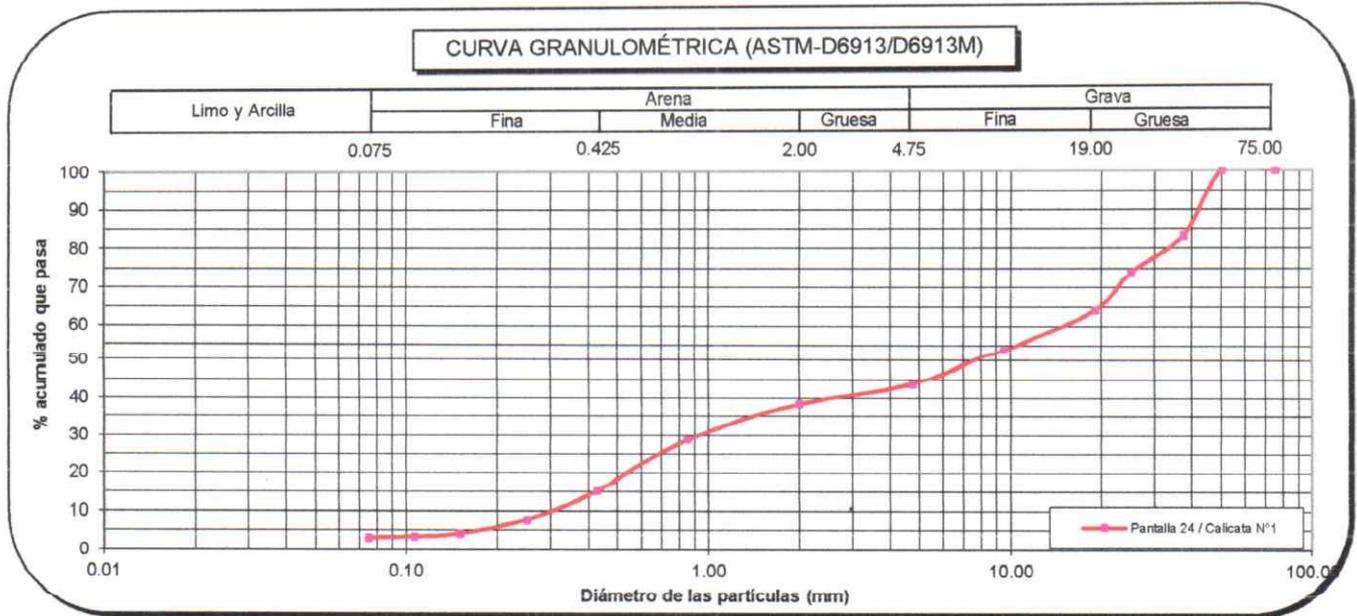
**INFORME DE ENSAYO - CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

INFORME N° : LABGEO-21-163.03A

Fecha de Emisión : 28/06/2021  
Fecha de Recepción : 31/05/2021

IDENTIFICACIÓN	Pantalla 24 / Calicata N°1	MUESTRA	---	PROFUNDIDAD (m)	3.00
BAÑO ULTRASÓNICO	No	APARATO DE AGITACIÓN	No		

Método de ensayo ASTM D6913 / D6913M		A					
FECHA DE EJECUCIÓN : 3/06/2021							
Malla		Masa retenida g	% que pasa (1 ó 0.1%)	Tipo Tamizado			
N°	Abertura (mm)						
3 in.	75.00	0	100	Compuesto			
2 in.	50.00	0	100	Fraccionamiento			
1 ½ in.	37.50	4 370	83	Tamiz N°	%PR	% Retenido del material más fino retenido en el tamiz separador	
1 in.	25.00	2 462	74	No. 4	56		
¾ in.	19.00	2 570	64	Tamiz N°	%PR	0.00	
3/8 in.	9.50	2 799	54	---	---		
No. 4	4.75	2 520	44	Cu	49.31	Máximo 2%	
No. 10	2.00	58.50	38	Cc	0.21	Cumple	
No. 20	0.850	103.30	29	% Grava	% GG	36	56
No. 40	0.425	147.00	15		% GF	20	
No. 60	0.250	79.70	8	% Arena	% AG	5	41
No. 100	0.150	38.20	4		% AM	23	
No. 140	0.106	8.70	3		% AF	12	
No. 200	0.075	2.90	3	% Finos			3



Referencia	ASTM D2216-19	Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
	ASTM D4318-17e1	Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
	ASTM D6913/D6913M -17	Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis
	ASTM D2487-17e1	Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Ensayos realizados en las instalaciones de la Av. Nicolás Ayllón N°9746 (Carretera Central km 13) - Ate vitarte por el personal acreditado.

Los resultados solo están relacionados con la muestra ensayada. La muestra ha sido identificada y entregada en el laboratorio por el cliente. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de Calidad de LABGEO CRVV S.A.C. Prohibido la reproducción Total o Parcial, excepto con autorización previa y por escrito de LABGEO CRVV S.A.C.

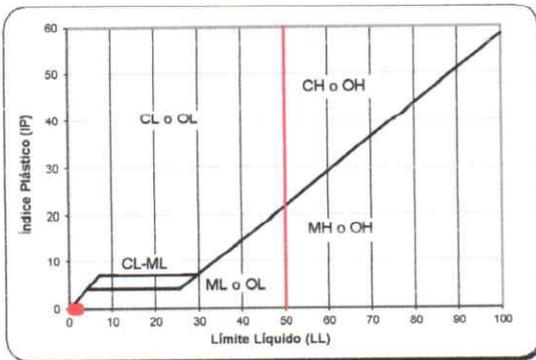
**INFORME DE ENSAYO - CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

INFORME N° : LABGEO-21-163.13A

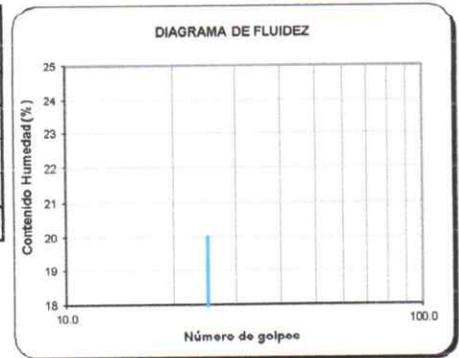
Fecha de Emisión : 28/06/2021  
Fecha de Recepción : 31/05/2021

**CLIENTE** : Changjiang Institute of Survey Planning, Design and Research sucursal del Perú  
**DIRECCIÓN** : Cal. Tomas Edison Nro. 250 Urb. Country Club Lima - Lima - San Isidro  
**SOLICITANTE** : Ing. Cesar Vitor  
**PROYECTO** : Elaboración del estudio definitivo y expediente técnico a nivel de ejecución de obra de la inversión: "Renovación de Pantallas; en el (la) cauce del Río Rimac en la localidad El Agustino, Distrito de El Agustino, Provincia Lima, Departamento Lima"  
**UBICACIÓN** : Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima "SEDAPAL" Autopista Ramiro Prialé N° 210 Distrito: El Agustino

