

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS HIDRÁULICO – ESTRUCTURAL PARA LAS  
PANTALLAS DE INFILTRACIÓN, CASO: PLANTA LA  
ATARJEJA LIMA – 2019**

**TESIS**  
**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ALEGRÍA PANTA, MAX HENRY**  
**Bach. PÉREZ CAMPOS, MARCO ANTONIO**

**ASESOR: Msc. Ing. MOGROVEJO GUTIÉRREZ, RUBÉN ESAÚ**

**LIMA - PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada a mis padres, porque siempre estuvieron a mi lado, brindándome su apoyo y consejos, motivándome para conseguir mis metas y de esta manera hacer de mí una mejor persona.

A mis hermanos y familia porque con sus palabras de aliento nunca me dejaron decaer, porque siempre me enseñaron a ser perseverantes y cumplir con mis ideales.

**Marco Antonio Pérez Campos**

A mi familia. Mi padre por inculcarme la disciplina y pasión por la ingeniería; y a mi madre por su infinito amor y confianza en mí.

**Max Henry Alegría Panta**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a los profesores de la universidad Ricardo Palma por brindarnos sus enseñanzas con la mejor disposición, agradezco a nuestro asesor especialista el ing. Rubén Mogrovejo por siempre apoyarnos en el desarrollo de nuestra tesis. Un agradecimiento especial para la comisión de investigación de desarrollo aeroespacial (CONIDA) por el aporte de sus imágenes de satélite.

**Marco Antonio Pérez Campos**

Un especial agradecimiento al ingeniero Rubén Mogrovejo, por sus consejos y orientación. A las empresas Trinity Group y SEDAPAL por el acceso a la información.

**Max Henry Alegría Panta**

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	3
1.1 Descripción de la realidad de la problemática.....	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.2.1 Problemas principal.....	4
1.2.2 Problemas secundarios.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivos principal.....	4
1.3.2 Objetivos secundario.....	4
1.4 Justificación e Importancia de la investigación.....	4
1.4.1 Conveniencia.....	4
1.4.2 Relevancia social.....	6
1.4.3 Implicancia práctica.....	8
1.5 Limitaciones de la investigación.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes de la investigación.....	9
2.2. Bases teóricas.....	13
2.2.1 Ecuación de energía.....	13
2.2.2 Ecuación de continuidad.....	14
2.2.3 Ecuación de cantidad de movimiento.....	14
2.3. Definiciones conceptuales.....	14
2.3.1 Clima.....	14
2.3.2 Cauce.....	14
2.3.3 Caudal.....	17
2.3.4 Bocatoma.....	21
2.3.5 Estiaje.....	22
2.3.6 Teoría de empuje.....	22
2.3.7 Estructuras de mampostería.....	23

2.4 Estructura de sustento de la investigación.....	23
2.5 Sistema de hipótesis.....	41
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>42</b>
3.1 Tipo y nivel de investigación.....	42
3.2 Diseño de investigación.....	42
3.3 Técnicas e investigación de recolección de datos.....	42
<b>CAPÍTULO IV: RECOPIACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN ...</b>	<b>43</b>
4.1 Estudios básicos de ingeniería.....	43
4.2 Topografía.....	43
4.3 Análisis hidráulico.....	44
4.4 Análisis estructural.....	60
4.5 Exploración de campo y laboratorio.....	62
4.5.1 Ensayos de laboratorio.....	66
4.5.2 Ensayos con diamantina.....	67
4.5.3 Ensayos de esclerometría.....	69
4.6 Mapeo geológico local.....	70
4.6.1 Perfil estratigráfico.....	75
4.7 Drenaje de pantallas para la exploración.....	78
4.8 Analisis hidráulico con excel.....	80
4.9 Analisis estructural con excel.....	88
<b>CAPÍTULO V: MODELAMIENTO HIDRÁULICO - ESTRUCTURAL .....</b>	<b>91</b>
5.1 Escenario 1 (Tr=50 años).....	91
5.2 Escenario 2 (Tr=100 años).....	93
5.3 Escenario 3 (Tr=500 años).....	94
<b>CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>96</b>
6.1 Discusión 1.....	96
6.2 Discusión 2.....	96
6.3 Discusión 3.....	97
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>100</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>101</b>

ANEXOS .....	104
Anexo 1: Análisis hidráulico - hidrológico.....	105
Anexo 2: Panel fotográfico .....	127
Anexo 3: Ensayos de laboratorio y muestras en situ .....	132
Anexo 4: Lista de planos .....	142

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1: Clasificación de los suelos según el tamaño de partículas.
- Tabla 2: Valores del coeficiente ( $\phi$ ) para diversos caudales
- Tabla 3: Valores de la cohesión y el ángulo de rozamiento
- Tabla 4: Exponentes en función de  $D_m$  o  $Y_s$ . Valores de  $x$  y  $z$
- Tabla 5: Valores de  $\beta$
- Tabla 6: Valores de  $\psi$
- Tabla 7: Ajuste de los caudales distribución empírica
- Tabla 8: Ajuste de la probabilidad de excedencia
- Tabla 9: Caudales máximos del río Rímac
- Tabla 10: Caudales máximos instantáneos
- Tabla 11: Valores de  $n$  para la prueba de datos dudosos
- Tabla 12: Caudales máximos
- Tabla 13: Valores de coeficientes de Manning
- Tabla 14: Parámetros sismo resistentes
- Tabla 15: Relación de excavaciones realizadas (piques)
- Tabla 16: Cantidad de muestras de concreto extraídas de las pantallas de infiltración
- Tabla 17: Evaluación de las muestras de concreto
- Tabla 18: Evaluación de muestras de calicatas
- Tabla 19: Cálculos de reserva de aguas subterráneas en los valles costeros del Perú
- Tabla 20: Registro Histórico, estación Chosica
- Tabla 21: Precipitación máxima, estación Chosica
- Tabla 22: Prueba de bondad de ajuste
- Tabla 23: Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov
- Tabla 24: Caudales anuales máximos del río Rímac, estación Chosica
- Tabla 25: Cálculo de reconstrucción de pantalla de infiltración

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.- Imagen satelital del sector donde se ubican las pantallas
- Figura 2.- Vista panorámica de la cuenca del río Rímac
- Figura 3.- Plano topográfico de la cuenca del río Rímac.
- Figura 4.- Vista de las bocatomas 1 y 2 de la planta de tratamiento La Atarjea.
- Figura 5.- Imagen aguas debajo de la cuenca del río Rímac.
- Figura 6.- Vista de pantalla de infiltración con rajadura en el total de su espesor.
- Figura 7.- Imagen de pantalla con presencia de asentamientos e inclinaciones
- Figura 8.- Diseño inicial de las pantallas de infiltración, Siendo  $H_1 = 2.0\text{m}$  y  $H_2 = 1.0\text{m}$ .
- Figura 9.- Pantalla 1 completamente sumergida.
- Figura 10.- Pantalla 2 completamente sumergida.
- Figura 11.- Rápida 3, cubierta y sumergida.
- Figura 12.- Vista de las excavaciones exploratorias de la pantalla 10.
- Figura 13.- Vista de las rajaduras en la capa superior de la pantalla 14.
- Figura 14.- Vista de las excavaciones exploratorias de la pantalla 20.
- Figura 15.- Capa inferior de poca altura, por deterioro de concreto de la pantalla 24.
- Figura 16.- Pantalla numero 34 colapsada
- Figura 17.- Velocidades de erosión, transporte y sedimentación.
- Figura 18.- Concentración de sedimentos con la profundidad de flujo.
- Figura 19.- Tipos principales de cauce.
- Figura 20.- Perfil longitudinal de un río.
- Figura 21.- Valor de sinuosidad de ríos.
- Figura 22.- Clasificación Morfológica de los ríos.
- Figura 23.- Representación gráfica del Criterio de LANE.
- Figura 24.- Procesos básicos de erosión fluvial.
- Figura 25.- Desprendimiento de partículas.
- Figura 26.- Formas de transporte de partículas desprendidas.
- Figura 27.- Proceso de cementación de los sedimentos.
- Figura 28.- Imagen del levantamiento topográfico de las pantallas de infiltración.
- Figura 29.- Imagen del levantamiento topográfico.



- Figura 30.- Mapa GIS de la cuenca del río Rímac.
- Figura 31.- Mapa de eliminación de subcuencas del río Rímac.
- Figura 32.- Estaciones meteorológicas del río Rímac.
- Figura 33.- Hidrograma de caudales del río Rímac.
- Figura 34.- Mapa de zonificación sísmica del Perú.
- Figura 35.- Vista de tesis en exploración.
- Figura 36.- Otra vista de los investigadores en campo.
- Figura 37.- Vista de pantalla de infiltración afectada
- Figura 38.- Imagen del personal de laboratorio extrayendo muestras de concreto.
- Figura 39.- Imagen del proceso de esclerometría.
- Figura 40.- Imagen satelital del sector donde se ubican las pantallas de infiltración.
- Figura 41.- Depósito cuaternarios presentes.
- Figura 42.- Geología regional de la zona de estudio.
- Figura 43.- Unidades geomorfológicas nótese la zona de estudio.
- Figura 44.- Perfil estratigráfico de las cinco calicatas en la zona de estudio.
- Figura 45.- Ubicación de las cinco calicatas en la zona de estudio.
- Figura 46.- Histograma histórico, estación de Chosica.
- Figura 47.- Grafico de los ajustes de la prueba de bondad.
- Figura 48.- Histograma de los caudales máximos anuales para diferentes periodos.
- Figura 49.- Captura de imagen de programa Plaxis
- Figura 50.- Captura de imagen de programa Plaxis.
- Figura 51.- Captura de imagen de programa Plaxis.
- Figura 52.- Captura de imagen de programa Plaxis.
- Figura 53.- Captura de imagen de programa Plaxis.
- Figura 54.- Captura de imagen de programa Plaxis.
- Figura 55.- Captura de imagen de programa Plaxis.
- Figura 56.- Captura de imagen de programa Plaxis.
- Figura 57.- Captura de imagen de programa Plaxis.
- Figura 58: Restos de una pantalla de infiltración con asentamiento diferencial y fracturada.

## LISTA DE ACRÓNIMOS

ANA	Autoridad Nacional del Agua
SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
MINAGRI	Ministerio de Agricultura
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
FEN	Fenómeno del Niño
Q	Caudal
V	Velocidad media del flujo
A	Área
I	Infiltración
K	Coefficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica
$\sigma^T$	Esfuerzo
Vol	Volumen
n:	Coefficiente de rugosidad de Manning
S	Pendiente de la línea del flujo
R	Radio hidráulico de la sección transversal
Tr	Tiempo de retorno
f'c	Resistencia del concreto

## RESUMEN

La presente tesis tuvo como finalidad la evaluación hidráulico-estructural de 36 pantallas de infiltración ubicadas a lo largo del cauce del río Rímac, dentro de la planta de tratamiento de agua “La Atarjea”, propiedad de SEDAPAL en la ciudad de Lima.

Para el estudio se realizó un levantamiento topográfico en la zona, a fin de identificar las características de la cuenca y medidas de las pantallas; para continuar con la extracción de muestras de concreto que se evaluaron en laboratorio e identificó la calidad del concreto existente.

Respecto al estudio hidráulico, se tomaron los datos de las estaciones meteorológicas propiedad de SENAMHI ubicadas a lo largo del río Rímac; a fin de obtener los máximos caudales a los que fueron sometidas las pantallas de infiltración.

La información (tanto de las características de las pantallas como la información del río) fue analizada en el programa Plaxis versión 8.x, teniendo como resultado final que el diseño original de las pantallas de infiltración falló para los caudales máximos registrados en el año 2017 debido al Fenómeno del Niño Costero de ese año.

Palabras clave: río Rímac, pantallas de infiltración, caudales, Fenómeno del Niño Costero 2017.

## **ABSTRACT**

The present test had as its method the hydraulic-structural evaluation of 36 infiltration screens located along the Rimac river, within the water treatment plant “La Atarjea”, owned by SEDAPAL in the city of Lima.

For the study a topographic survey was carried out in the area, in order to identify the characteristics of the basin and measurements of the screens; to continue with the extraction of concrete samples that were evaluated in the laboratory and identified the quality of the existing concrete.

Respect the hydraulic study, take the data from the SENAMHI owned weather stations located along the Rimac River; in order to obtain the maximum flows to which the infiltration screens were sometimes.

The information (both of the characteristics of the screens and the information of the river) was analyzed in the Plaxis program version 8.x, having as a final result the original design of the infiltration screens failed for the maximum flows registered in 2017 due to “Fenomeno del Niño Costero”.