<b>IDENTIFICACIÓN</b>	Pantalla 29 / Calicata N°1	<b>MUESTRA</b>	---	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	3.00
<b>CARACTERÍSTICA DEL MATERIAL (VISUAL)</b>	<b>FORMA :</b>	Sub redondeado	<b>DUREZA :</b>		T.M.V. 2 in.
	<b>COLOR DE MUESTRA :</b>	Pardo oscuro	<b>CLASIFICACIÓN VISUAL:</b>		GP



Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad (ASTM D4318)	
<b>FECHA DE EJECUCIÓN</b>	-
<b>Límite Líquido ( LL )</b>	-
<b>Límite Plástico ( LP )</b>	NP
<b>Índice Plástico ( IP )</b>	-
<b>% Retenido malla No. 40</b>	-
N.P. (No Plástico)	



Determinación del Contenido de Humedad (ASTM D2216)	
<b>Método de Ensayo</b>	A
<b>FECHA DE EJECUCIÓN :</b>	03/06/2021
<b>Masa de tara (g)</b>	164
<b>Masa de tara + muestra húmeda (g)</b>	5 849
<b>Masa de tara + muestra seca (g)</b>	5 515
<b>Contenido de humedad (%)</b>	6
Cantidad de muestra cumple con el ensayo	Cumple
Más de un tipo de material en la muestra	No

Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS)	
<b>GP</b>	
<b>Nombre de Grupo</b>	
Poorly graded gravel with sand	
<b>Nombre de Grupo local</b>	
Grava mal graduada con arena	

DATOS DE LOS ENSAYOS					
<b>Preparación de Muestra</b>	ASTM D6913/D6913M	Seca al aire	<b>Método Utilizado</b>	Límite Líquido	---
	ASTM D4318	---		ASTM D4318	Límite Plástico

Observaciones : ---

*Christian Romero*  
CHRISTIAN ROMERO (GERENTE)  
JEFE DE LABORATORIO

ROMERO CRISTOBAL  
CHRISTIAN HENRY  
pcucho@labgeo-crvv.com  
Fecha: 28/06/2021 16:43  
Firmado por: www.tocapu.pe

*David Vasquez*  
DAVID LEONCIO VASQUEZ LOPEZ  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 57142

VASQUEZ LOPEZ DAVID LEONCIO  
LABGEO CRVV S.A.C.  
INGENIERO CIVIL - CIP 57142  
pcucho@labgeo-crvv.com  
Fecha: 28/06/2021 16:49  
Firmado por: www.tocapu.pe



Sello

Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio  
CIP-57142

<b>Referencia</b>	ASTM D2216-19	Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
	ASTM D4318-17e1	Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
	ASTM D6913/D6913M -17	Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis
	ASTM D2487-17e1	Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Ensayos realizados en las instalaciones de la Av. Nicolás Ayllón N°9746 (Carretera Central km 13) - Ate vitarte por el personal acreditado.

Los resultados solo estan relacionado con la muestra ensayada. La muestra ha sido identificada y entregada en el laboratorio por el cliente.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de Calidad de LABGEO CRVV S.A.C.  
Prohibido la reproducción Total o Parcial, excepto con autorización previa y por escrito de LABGEO CRVV S.A.C.

**INFORME DE ENSAYO - CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

INFORME N° : LABGEO-21-163.13A

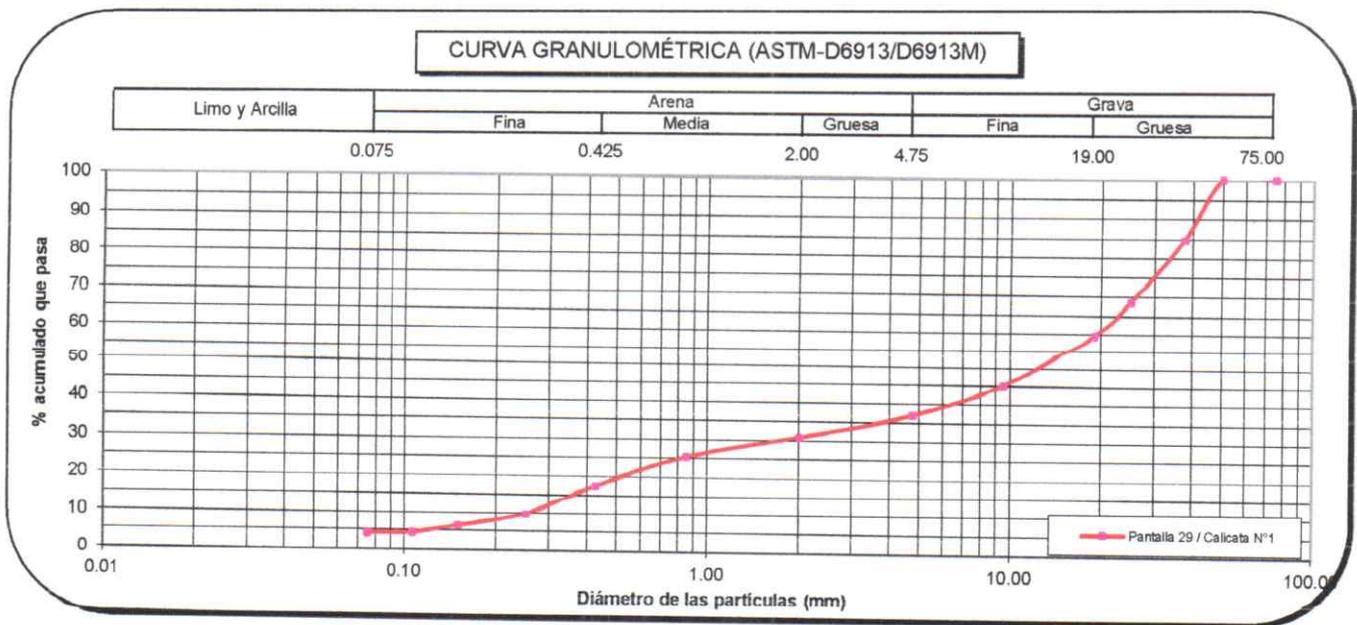
Fecha de Emisión : 28/06/2021  
Fecha de Recepción : 31/05/2021

IDENTIFICACIÓN	Pantalla 29 / Calicata N°1	MUESTRA	---	PROFUNDIDAD (m)	3.00
BAÑO ULTRASÓNICO	No	APARATO DE AGITACIÓN	No		

Método de ensayo ASTM D6913 / D6913M		A	
FECHA DE EJECUCIÓN :		3/06/2021	
Malla	Masa retenida g	% que pasa (1 ó 0.1%)	Tipo Tamizado
N°	Abertura (mm)		
3 in.	75.00	0	100
2 in.	50.00	0	100
1 ½ in.	37.50	3 960	85
1 in.	25.00	4 229	69
¾ in.	19.00	2 348	60
3/8 in.	9.50	3 741	45
No. 4	4.75	2 167	37
No. 10	2.00	73.70	31
No. 20	0.850	68.00	25
No. 40	0.425	98.90	17
No. 60	0.250	92.80	10
No. 100	0.150	41.40	6
No. 140	0.106	23.80	5
No. 200	0.075	2.10	4

Fraccionamiento		% Retenido del material más fino retenido en el tamiz separador	
Tamiz N°	%PR		
No. 4	63		
Tamiz N°	%PR	0.00	
---	---	Máximo 2%	
Cc	0.61	Cumple	
% Grava	% GG	40	63
	% GF	23	
% Arena	% AG	6	33
	% AM	14	
	% AF	13	
% Finos			4



Referencia	ASTM D2216-19	Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
	ASTM D4318-17e1	Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
	ASTM D6913/D6913M -17	Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis
	ASTM D2487-17e1	Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Ensayos realizados en las instalaciones de la Av. Nicolás Aylón N°9746 (Carretera Central km 13) - Ate vitarte por el personal acreditado.