**Keywords:** Rimac river, screen floors, flow, Fenomeno del Niño Costero 2017

## INTRODUCCIÓN

En la presente tesis hemos analizado las pantallas de infiltración ubicadas en el cauce del río Rímac, en la planta de la atarjea, en la bocatoma 1 y 2, se analizan estas pantallas debido a los daños que sufrieron por el último Fenómeno del Niño (FEN 2017). El fenómeno climático producido por el calentamiento inusual del mar del Pacífico provocó una serie de daños en la infraestructura como es el caso de carreteras, puentes, pantallas de infiltración, viviendas de la población de los distritos de Chaclacayo, San Juan de Lurigancho, El Agustino y Punta Hermosa.

En esta tesis sometimos el diseño y estado actual de las pantallas de infiltración a los máximos caudales encontrados (FEN 2017), en el tiempo historia, con tiempos de retorno de 50, 100 y 500 años, corroborando que el diseño inicial de estas pantallas no resisten los máximos caudales, por tal motivo se planteó un nuevo diseño, de tal manera que no existan riesgos de colapsos de dichas pantallas y no se vean afectados los elementos estructurales de contención del río Rímac (bocatomas, pantallas de infiltración, rápidas, etc.). En la siguiente tesis analizamos y evaluamos propuestas técnicas de diseño para las pantallas ubicadas dentro de la sub-cuenca baja del Río Rímac, la que presenta una longitud de estudio de 3.6 Km , que comprende los distritos del Agustino y San Juan de Lurigancho. El análisis de estudio presenta las siguientes coordenadas (inicio de tramo en estudio): Este (X) 285987.624, Norte (Y) 8669828.945; (fin del tramo): Este (X) 288169.588, Norte (Y) 8670482.902.

Inicialmente se realizó la visita de campo el día sábado 29 de junio del presente año, en donde se identificaron las zonas afectadas y puntos críticos con fallas potenciales. El presente estudio Hidráulico comprende la recopilación, análisis e información de la zona de estudio teniendo en cuenta la geomorfología, topografía, hidrología, hidráulica, mecánica de suelos, sismología y factores socio económicos.

En esta investigación, se realizó un análisis hidráulico - estructurales de las pantallas de infiltración utilizando el programa Plaxis, para luego proceder a presentar los resultados, seguidamente se realizó la propuesta de solución.

La presente tesis de investigación consta de siete capítulos, en los cuales se busca describir el estado en el que se encuentran las 30 pantallas en estudio. Todo ello debido

a los esfuerzos a los que ha sido sometido desde su construcción; y sobre todo a los esfuerzos de los máximos caudales ocurridos debido al FEN 2017.

En el primer capítulo, se define el problema principal y los objetivos (principales y específicos) que se buscan desarrollar. Nuestro problema principal se centra en verificar el estado de conservación de 30 pantallas ubicadas en el cauce central del río Rímac, dentro de la planta de tratamiento La Atarjea. Asimismo, investigar mediante un análisis hidráulico – estructural dicho estado de las pantallas.

El capítulo dos (Marco Teórico) abarca la información existente: tesis, informes, planos, fotografías, etc.; de diversas fuentes del tema sobre la cual se desarrolló nuestra investigación. Se destaca el trabajo de investigación realizado por Pedro Calenzani; pues participó como proyectista, constructor y supervisor de las pantallas de infiltración.

La presente tesis describió mediante un análisis hidráulico-estructural, el estado actual de las pantallas de infiltración; por lo que esta investigación no cuenta con una hipótesis. Esto debido a que al ser una tesis descriptiva, se buscó obtener las características (hidráulicas-estructurales) de las pantallas de infiltración.

En el capítulo tres, se desarrolló la metodología a emplear en la investigación (tipo y nivel de la investigación, diseño finalmente la técnica de investigación).

En el cuarto capítulo, se expone la recopilación y levantamiento de información, vinculada a la presente tesis: terreno de fundación de las pantallas, dimensionamiento de las pantallas y levantamiento de información de campo (topografía), toma de datos de estaciones del SENAMHI a lo largo de la cuenca y extracción de muestras para análisis de laboratorio.

En el capítulo cinco se hizo un modelamiento hidráulico-estructural con la ayuda del programa Plaxis, a fin de poder corroborar si las pantallas de infiltración fallaban ante caudales máximos, como el sufrido por el Fenómeno del Niño del año 2017.

Finalmente, en el capítulo seis se realizan discusiones de los resultados, seguidamente elaboramos las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

## CAPÍTULO I.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad de la Problemática

A inicios del año 2017, en la zona costera del Perú aconteció el fenómeno natural llamado: “Fenómeno del Niño Costero” (FEN), el cual causó diversos daños, generando pérdidas humanas y materiales. Este fenómeno afectó a los países del Pacífico Sur (sobre todo al Perú y Ecuador) y se caracteriza por el calentamiento anómalo del Océano Pacífico. Ello produce humedad que desencadena fuertes precipitaciones causando desbordes, inundaciones y aluviones que afectan a las localidades.

En esta tesis se investigó mediante un análisis hidráulico – estructural el estado actual de las pantallas de infiltración ubicadas agua arriba de las bocatomas 1 y 2 del cauce del río Rímac, en la planta de tratamiento La Atarjea (pantallas 1 a la 36), en el distrito de El Agustino, ciudad de Lima. El área de investigación donde se ubican las pantallas se puede apreciar en la figura 1.



Figura 1.- Imagen satelital del sector donde se ubican las pantallas del área de investigación.

Fuente: Informe Trinity, 2017, p. 4.

## **1.2 Formulación del problema**

### 1.2.1 Problema principal

¿De qué manera es posible investigar mediante un análisis hidráulico – estructural el estado actual de las pantallas de infiltración?

### 1.2.2 Problemas secundarios

- a) ¿De qué manera se puede verificar el diseño de las pantallas de infiltración?
- b) ¿De qué manera se puede analizar el comportamiento hidráulico – estructural de las pantallas de infiltración?
- c) ¿De qué manera se puede diseñar las pantallas de infiltración, de tal manera que cumpla con las solicitaciones de diseño?
- d) ¿De qué manera se puede diseñar las pantallas de infiltración, sin conocimiento previo del modelo conceptual de flujo?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### 1.3.1 Objetivo principal

Investigar mediante un análisis hidráulico – estructural el estado actual de las pantallas de infiltración.

### 1.3.2 Objetivos secundarios

- a) Verificar el diseño de las pantallas de infiltración.
- b) Analizar el comportamiento hidráulico – estructural de las pantallas de infiltración, con soporte del programa Plaxis bajo licencia académica.
- c) Proponer una pantalla de infiltración, de tal manera que resista el tránsito del caudal máximo y extraordinario.
- d) Proponer un modelo conceptual y numérico para la interacción suelo- agua- estructura.