Los resultados solo están relacionados con la muestra ensayada. La muestra ha sido identificada y entregada en el laboratorio por el cliente. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de Calidad de LABGEO CRVV S.A.C. Prohibido la reproducción Total o Parcial, excepto con autorización previa y por escrito de LABGEO CRVV S.A.C.

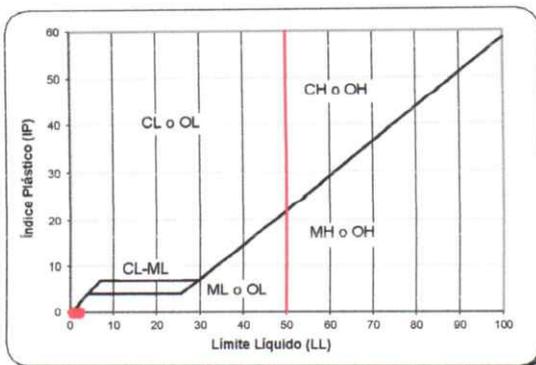
**INFORME DE ENSAYO - CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

INFORME N° : LABGEO-21-163.19A

Fecha de Emisión : 28/06/2021  
Fecha de Recepción : 31/05/2021

**CLIENTE** : Changjiang Institute of Survey Planning, Design and Research sucursal del Perú  
**DIRECCIÓN** : Cal. Tomas Edison Nro. 250 Urb. Country Club Lima - Lima - San Isidro  
**SOLICITANTE** : Ing. Cesar Vitor  
**PROYECTO** : Elaboración del estudio definitivo y expediente técnico a nivel de ejecución de obra de la inversión: "Renovación de Pantallas; en el (la) cauce del Río Rímac en la localidad El Agustino, Distrito de El Agustino, Provincia Lima, Departamento Lima"  
**UBICACIÓN** : Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima "SEDAPAL" Autopista Ramiro Priale N° 210 Distrito: El Agustino

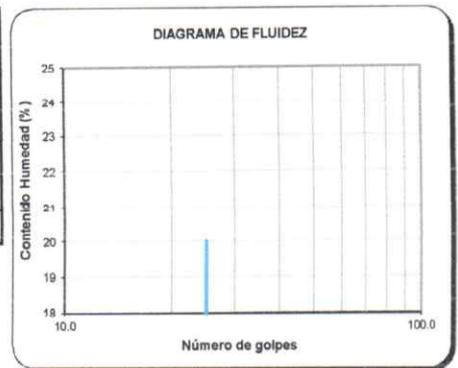
<b>IDENTIFICACIÓN</b>	Pantalla 32 / Calicata N°1	<b>MUESTRA</b>	---	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	3.00
<b>CARACTERÍSTICA DEL MATERIAL (VISUAL)</b>	<b>FORMA :</b>	Sub redondeado	<b>DUREZA :</b>	Duro y Durable	<b>T.M.V.</b> 2 in.
	<b>COLOR DE MUESTRA :</b>	Pardo oscuro	<b>CLASIFICACIÓN VISUAL:</b>	GP	



**Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad (ASTM D4318)**

FECHA DE EJECUCIÓN	-
Límite Líquido ( LL )	-
Límite Plástico ( LP )	NP
Índice Plástico ( IP )	-
% Retenido malla No. 40	-

N.P. (No Plástico)



**Determinación del Contenido de Humedad (ASTM D2216)**

Método de Ensayo	A
FECHA DE EJECUCIÓN :	03/06/2021
Masa de tara (g)	215
Masa de tara + muestra húmeda (g)	5 508
Masa de tara + muestra seca (g)	5 254
<b>Contenido de humedad (%)</b>	<b>5</b>

Cantidad de muestra cumple con el ensayo Cumple  
Más de un tipo de material en la muestra No

**Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS)**

<b>GP</b>
<b>Nombre de Grupo</b>
<b>Poorly graded gravel with sand</b>
<b>Nombre de Grupo local</b>
<b>Grava mal graduada con arena</b>

**DATOS DE LOS ENSAYOS**

<b>Preparación de Muestra</b>	ASTM D6913/D6913M	Seca al aire	<b>Método Utilizado</b> ASTM D4318	Límite Líquido	---
	ASTM D4318	---		Límite Plástico	---

Observaciones : ---

ROMERO CRISTOBAL  
CHRISTIAN HENRY  
pcucho@labgeo-crvv.com  
Fecha: 28/06/2021 16:40  
Firmado por: www.tocapu.pe

Jefe de Laboratorio

VASQUEZ LOPEZ DAVID LEONCIO  
LABGEO CRVV S.A.C.  
INGENIERO CIVIL - CIP 57142  
pcucho@labgeo-crvv.com  
Fecha: 28/06/2021 16:53  
Firmado por: www.tocapu.pe

Director de Laboratorio  
CIP-57142



Sello

Referencia	ASTM D2216-19	Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
	ASTM D4318-17e1	Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
	ASTM D6913/D6913M -17	Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis
	ASTM D2487-17e1	Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Ensayos realizados en las instalaciones de la Av. Nicolás Ayllón N°9746 (Carretera Central km 13) - Ate vitarte por el personal acreditado.

Los resultados solo están relacionados con la muestra ensayada. La muestra ha sido identificada y entregada en el laboratorio por el cliente. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de Calidad de LABGEO CRVV S.A.C. Prohibido la reproducción Total o Parcial, excepto con autorización previa y por escrito de LABGEO CRVV S.A.C.