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

### 1.4.1 Conveniencia

La principal fuente de agua para la región de lima metropolitana es el río Rímac, la cual abastece a los 11 millones de personas de la ciudad de lima y cuenta con la



planta de tratamiento de aguas de La Atarjea. En dicha planta se ubican las bocatomas uno y dos las cuales forman parte de la primera etapa del proceso (ver figura 2).



Figura 2.- Vista panorámica de la cuenca del río Rímac donde se ubican las pantallas de infiltración  
Fuente: Informe Trinity, 2017, p. 4

En el cauce del río (dentro del área de influencia de la planta) se ubican sesenta pantallas, las cuales sirven como barreras para controlar el flujo del agua y reducir la energía con las que llegan a las Bocatomas 1 y 2. Al presentarse fallas en las pantallas, aumenta la vulnerabilidad en las bocatomas, exponiéndolas al colapso, por lo que; la presente tesis se enfoca en conocer el estado de conservación de las pantallas y verificar su correcto funcionamiento. En la figura 3 se observa la imagen del plano topográfico de la zona en evaluación.

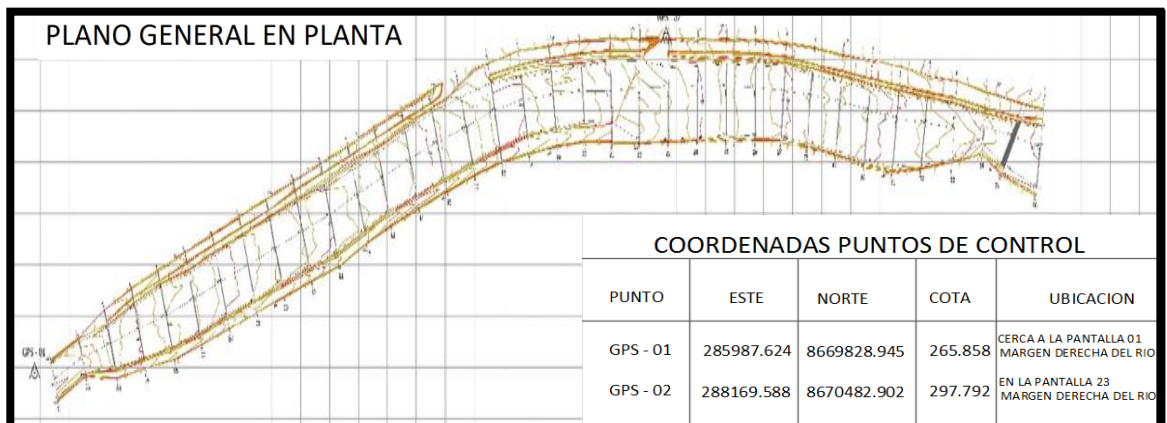


Figura 3.- Plano topográfico de la cuenca del río Rímac  
Fuente: Informe Trinity, 2017, p. 7

#### 1.4.2 Relevancia social

Considerando que el agua es un recurso vital para las diversas actividades que desarrollan los ciudadanos de Lima (industria, uso doméstico, saneamiento, riego); es de importancia mantener el abastecimiento de agua continuo. Es por ello que se considera importante mantener el buen estado de conservación de las pantallas de infiltración; puesto que protegen a las bocatomas. Caso contrario, la planta de tratamiento de La Atarjea se vería afectada ante riegos caudales máximos y huaycos como los causados por El Fenómeno del Niño. Ver las figuras (4, 5, 6, 7).



Figura 4.- Vista de las bocatomas 1 y 2 de la planta de tratamiento La Atarjea.  
Fuente: Trinity Group



Figura 5.- Imagen aguas debajo de la cuenca del río Rímac. En el fondo se observan las bocatomas 1 y 2; y las pantallas de infiltración  
Fuente: Trinity Group



Figura 6.- Vista de pantalla de infiltración con rajadura en el total de su espesor. Nótese las hendiduras en la corona.

Fuente: Trinity Group



Figura 7.- Imagen de pantalla con presencia de asentamientos e inclinaciones

Fuente: Trinity Group

### 1.4.3 Implicancia práctica

Para la elaboración del trabajo de información investigativa, se cuenta con la siguiente información de campo:

- Informe emitido por la empresa Trinity Group, donde se detalla las exploraciones en campo a las 36 pantallas en estudio.
- Histórico de los caudales del río Rímac, tomando el caudal más crítico el del Fenómeno del Niño del 2017; emitido por SENAMHI y SEDAPAL
- Levantamiento topográfico en la zona de las 36 pantallas de infiltración realizado el año 2017.
- Ensayos de laboratorio (muestras de diamantina y esclerometría) a las estructuras el 30 de noviembre del año 2017.
- Panel fotográfico de las exploraciones.
- Software Plaxis (licencia académica)
- Mapeo geológico local

### 1.5 Limitaciones de la investigación

- Una limitación para esta investigación es que no existen normativas peruanas para este tipo de estructuras sumergidas (pantallas de infiltración).
- La data, el tiempo y/o rango de registros de la información.
- El acceso a la data otorgada por la empresa SEDAPAL.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

En el año 2017 entre los meses de enero y marzo, ocurrió un fenómeno llamado Niño Costero del Año 2017, el cual produjo daños en las infraestructuras del río Rímac, en la planta de agua potable de La Atarjea. Los elementos afectados son los siguientes: Pantalla de infiltración, enrocados, trochas carrozables, dique, etc.

Estas pantallas de infiltración han sido construidas aproximadamente hace 20 años. El fin de estas éstas pantallas, es retener el agua durante todo el año y mediante la infiltración se incremente el volumen de la napa freática lo que a su vez permitirá abastecer de manera constante a los pozos subterráneos que se encuentran en el área de influencia, para que de estos pozos se abastezcan a los reservorios elevados para finalmente suministrar a la población. Estas estructuras han sido expuestas a diferentes eventos naturales (huaycos, crecidas de nivel de agua, sismos, etc.) así como el propio desgaste de las pantallas por el contacto con diversos agentes que fluyen en el caudal del río Rímac.

Se realizará una análisis hidráulico – estructural de esta manera evaluaremos el comportamiento de las pantallas de infiltración debido a dicho fenómeno. De las 60 pantallas de infiltración que existen en el tramo del río Rímac en las Bocatomas uno y dos de la planta de agua potable La Atarjea, tomaremos como muestra: la pantalla 1 hasta la 36.

En la figura 8 podemos observar el diseño inicial de las pantallas de infiltración

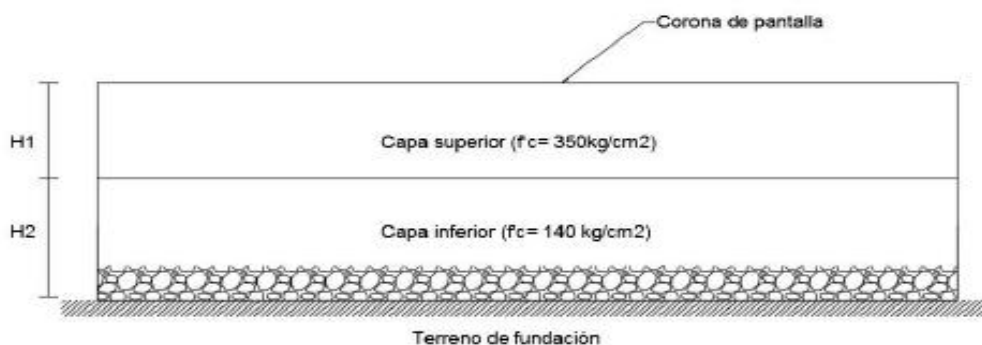


Figura 8.- Diseño inicial de las pantallas de infiltración, Siendo H1= 2.0m y H2= 1.0m

Fuente: Informe Trinity, 2017, p. 12

Para realizar el análisis de estas pantallas de infiltración hemos utilizado como principal herramienta el programa PLAXIS versión 8.0, a continuación describimos el programa.

**PLAXIS** es un paquete de elementos finitos que ha sido desarrollado específicamente para el análisis de deformación y estabilidad en proyectos de ingeniería geotécnica. Los procedimientos de entrada gráficos simples permiten una rápida generación de modelos de elemento finito complejos y las facilidades de salida mejoradas proporcionan una detallada presentación de resultados computacionales. El cálculo en sí mismo es completamente automatizado y basado en procedimientos numéricos robustos. Este concepto posibilita a los nuevos usuarios trabajar con el paquete después de solo unas horas de entrenamiento.

Se espera que los usuarios tengan un entendimiento básico de mecánica de suelos y deberán ser capaces de trabajar en ambiente Windows. Es muy recomendable que las lecciones sean seguidas en el orden que ellas aparezcan en el manual. Las lecciones tutoriales también están disponibles en la carpeta de ejemplos del directorio de programa PLAXIS y pueden ser usadas para revisar sus resultados.

En el manual tutorial de PLAXIS no se proporciona información de trasfondo teórico sobre el método de elemento finito, tampoco explica los detalles de los varios modelos de suelo disponibles en el programa. Lo último puede ser encontrado en el manual de modelos de material, como es incluido en el manual completo y trasfondo teórico es dado en el manual científico. Para detallada información sobre las características de programa disponibles, el usuario es referido al manual de referencia. Además de la completa serie de manuales, cursos cortos son organizados sobre una base regular en varios lugares en el mundo para proporcionar experiencia práctica e información de trasfondo sobre el uso del programa.

## FOTOGRAFÍA DE LAS PANTALLAS DE INFILTRACIÓN EN SU ESTADO ACTUAL

En las siguientes figuras observaremos algunas de las 36 pantallas de infiltración en el estado actual que se encuentran. Ver figura (9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16).



Figura 9.- Pantalla 1 completamente sumergida

Fuente: Informe Trinity, 2017, p. 13



Figura 10.- Pantalla 2 completamente sumergida

Fuente: Informe Trinity, 2017, p. 14



Figura 11.- Rápida 3, cubierta y sumergida

Fuente: Informe Trinity, 2017, p. 14



Figura 12.- Vista de las excavaciones exploratorias de la pantalla 10

Fuente: Informe Trinity, 2017, p. 19



Figura 13.- Vista de las rajaduras en la capa superior y disgregación de la pantalla 14

Fuente: Informe Trinity, 2017, p. 22



Figura 14.- Vista de las excavaciones exploratorias de la pantalla 20

Fuente: Informe Trinity, 2017, p. 26



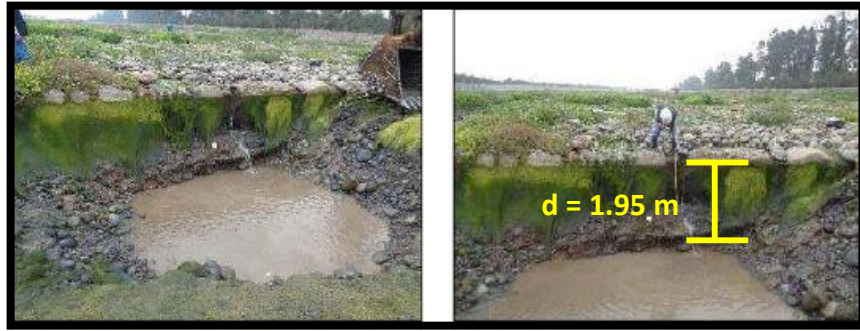


Figura 15.- capa inferior de poca altura, por deterioro de concreto de la pantalla 24  
 Fuente: Informe Trinity, 2017, p. 27



Figura 16.- Pantalla numero 34 colapsada (Informe Trinity  
 Fuente: Informe Trinity, 2017, p. 35

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1 Ecuación de Energía

En la ecuación de Bernoulli se puede observar el comportamiento de los fluidos bajo condiciones variantes, donde nos indica la energía que contiene un fluido según la presión que posea. Según fórmula 1

$$\frac{1}{2} V^2 \rho + P + \rho g z = \text{constante} \dots (1)$$

Dónde:

V = velocidad del fluido en la sección considerada.

g = aceleración gravitatoria

$z$  = altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

$P$  = presión a lo largo de la línea de corriente.

$\rho$  = densidad del fluido.

### 2.2.2 Ecuación de Continuidad

Cuando un flujo fluye por un conducto de diámetro variable, su velocidad cambia debido a que la sección transversal varía de una sección del conducto a otra. En todo fluido incompresible, la velocidad de un punto cualquiera de un conducto es inversamente proporcional a la superficie, en ese punto, de la sección transversal de la misma.

### 2.2.3 Ecuación de Cantidad de Movimiento

Es una magnitud física fundamental del tipo vectorial que describe el movimiento de un cuerpo, en la mecánica clásica la cantidad del movimiento se define como el producto de la masa del cuerpo y su velocidad en un instante determinado.