**INFORME DE ENSAYO - CLASIFICACIÓN DE SUELOS**

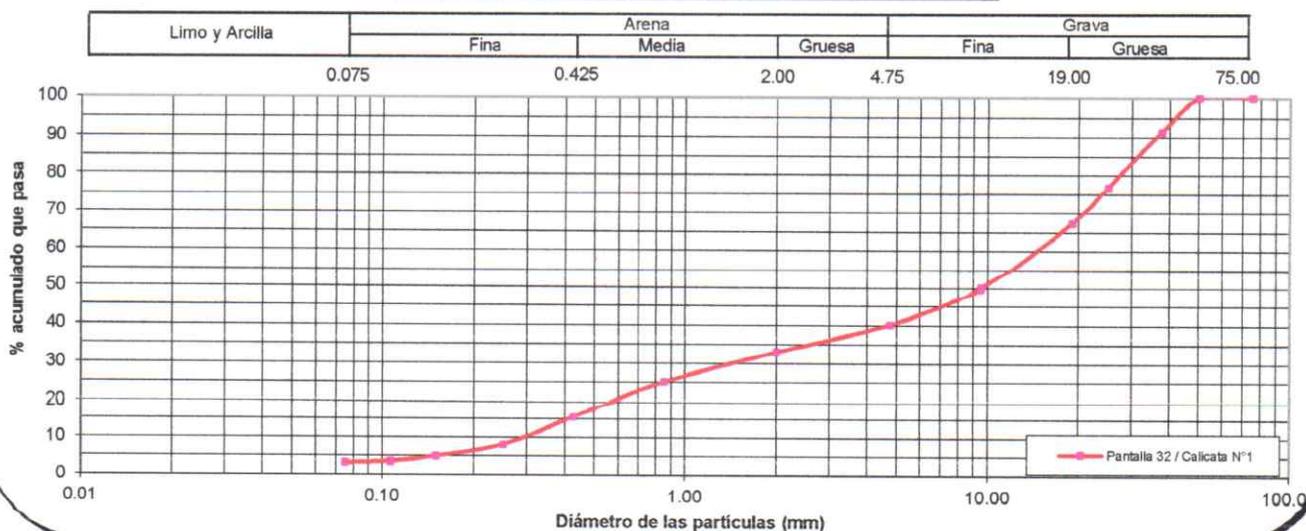
INFORME N° : LABGEO-21-163.19A

Fecha de Emisión : 28/06/2021  
Fecha de Recepción : 31/05/2021

IDENTIFICACIÓN	Pantalla 32 / Calicata N°1	MUESTRA	---	PROFUNDIDAD (m)	3.00
BAÑO ULTRASÓNICO	No	APARATO DE AGITACIÓN	No		

Método de ensayo ASTM D6913 / D6913M		A					
FECHA DE EJECUCIÓN : 3/06/2021							
Malla		Masa retenida g	% que pasa (1 ó 0.1%)	Tipo Tamizado		% Retenido del material más fino retenido en el tamiz separador	
N°	Abertura (mm)			Tamiz N°	%PR		
3 in.	75.00	0	100	Compuesto			
2 in.	50.00	0	100	Fraccionamiento			
1 ½ in.	37.50	2 372	91	Tamiz N°	%PR		
1 in.	25.00	4 005	77	No. 4	60		
¾ in.	19.00	2 615	67	Tamiz N°	%PR		
¾ in.	9.50	4 815	50	---	---	0.00	
No. 4	4.75	2 685	40	Cu	49.60	Máximo 2%	
No. 10	2.00	75.60	33	Cc	0.51	Cumple	
No. 20	0.850	82.80	25	% Grava	% GG	33	60
No. 40	0.425	102.10	15		% GF	27	
No. 60	0.250	76.60	8	% Arena	% AG	7	37
No. 100	0.150	32.60	5		% AM	18	
No. 140	0.106	15.10	4		% AF	12	
No. 200	0.075	3.90	3	% Finos		3	

**CURVA GRANULOMÉTRICA (ASTM-D6913/D6913M)**



Referencia	ASTM D2216-19	Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
	ASTM D4318-17e1	Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
	ASTM D6913/D6913M -17	Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis
	ASTM D2487-17e1	Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

Ensayos realizados en las instalaciones de la Av. Nicolás Ayllón N°9746 (Carretera Central km 13) - Ate Vitarte por el personal acreditado.

Los resultados solo están relacionados con la muestra ensayada. La muestra ha sido identificada y entregada en el laboratorio por el cliente.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de Calidad de LABGEO CRVV S.A.C. Prohibido la reproducción Total o Parcial, excepto con autorización previa y por escrito de LABGEO CRVV S.A.C.

**INFORME N°** LABGEO-21-163.03

**Fecha de Emisión :** 28/06/2021

**SOLICITANTE :** Changjiang Institute of Survey Planning, Design and Research sucursal del Perú

**Fecha de Recepción :** 31/05/2021

**DIRECCIÓN :** Cal. Tomas Edison Nro. 250 Urb. Country Club Lima - Lima - San Isidro

**PROYECTO :** Elaboración del estudio definitivo y expediente técnico a nivel de ejecución de obra de la inversión: "Renovación de Pantallas; en el (la) cauce del Río Rímac en la localidad El Agustino, Distrito de El Agustino, Provincia Lima, Departamento Lima"

**UBICACIÓN :** Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima "SEDAPAL" Autopista Ramiro Prialé N° 210 Distrito: El Agustino

**Calicata :** Pantalla 24 / Calicata N°1

**Muestra :** --

**Prof. (m) :** 3.00

**SUCS :** GP

**Estado de la muestra :** Remoldeada

**Velocidad (mm/min) :** 0.40

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
Esfuerzo Normal	(kg/cm <sup>2</sup> )	1.0		2.0		4.0	
Etapa		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura	(cm)	1.88	1.79	1.88	1.79	1.88	1.71
Lado	(cm)	5.16	5.16	5.16	5.16	5.16	5.16
Densidad Húmeda	(g/cm <sup>3</sup> )	1.90	2.35	1.90	2.36	1.90	2.47
Humedad(%)	(%)	3	22	3	22	3	23
Densidad Seca(g/cm3)	(g/cm <sup>3</sup> )	1.84	1.93	1.84	1.94	1.84	2.02