## 2.3. Definiciones conceptuales

### 2.3.1 Clima

Conjunto de condiciones atmosféricas propias de un lugar, constituido por la cantidad y frecuencias de lluvias, Humedad, la temperatura, los vientos, etc. y cuya acción compleja influyente en la existencia de los seres sometidos a ella.

### 2.3.2 Cauce

Se llama cauce de un río o de un arroyo, a la depresión del terreno que contiene agua. Puede decirse que el lugar físico donde fluye el agua, es llamado cauce, el curso del agua puede orientarse entre las orillas o riberas del río.

## Características del suelo

González (2004) definió el suelo como:

Un agregado de partículas minerales en donde empleando medios mecánicos suaves logra que estas se separen. Pasa lo contrario con las rocas ya que los minerales están conectados mediante fuerzas de carácter fuerte y permanente, no permitiendo normalmente su separación por los mismos métodos.

En general serán los márgenes de cauces formados por suelos los que van a requerir su protección frente a la erosión inducida por el flujo circulante, y no así los constituidos por roca, a no ser que ésta se encuentre alterada o deteriorada por algún motivo (p.11) [...]

Existen dos tipos de suelos inorgánicos que se detallarán a continuación:

Suelos Cohesivos:

“Son agregados de partículas finas y presentan formas planas originadas a partir de la descomposición de rocas químicamente inestables” (p.11) [...]

Suelos Granulares:

Definió los suelos granulares como:

Partículas de formas regulares y originadas a partir del colapso físico de rocas relativamente estables.

La diferencia que poseen estos dos tipos de suelos se refleja perfectamente en sus propiedades, así el conocimiento de un suelo cohesivo se determina por la energía superficial de las partículas quien es la responsable de sus características de cohesión, plasticidad y cambios volumétricos, mientras que en el suelo granular se determina por la energía de su masa.

Existen numerosos sistemas de clasificación de suelos dentro de la literatura geotécnica, siendo el más utilizado por su facilidad; el tamaño de las partículas. En función del tamaño de las partículas, se pueden

establecer diferentes categorías de suelos que permiten efectuar una valoración previa de los mismos en función de una serie de propiedades que se les asignan (p.11).

En la tabla 1, se podrá observar diferentes categorías de los suelos, tamaño de partículas y características de los suelos, entre los que se establecen diversas categorías.

**Tabla 1:**

Clasificación de los suelos según el tamaño de partículas

Suelo	Tamaño (mm)	Características de drenaje
Arcilla	< 0.002	Impermeable Muy pobre
Limo	0.002 – 0.06	Pobre
Arena	0.06 – 2.0	Considerable
Grava	2.0 – 60	Bueno
Adoquines	60 – 600	Bueno
Cantos rodados	>600	Bueno

Fuente: Suárez, 2001

### 2.3.3 Caudal

Es la Cantidad de fluido, medido en volumen, que se mueve en una unidad de tiempo.

Condiciones de flujo en el río

Torres Fernández (2012)

Definió que el flujo en un río es el factor dominante en el proceso de erosión, ya que contribuye en el mecanismo de transporte del material lejos del margen erosionado. La magnitud del caudal y la duración son también factores importantes.

La magnitud del caudal flujo es directamente proporcional a la magnitud de la erosión en los márgenes del cauce (p 17).

Fricción hidráulica.

Suarez (2001)

Indica que la fricción hidráulica es la resistencia al contacto entre la corriente del agua con el suelo, la cual forma una zona de turbulencia en la corriente. El espesor y características dinámicas de esta capa dependen de la rugosidad de la línea del suelo y de la velocidad, dirección y tipo de flujo. Las fuerzas generadas pueden desprender las partículas de suelo por fenómenos de arrastre, cavitación, etc.

Para que la erosión ocurra se requieren velocidades mayores que las que son necesarias para el transporte de los sedimentos.

Las partículas son erosionadas cuando las fuerzas de tracción, levantamiento y abrasión exceden las fuerzas de gravedad, cohesión y fricción, que tratan de mantener las partículas en su sitio. Durante este

mecanismo ocurre una profundización y ensanchamiento del cauce (p.43)  
 Ver figura 17.

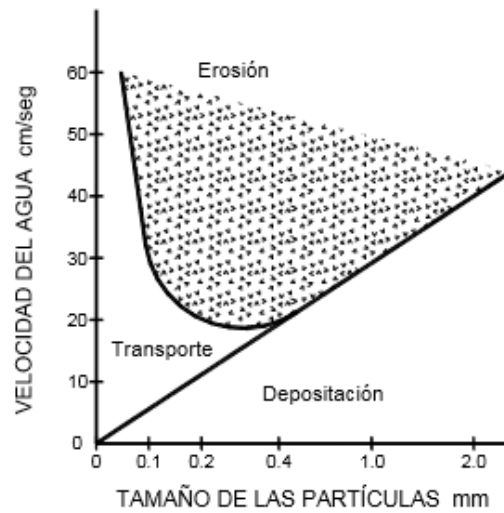


Figura 17. Velocidades de erosión, transporte y sedimentación.

Fuente: Suárez, 2001, p43.

La concentración de sedimentos es mayor en el fondo del torrente que en la superficie. Las partículas finas se manejan distribuidas uniformemente, mientras que las partículas gruesas son transportadas muy cerca al fondo. En la figura 18 podemos observar los sedimentos con la profundidad de flujo.

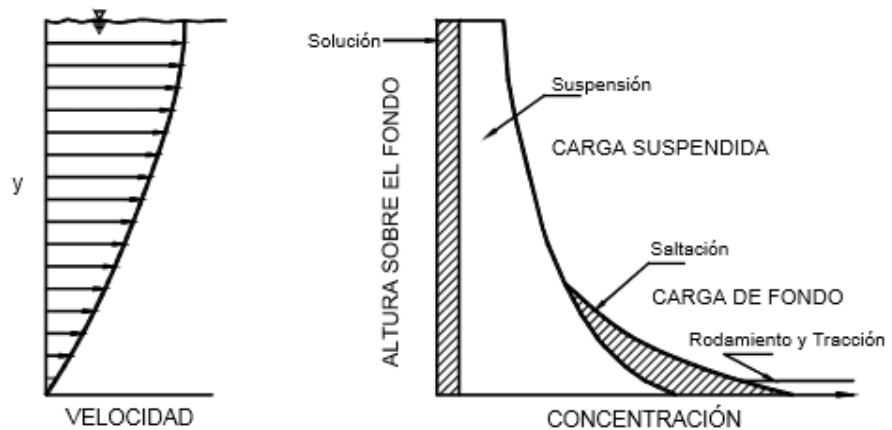


Figura 18. Concentración de sedimentos con la profundidad de flujo.