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte	
	Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )		Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )		Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.19	0.05	0.05	0.19	0.07	0.04	0.19	0.06	0.01
0.39	0.09	0.09	0.39	0.18	0.09	0.39	0.23	0.06
0.58	0.23	0.24	0.58	0.27	0.14	0.58	0.40	0.10
0.78	0.31	0.32	0.78	0.42	0.22	0.78	0.57	0.14
0.97	0.40	0.40	0.97	0.44	0.23	0.97	0.75	0.19
1.26	0.42	0.43	1.16	0.55	0.28	1.16	0.91	0.23
1.55	0.48	0.49	1.55	0.70	0.36	1.55	1.17	0.29
1.94	0.51	0.52	1.94	0.80	0.41	1.94	1.38	0.34
2.33	0.57	0.58	2.33	0.90	0.46	2.33	1.54	0.38
2.71	0.59	0.60	2.71	0.98	0.50	2.71	1.65	0.41
3.10	0.62	0.63	3.10	1.04	0.53	3.10	1.77	0.44
3.49	0.65	0.66	3.49	1.11	0.57	3.49	1.89	0.47
3.88	0.67	0.68	3.88	1.19	0.61	3.88	2.02	0.50
4.26	0.69	0.70	4.26	1.25	0.64	4.26	2.14	0.53
4.65	0.73	0.74	4.65	1.31	0.67	4.65	2.24	0.56
5.04	0.76	0.78	5.04	1.34	0.69	5.04	2.33	0.58
5.43	0.78	0.79	5.43	1.39	0.71	5.43	2.40	0.60
5.81	0.79	0.80	5.81	1.42	0.73	5.81	2.48	0.62
6.20	0.79	0.81	6.20	1.45	0.74	6.20	2.54	0.63
6.59	0.81	0.83	6.59	1.47	0.75	6.59	2.58	0.64
6.98	0.82	0.84	6.98	1.48	0.76	6.98	2.63	0.65
7.36	0.84	0.85	7.36	1.49	0.77	7.36	2.67	0.66
7.75	0.85	0.87	7.75	1.50	0.77	7.75	2.73	0.68
8.14	0.85	0.86	8.14	1.49	0.77	8.14	2.74	0.68
8.53	0.85	0.86	8.53	1.51	0.77	8.53	2.81	0.70
8.91	0.85	0.86	8.91	1.50	0.77	8.91	2.84	0.71
9.30	0.86	0.87	9.30	1.49	0.77	9.30	2.87	0.71
9.69	0.86	0.88	9.69	1.49	0.76	9.69	2.89	0.72
10.66	0.87	0.88	10.66	1.47	0.76	10.66	2.98	0.74
11.63	0.87	0.88	11.63	1.46	0.75	11.63	3.02	0.75
12.59	0.86	0.88	12.59	1.45	0.74	12.59	3.03	0.75
13.56	0.87	0.88	13.56	1.44	0.74	13.56	3.04	0.76
14.53	0.86	0.87	14.53	1.43	0.73	14.53	3.04	0.76
15.50	0.85	0.87	15.50	1.42	0.73	15.50	3.05	0.76

**OBSERVACIONES:** Ensayo ejecutado del pasante de la malla N°4, datos de densidad y humedad de remoldeo indicada por el cliente.

**Referencia** ASTM D3080-11 Standard Test Method fo Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions

Los resultados solo estan relacionado con el ítem ensayado. La muestra ha sido identificada y entregada en el laboratorio por el cliente. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de Calidad de LABGEO CRVV S.A.C.

Prohibido la reproducción Total o Parcial, excepto con autorización previa y por escrito de LABGEO CRVV S.A.C.

Fecha de Emisión : 28/06/2021

INFORME N° LABGEO-21-163.03  
Elaboración del estudio definitivo y expediente técnico a nivel de ejecución de obra de la inversión: "Renovación de Pantallas; en el (la) cauce del Río Rimac en la localidad El Agustino, Distrito de El Agustino, Provincia Lima, Departamento Lima"

Fecha de Recepción : 31/05/2021

UBICACIÓN Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima "SEDAPAL" Autopista Ramiro Priálo N° 210 Distrito: El Agustino

Prof. (m) : 3.00  
Velocidad (mm/min) : 0.4

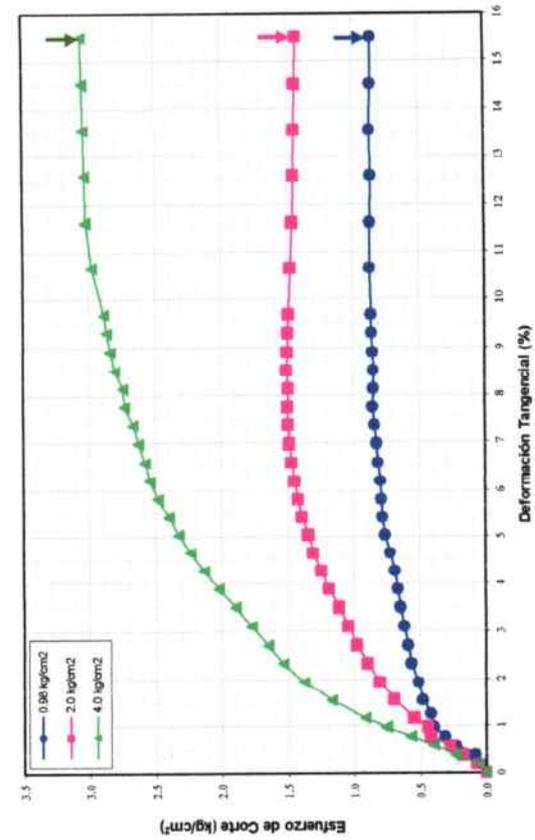
Muestra : —  
Estado de la muestra : Remoldeada

**RESULTADOS:**

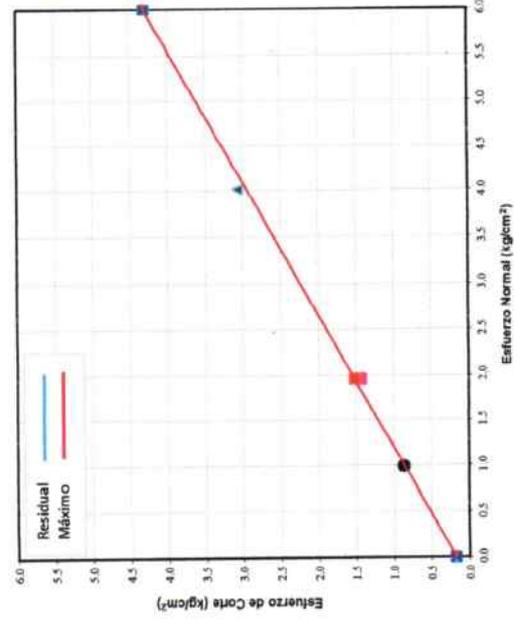
Residual	$c' = 0.18$	kg/cm <sup>2</sup>
Máximo	$c' = 0.18$	kg/cm <sup>2</sup>

Calicata : Pantalla 24 / Calicata N°1  
SUCS : GP

**CURVAS DE RESISTENCIA**



**ESFUERZO DE CORTE vs. ESFUERZO NORMAL**



Los resultados del presente ensayo se basan en una línea de mejor ajuste determinada matemáticamente. La interpretación de los resultados debe ser realizada por un profesional con experiencia en Ingeniería Geotécnica.

**ROMERO CRISTOBAL**  
**CHRISTIAN HENRY**  
pcucho@labgeo-crvv.com  
Fecha: 28/06/2021 18:46  
Firmado por: www.tocapu.pe

**VASQUEZ LOPEZ DAVID LEONCIO**  
LABGEO CRVV S.A.C.  
INGENIERO CIVIL - CIP 57142  
pcucho@labgeo-crvv.com  
Fecha: 28/06/2021 18:50  
Firmado por: www.tocapu.pe



**Director de Laboratorio**  
CIP-57142

Referencia ASTM D3080-11 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de Calidad de LABGEO CRVV S.A.C.  
Prohibido la reproducción Total o Parcial, excepto con autorización previa y por escrito de LABGEO CRVV S.A.C.

**Jefe de Laboratorio**

**INFORME N°** LABGEO-21-163.13

**Fecha de Emisión :** 28/06/2021

**SOLICITANTE :** Changjiang Institute of Survey Planning, Design and Research sucursal del Perú

**Fecha de Recepción :** 31/05/2021

**DIRECCIÓN :** Cal. Tomas Edison Nro. 250 Urb. Country Club Lima - Lima - San Isidro

**PROYECTO :** Elaboración del estudio definitivo y expediente técnico a nivel de ejecución de obra de la inversión: "Renovación de Pantallas; en el (la) cauce del Río Rímac en la localidad El Agustino, Distrito de El Agustino, Provincia Lima, Departamento Lima"

**UBICACIÓN :** Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima "SEDAPAL" Autopista Ramiro Prialé N° 210 Distrito: El Agustino

**Calicata :** Pantalla 29 / Calicata N°1

**Muestra :** --

**Prof. (m) :** 3.00

**SUCS :** GP

**Estado de la muestra :** Remoldeada

**Velocidad (mm/min) :** 0.40

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
Esfuerzo Normal	(kg/cm <sup>2</sup> )	1.0		2.0		4.0	
Etapa		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura	(cm)	1.88	1.79	1.88	1.79	1.88	1.71
Lado	(cm)	5.16	5.16	5.16	5.16	5.16	5.16
Densidad Húmeda	(g/cm <sup>3</sup> )	1.90	2.25	1.90	2.24	1.90	2.31
Humedad(%)	(%)	6	20	6	19	6	18
Densidad Seca(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	1.79	1.87	1.79	1.88	1.79	1.96

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte	
	Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )		Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )		Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.19	0.08	0.08	0.19	0.05	0.03	0.19	0.09	0.02
0.39	0.19	0.19	0.39	0.19	0.10	0.39	0.25	0.06
0.58	0.24	0.24	0.58	0.30	0.16	0.58	0.42	0.11
0.78	0.26	0.26	0.78	0.38	0.19	0.78	0.61	0.15
0.97	0.29	0.29	0.97	0.43	0.22	0.97	0.74	0.18
1.26	0.32	0.32	1.16	0.51	0.26	1.16	0.88	0.22
1.55	0.36	0.37	1.55	0.61	0.31	1.55	1.10	0.27
1.94	0.41	0.41	1.94	0.72	0.37	1.94	1.31	0.33
2.33	0.45	0.45	2.33	0.80	0.41	2.33	1.46	0.36
2.71	0.48	0.49	2.71	0.86	0.44	2.71	1.59	0.40
3.10	0.50	0.51	3.10	0.93	0.48	3.10	1.71	0.43
3.49	0.53	0.54	3.49	0.98	0.50	3.49	1.81	0.45
3.88	0.56	0.57	3.88	1.03	0.53	3.88	1.91	0.48
4.26	0.58	0.59	4.26	1.07	0.55	4.26	2.00	0.50
4.65	0.60	0.61	4.65	1.14	0.58	4.65	2.08	0.52
5.04	0.62	0.62	5.04	1.18	0.61	5.04	2.17	0.54
5.43	0.64	0.65	5.43	1.22	0.63	5.43	2.25	0.56
5.81	0.66	0.67	5.81	1.26	0.65	5.81	2.32	0.58
6.20	0.68	0.69	6.20	1.29	0.66	6.20	2.39	0.60
6.59	0.68	0.69	6.59	1.31	0.67	6.59	2.47	0.61
6.98	0.69	0.70	6.98	1.35	0.69	6.98	2.53	0.63
7.36	0.70	0.71	7.36	1.38	0.71	7.36	2.59	0.64
7.75	0.71	0.73	7.75	1.41	0.72	7.75	2.67	0.67
8.14	0.72	0.73	8.14	1.41	0.72	8.14	2.75	0.68
8.53	0.73	0.74	8.53	1.43	0.73	8.53	2.81	0.70
8.91	0.73	0.75	8.91	1.45	0.74	8.91	2.87	0.71
9.30	0.75	0.76	9.30	1.43	0.73	9.30	2.90	0.72
9.69	0.76	0.77	9.69	1.43	0.73	9.69	2.92	0.73
10.66	0.79	0.80	10.66	1.46	0.75	10.66	2.94	0.73
11.63	0.81	0.82	11.63	1.42	0.73	11.63	3.01	0.75
12.59	0.83	0.85	12.59	1.37	0.70	12.59	3.05	0.76
13.56	0.84	0.85	13.56	1.38	0.71	13.56	3.09	0.77
14.53	0.83	0.84	14.53	1.38	0.71	14.53	3.10	0.77
15.50	0.82	0.84	15.50	1.38	0.71	15.50	3.12	0.78

**OBSERVACIONES:** Ensayo ejecutado del pasante de la malla N°4, datos de densidad y humedad de remoldeo indicada por el cliente.

**Referencia** ASTM D3080-11 Standard Test Method fo Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions

 Los resultados solo estan relacionado con el ítem ensayado. La muestra ha sido identificada y entregada en el laboratorio por el cliente.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de Calidad de LABGEO CRVV S.A.C.

Prohibido la reproducción Total o Parcial, excepto con autorización previa y por escrito de LABGEO CRVV S.A.C.

**INFORME N°** LABGEO-21-163.13  
Elaboración del estudio definitivo y expediente técnico a nivel de ejecución de obra de la inversión: "Renovación de Pantallas; en el (la) cauce del Río Rimac en la localidad El Agustino, Distrito de El Agustino, Provincia Lima, Departamento Lima"  
**PROYECTO**  
**UBICACIÓN** Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima "SEDAPAL" Autopista Ramiro Priáñez N° 210 Distrito: El Agustino