Fuente: Suárez, 2001, p43.

## Parámetros geotécnicos

González (2004), definió como:

La máxima resistencia que puede oponer un suelo a una fuerza externa sin romperse se denomina tensión de rotura de un suelo. Si llega a sobrepasar ese valor, se produce un fallo en el suelo que puede traducirse en la aparición de superficies de deslizamiento. Uno de los factores que más influye en la determinación de la fuerza resistente de un suelo al deslizamiento es la presión intersticial o subpresión. Un incremento de ésta disminuye la resistencia del suelo a un valor que se suele denominar tensión efectiva de rotura, la cual se puede expresar matemáticamente como la suma de dos términos (p.43)

La cohesión efectiva y la fricción interna efectiva:

$$\tau = c' + \sigma'_n \tan\phi' \dots\dots\dots (2)$$

Dónde:

$c' = c - u$ ;  $c'$  es la cohesión y  $u$  la presión intersticial

$\sigma'_n$  : Tensión normal efectiva

$\phi'$  : Ángulo de rozamiento interno efectivo

En el caso de suelos no cohesivos, como arenas y gravas,  $c' = 0$  y la ecuación anterior se reduce a:

$$\tau = \sigma'_n \tan\phi' \dots\dots\dots (3)$$

En los suelos cohesivos, la tensión de rotura depende normalmente de la cohesión y de la fricción interna, aunque puede darse a veces el caso de suelos arcillosos saturados por falta de tiempo para que se produzca drenaje. En estos casos, la tensión de rotura dependería únicamente de la cohesión, teniendo como resultado:

$$\tau = c' \dots\dots\dots (4)$$

Los parámetros  $c'$  y  $\phi'$  se obtienen normalmente mediante ensayos de laboratorio, aunque también se pueden obtener valores de tablas para realizar una estimación previa de estabilidad de los márgenes de un cauce. La Tabla 2 muestra valores de la cohesión y el ángulo de rozamiento interno.

**Tabla 2:**

Valores del coeficiente ( $\phi$ ) para diversos caudales

Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /s)	Coeficiente ( $\phi$ )
3000-4000	2.0
2000-3000	1.7
1000-2000	1.4
500-1000	1.2
100-500	1.1

Fuente: Rubén Terán, 1998



**Tabla 3:**

Valores de la cohesión y el ángulo de rozamiento

Material	Cohesión <i>c</i> (kN/m <sup>2</sup> )	Angulo de rozamiento interno $\phi$ (°) *		
<i>Arcillas:</i>				
<b>Muy rígida ó dura</b>	>150			
<b>Rígida</b>	100 - 150			
<b>Firme a rígida</b>	75 - 100			
<b>Firme</b>	50 - 75			
<b>Suave a firme</b>	40 - 50			
<b>Suave</b>	20 - 40			
<b>Muy suave</b>	<20			
<b>Arena limosa</b>			27 - 34	
<i>Suelos granulares</i>		Redondeado	Redondeado y angular	Angular
<b>Tamaño de partículas (D50)</b>				
<b>&lt;1mm</b>		30	-33	33 - 35
<b>1 -10 mm</b>		30 -32	32 - 36	33-40
<b>10 -100 mm</b>		32 - 37	33 -40	-40

\*Para arena sin compactar, el ángulo de rozamiento interno  $\phi$  coincide con el ángulo de reposo.

Fuente: González ,2004.

#### 2.3.4 Bocatoma

Se puede definir a una bocatoma como una estructura destinada a derivar parte del agua disponible del río, desde un curso de agua (río, canal, o arroyo), se puede utilizar en grandes ríos, pero el precio de construcción es bastante elevado.

### 2.3.5 Estiaje

Se define como el caudal o nivel más bajo de un río o de otra corriente en una época determinada del año.

### 2.3.6 Teoría de Empuje.

En el principio de Arquímedes es el principio físico que afirma: un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo experimenta un empuje vertical hacia arriba igual al peso del volumen del fluido desalojado por el cuerpo, esta fuerza recibe el nombre de empuje hidrostático.

La fuerza de empuje es una fuerza que aparece en cuerpos sumergidos en algún líquido o fluido. Esta fuerza viene dada por el peso del volumen del fluido desalojado.

Se produce debido a que la presión de cualquier fluido en un punto determinado depende de la profundidad en que este se encuentre.

Esta presión ejerce una fuerza sobre cualquier cuerpo sumergido y tiene la propiedad de ser perpendicular a la superficie del cuerpo.

En un cuerpo cúbico sumergido es evidente que alguna de sus caras estará más profunda que el resto de ellas. Dado que la presión ejerce una fuerza sobre todas las caras, la fuerza que ejerce sobre la cara más profunda es mayor que la fuerza sobre la cara menos profunda, lo que da como resultado una fuerza ascendente que es la fuerza de empuje.

- El empuje depende del fluido, volumen del cuerpo y de la gravedad existente en el lugar.
- El empuje de abajo hacia arriba no siempre es suficiente para desplazar el cuerpo pues si este es más denso que el fluido en el que está inmerso dicho cuerpo no se desplazara hacia arriba, es más se podría hundir
- En condiciones de ingravidez (o pseudo-ingravidez por caída libre como sucede al orbitar) y para cuerpos suficientemente pequeños que no puedan generar un campo gravitacional propio apreciable, la presión hidrostática deja de existir.

- Las fuerzas que actúan hidrostáticamente sobre otro cuerpo lo hacen distribuidas por toda la superficie de contacto que tengan con el mismo; la integral de estas fuerzas de superficie (presiones) nos dará una resultante de fuerzas ubicada en el centro de gravedad.

### 2.3.7 Estructuras de Mampostería

Se define mampostería al sistema tradicional de construcción que consiste en la superposición de elementos cuya colocación es manual el sistema constructivo más empleado es el de mampuestos unidos por algún tipo de material, como la arena cemento, concreto, etc.

## 2.4. Estructura de sustento de la investigación

### Fenómeno del Niño Costero

Es un calentamiento de la superficie de las aguas que afecta principalmente el Sureste Asiático, Australia y Sudamérica. Este fenómeno se caracteriza por el ingreso de una masa superficial de aguas cálidas en el mar, generando un aumento de cambios climáticos anómalos, representado por intensas lluvias y también sequías

### Factores en la erosión de las pantallas de infiltración

Se destacan los factores más influyentes en la estabilidad de un río.