**Fecha de Emisión :** 28/06/2021  
**Fecha de Recepción :** 31/05/2021

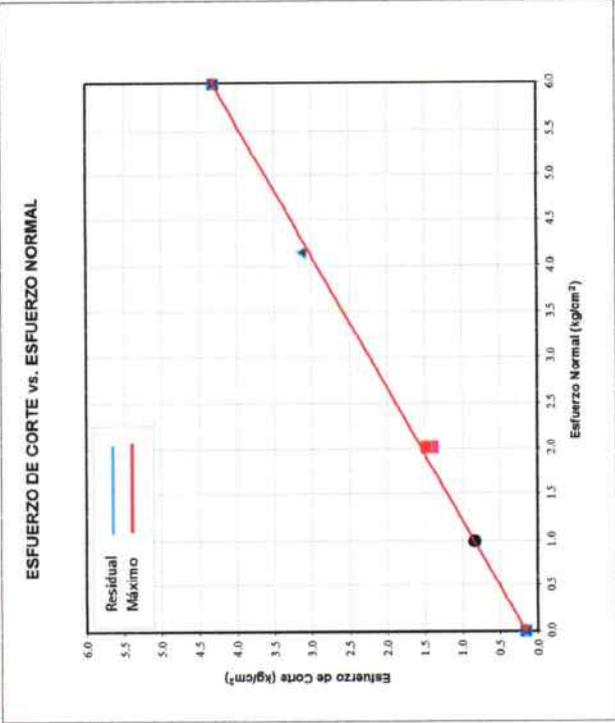
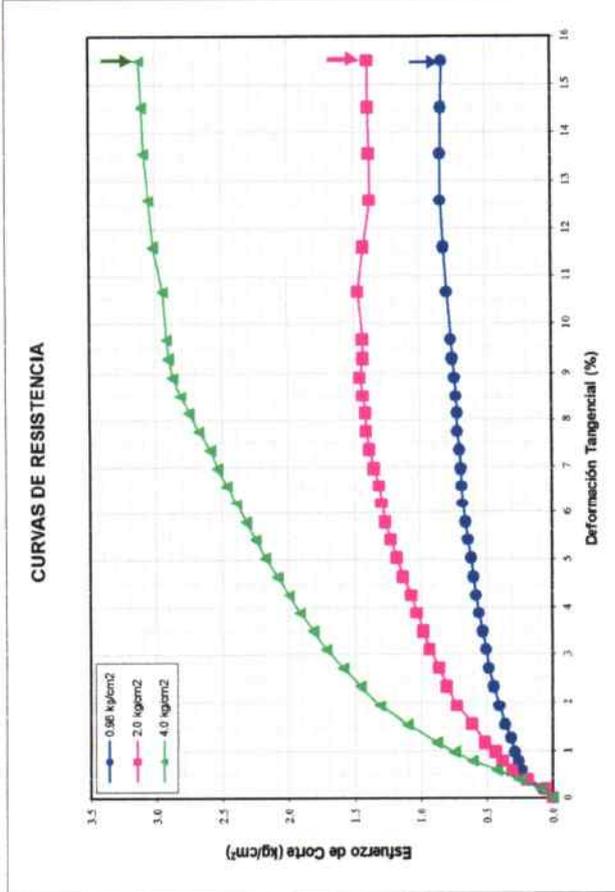
**Prof. (m) :** 3.00  
**Velocidad (mm/min) :** 0.4

$\phi'$  : 34.6 °  
 $\phi'$  : 34.6 °

**RESULTADOS:**  
**Residual**  $c' = 0.16$  kg/cm<sup>2</sup>  
**Máximo**  $c' = 0.16$  kg/cm<sup>2</sup>

**Muestra :** —  
**Estado de la muestra :** Remoldeada

**Calicata :** Pantalla 29 / Calicata N°1  
**SUCS :** GP



**BLADIMIR BENATE HUARCAYA**  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP 79874

**Ing. Cesar Andrés Vitor Bonavente**  
Jefe De Proyecto  
Reg. CIP 31830

Los resultados del presente ensayo se basan en una línea de mejor ajuste determinada matemáticamente. La interpretación de los resultados debe ser realizada por un profesional con experiencia en Ingeniería Geotécnica.

**OBSERVACIONES:** Ensayo ejecutado del pasante de la malla N°4, datos de densidad y humedad de remolde indicados por el cliente.

**ROMERO CRISTOBAL**  
**CHRISTIAN HENRY**  
pcucho@labgeo-crvv.com  
Fecha: 28/06/2021 18:14  
Firmado por: www.tocapu.pe

*CHRISTIAN HENRY*  
CHRISTIAN HENRY CRUZ  
Reg. CIP N° 1742

**VASQUEZ LOPEZ DAVID LEONCIO**  
LABGEO CRVV S.A.C.  
INGENIERO CIVIL - CIP 57142  
pcucho@labgeo-crvv.com  
Fecha: 28/06/2021 18:39  
Firmado por: www.tocapu.pe



**Director de Laboratorio**  
CIP-57142

**Referencia** ASTM D3080-11 Standard Test Method fo Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions

Los resultados solo estan relacionado con el ítem ensayado. La muestra ha sido identificada y entregada en el laboratorio por el cliente.  
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de Calidad de LABGEO CRVV S.A.C.  
Prohibido la reproducción Total o Parcial, excepto con autorización previa y por escrito de LABGEO CRVV S.A.C.

**INFORME N°** LABGEO-21-163.19

**Fecha de Emisión :** 28/06/2021

**SOLICITANTE :** Changjiang Institute of Survey Planning, Design and Research sucursal del Perú

**Fecha de Recepción :** 31/05/2021

**DIRECCIÓN :** Cal. Tomas Edison Nro. 250 Urb. Country Club Lima - Lima - San Isidro

**PROYECTO :** Elaboración del estudio definitivo y expediente técnico a nivel de ejecución de obra de la inversión: "Renovación de Pantallas; en el (la) cauce del Río Rímac en la localidad El Agustino, Distrito de El Agustino, Provincia Lima, Departamento Lima"

**UBICACIÓN :** Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima "SEDAPAL" Autopista Ramiro Prialé N° 210 Distrito: El Agustino

**Calicata :** Pantalla 32 / Calicata N°1

**Muestra :** ---

**Prof. (m) :** 3.00

**SUCS :** GP

**Estado de la muestra :** Remoldeada

**Velocidad (mm/min) :** 0.40

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
Esfuerzo Normal	(kg/cm <sup>2</sup> )	1.0		2.0		4.0	
Etapa		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura	(cm)	1.88	1.79	1.88	1.79	1.88	1.71
Lado	(cm)	5.16	5.16	5.16	5.16	5.16	5.16
Densidad Húmeda	(g/cm <sup>3</sup> )	1.90	2.33	1.90	2.32	1.90	2.42
Humedad(%)	(%)	5	23	5	22	5	23
Densidad Seca(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	1.80	1.89	1.80	1.90	1.80	1.98

ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte		Deform. Tangencial (%)	Esfuerzo de Corte	
	Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )		Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )		Tangencial (kg/cm <sup>2</sup> )	Normalizado (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.19	0.03	0.03	0.19	0.04	0.02	0.19	0.10	0.02
0.39	0.07	0.07	0.39	0.15	0.08	0.39	0.24	0.06
0.58	0.17	0.18	0.58	0.31	0.16	0.58	0.41	0.10
0.78	0.25	0.26	0.78	0.38	0.19	0.78	0.53	0.13
0.97	0.30	0.31	0.97	0.47	0.24	0.97	0.80	0.20
1.26	0.33	0.34	1.16	0.55	0.28	1.16	0.89	0.22
1.55	0.40	0.40	1.55	0.67	0.34	1.55	1.09	0.27
1.94	0.44	0.45	1.94	0.75	0.38	1.94	1.25	0.31
2.33	0.48	0.48	2.33	0.82	0.42	2.33	1.41	0.35
2.71	0.51	0.52	2.71	0.88	0.45	2.71	1.55	0.39
3.10	0.55	0.56	3.10	0.94	0.48	3.10	1.69	0.42
3.49	0.57	0.58	3.49	1.00	0.51	3.49	1.81	0.45
3.88	0.60	0.61	3.88	1.06	0.54	3.88	1.95	0.49
4.26	0.62	0.63	4.26	1.12	0.57	4.26	2.05	0.51
4.65	0.64	0.65	4.65	1.16	0.59	4.65	2.11	0.53
5.04	0.65	0.66	5.04	1.18	0.61	5.04	2.20	0.55
5.43	0.68	0.69	5.43	1.22	0.63	5.43	2.28	0.57
5.81	0.70	0.71	5.81	1.27	0.65	5.81	2.36	0.59
6.20	0.71	0.72	6.20	1.31	0.67	6.20	2.43	0.60
6.59	0.72	0.73	6.59	1.35	0.69	6.59	2.51	0.62
6.98	0.72	0.73	6.98	1.39	0.71	6.98	2.60	0.65
7.36	0.73	0.74	7.36	1.40	0.72	7.36	2.64	0.66
7.75	0.74	0.75	7.75	1.43	0.73	7.75	2.69	0.67
8.14	0.75	0.77	8.14	1.46	0.75	8.14	2.73	0.68
8.53	0.77	0.78	8.53	1.47	0.75	8.53	2.79	0.69
8.91	0.77	0.79	8.91	1.48	0.76	8.91	2.83	0.70
9.30	0.79	0.80	9.30	1.48	0.76	9.30	2.88	0.72
9.69	0.79	0.81	9.69	1.50	0.77	9.69	2.89	0.72
10.66	0.80	0.81	10.66	1.52	0.78	10.66	2.96	0.74
11.63	0.82	0.83	11.63	1.53	0.79	11.63	3.01	0.75
12.59	0.82	0.83	12.59	1.53	0.78	12.59	3.02	0.75
13.56	0.81	0.82	13.56	1.53	0.78	13.56	3.03	0.75
14.53	0.81	0.82	14.53	1.52	0.78	14.53	3.03	0.76
15.50	0.81	0.82	15.50	1.52	0.78	15.50	3.04	0.76

**OBSERVACIONES:** Ensayo ejecutado del pasante de la malla N°4, datos de densidad y humedad de remoldeo indicada por el cliente.

**Referencia** ASTM D3080-11 Standard Test Method fo Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions

Los resultados solo estan relacionado con el ítem ensayado. La muestra ha sido identificada y entregada en el laboratorio por el cliente.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de Calidad de LABGEO CRVV S.A.C.

Prohibido la reproducción Total o Parcial, excepto con autorización previa y por escrito de LABGEO CRVV S.A.C.

INFORME N° LABGEO-21-163.19

Fecha de Emisión : 28/06/2021

**PROYECTO** Elaboración del estudio definitivo y expediente técnico a nivel de ejecución de obra de la inversión: "Renovación de Pantallas; en el (la) cauce del Río Rimac en la localidad El Agustino, Distrito de El Agustino, Provincia Lima, Departamento Lima"

Fecha de Recepción : 31/05/2021

**UBICACIÓN** Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima "SEDAPAL" Autopista Ramiro Prialá N° 210 Distrito: El Agustino

Calicata : Pantalla 32 / Calicata N°1

Muestra : ---

Prof. (m) : 3.00

SUCS : GP

Estado de la muestra : Remoideada

Velocidad (mm/min) : 0.4

**RESULTADOS:** Residual  $c' = 0.10$  kg/cm<sup>2</sup>  
Máximo  $c' = 0.10$  kg/cm<sup>2</sup>

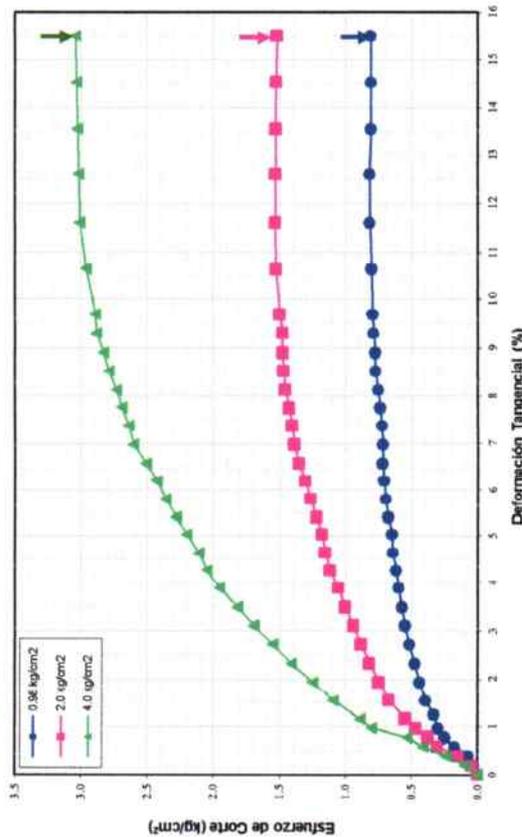
$\phi' : 35.9$  °  
 $\phi' : 35.9$  °

B

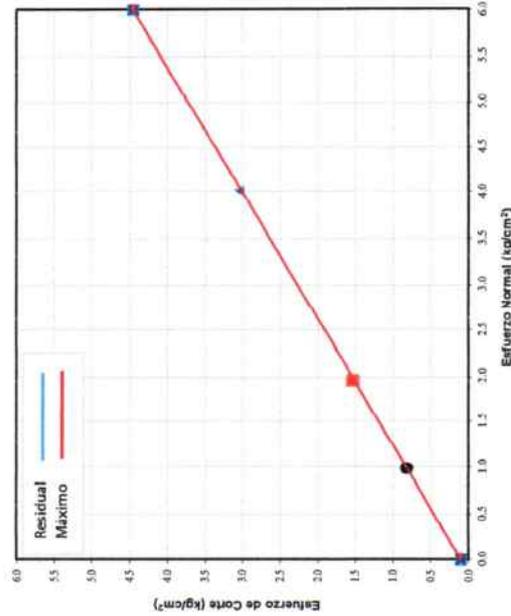
BLADIMIR BENATE HUARCAYA  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP 79674

Ing. Cesar Andrés Vitor Benavente  
Jefe De Proyecto  
Reg. CIP 31220

**CURVAS DE RESISTENCIA**



**ESFUERZO DE CORTE vs. ESFUERZO NORMAL**



Los resultados del presante ensayo se basan en una línea de mejor ajuste determinada matemáticamente. La interpretación de los resultados debe ser realizada por un profesional con experiencia en Ingeniería Geotécnica.

**OBSERVACIONES:** Ensayo ejecutado del pasante de la malla N°4, datos de densidad y humedad de remoldeo indicada por el cliente.

ROMERO CRISTOBAL  
CHRISTIAN HENRY  
pcucho@labgeo-crvv.com  
Fecha: 28/06/2021 19:36  
Firmado por: www.tocapu.pe

VASQUEZ LOPEZ DAVID LEONCIO  
LABGEO CRVV S.A.C.  
INGENIERO CIVIL - CIP 57142  
pcucho@labgeo-crvv.com  
Fecha: 28/06/2021 19:37  
Firmado por: www.tocapu.pe

JABE  
MARCELO VALENZUELA  
Reg. CIP 57142



Jefe de Laboratorio

Director de Laboratorio

CIP-57142

Sello

Referencia ASTM D3080-11 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de Calidad de LABGEO CRVV S.A.C. Los resultados solo están relacionados con el ítem ensayado. La muestra ha sido identificada y entregada en el laboratorio por el cliente.

Prohibido la reproducción Total o Parcial, excepto con autorización previa y por escrito de LABGEO CRVV S.A.C.