### Socavación.

Suárez (2001) define la 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 del 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 de 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

Define la socavación general como:

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).

- Cálculo de socavación general

Líschtván-Levediev (1967) define la expresión para evaluar la socavación general como son la siguiente:

Para suelos granulares:

$$Y_S = \left[ \frac{\alpha * Y_o^{5/3}}{0.68 D_m^{0.28} * \beta * \varphi} \right]^{1/x} \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

$Y_s$  = Desnivel entre la superficie del agua, al pasar la avenida y el fondo erosionado.

$Y_s, Y_o$  = Se miden en cada sección vertical donde se desea hacer el cálculo.

$D_m$  = Diámetro medio; si el material del fondo es friccionante.

$X, y$  = Exponentes en función de  $D_m$  o  $Y_s$  según el tipo de material del fondo

$\beta$  = Coeficiente, depende del período de retorno del gasto de diseño.

$\Psi$  = Coeficiente que depende de la concentración del material transportado en suspensión.

**Tabla 4:**

*Exponentes en función de Dm o Ys. Valores de x y z*

Y <sub>d</sub>	Suelos cohesivos					d(mm)	Suelos granulares				
	X	1 1+x	Y <sub>d</sub>	X	1 1+x		Z	1 1+z	d(mm)	z	1 1+z
0.80	0.52	0.66	1.20	0.39	0.72	0.05	0.43	0.70	40.0	0.30	0.77
0.83	0.51	0.66	1.20	0.38	0.72	0.15	0.42	0.70	60.0	0.29	0.78
0.86	0.50	0.67	1.28	0.37	0.73	0.50	0.41	0.71	90.0	0.28	0.78
0.88	0.49	0.67	1.34	0.36	0.74	1.00	0.40	0.71	140.0	0.27	0.79
0.90	0.48	0.67	1.40	0.35	0.74	1.50	0.39	0.72	190.0	0.26	0.79
0.93	0.47	0.68	1.46	0.34	0.75	2.50	0.38	0.72	250.0	0.25	0.80
0.96	0.46	0.68	1.52	0.33	0.75	4.00	0.37	0.73	310.0	0.24	0.81
0.98	0.45	0.69	1.64	0.31	0.76	6.00	0.35	0.74	370.0	0.23	0.81
1.00	0.44	0.69	1.64	0.31	0.76	8.00	0.35	0.74	450.0	0.22	0.83
1.04	0.43	0.70	1.71	0.30	0.77	10.00	0.34	0.75	570.0	0.21	0.83
1.08	0.42	0.70	1.80	0.29	0.74	15.00	0.33	0.75	750.0	0.20	0.83
1.12	0.41	0.71	1.89	0.28	0.78	20.00	0.32	0.76	1.000.000	0.19	0.84
1.16	0.40	0.71	2.00	0.27	0.79	25.00	0.31	0.76			

Fuente: Maza, 1967

**Tabla 5:**

Valores de  $\beta$

Probabilidad ( en % de que se presente el caudal de diseño )	Coefficiente $\beta$
100	0.77
50	0.82
20	0.86
10	0.90
5	0.94
Fuente: Maza, 1967	0.97
1	1.00
0.3	1.03
0.2	1.05
0.1	1.07

Fuente: Maza, 1967

**Tabla 6:**

Valores de  $\psi$

Y mezcla agua-sedimento	Coefficiente $\psi$
1.05	1.06
1.10	1.13
1.15	1.20
1.20	1.27
1.25	1.34
1.30	1.42
1.35	1.50
1.40	1.60

Fuente: Maza, 1967

#### 2.4.1 Precipitación

La precipitación se forma a partir de los núcleos de la condensación atmosférica presentes en el vapor de agua de la atmósfera. La precipitación puede presentarse en diversas formas: líquida (lluvia, llovizna), sólida amorfa (granizo), sólida cristalina (nieve). La precipitación se puede considerar como la originaria de todas las corrientes superficiales y subterráneas. En meteorología, es la caída de agua sólida o líquida debido a la condensación del vapor sobre la superficie terrestre.

#### 2.4.2 Inundación

Se produce cuando la tierra que no está normalmente bajo el agua, queda cubierta por la misma. Esto significa que cada vez que un río, lago u otro cuerpo de agua se desborda, técnicamente está inundado.

Desborde: Agua excedente que rebosa al sobrepasarse los límites normales de un embalse de agua superficial o subterránea.

#### 2.4.3 Infiltración

La infiltración es un término, que implican mayor incertidumbre o error dentro del balance hidrológico. Los factores que influyen en la capacidad e intensidad de infiltración son de carácter muy local, de manera que con los métodos de medida solo se obtienen un valor de representatividad local, ya que este proceso es por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra y queda retenida por él. El porcentaje de infiltración depende de la precipitación que se genere en la cuenca así como de la forma que tiene la cuenca, ya que de esta dependerá mucho el porcentaje de infiltración, generalmente se toma entre 10 a 20% de la lluvia total de infiltración.



#### 2.4.4 Escorrentía superficial

Se entiende como escorrentía superficial la parte de agua de lluvia precipitada que no se infiltra en el terreno y que circula por la superficie en forma de torrentes, ríos o arroyos, cauces que constituyen la red hidrográfica o red de drenaje superficial. Todos estos aportes que se generan, equivalen al volumen total del agua que circula, es decir el caudal.

#### 2.4.5 Escorrentía subterránea

Es la parte del agua que se infiltra y que llega a la zona saturada, incorporándose a las aguas subterráneas del acuífero. Es por tanto una de las entradas a menudo las más importantes del agua contenida en la zona saturada, y en consecuencia que condiciona el volumen del recurso subterráneo disponible. La escorrentía subterránea o agua subterránea no es una masa estática, sino que está en constante circulación, y su recarga natural se origina en la infiltración de las aguas que provienen de la precipitación, del cauce de los ríos, de los torrentes o de los lagos, y sus salidas naturales vienen determinadas por el mar, por los manantiales y por el drenaje de agua hacia los ríos.

#### 2.4.6 Topografía

Se encarga de describir físicamente la superficie de la tierra, describiendo sus accidentes y características además establecen los métodos y procedimientos para llevar a cabo estas descripciones por medio de medidas según los elementos del espacio son: distancia, elevación, dirección.

#### Morfología fluvial de los ríos

Suárez (2001) 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 figura 19 se puede observar las tres formas fundamentales de los canales o cauces.

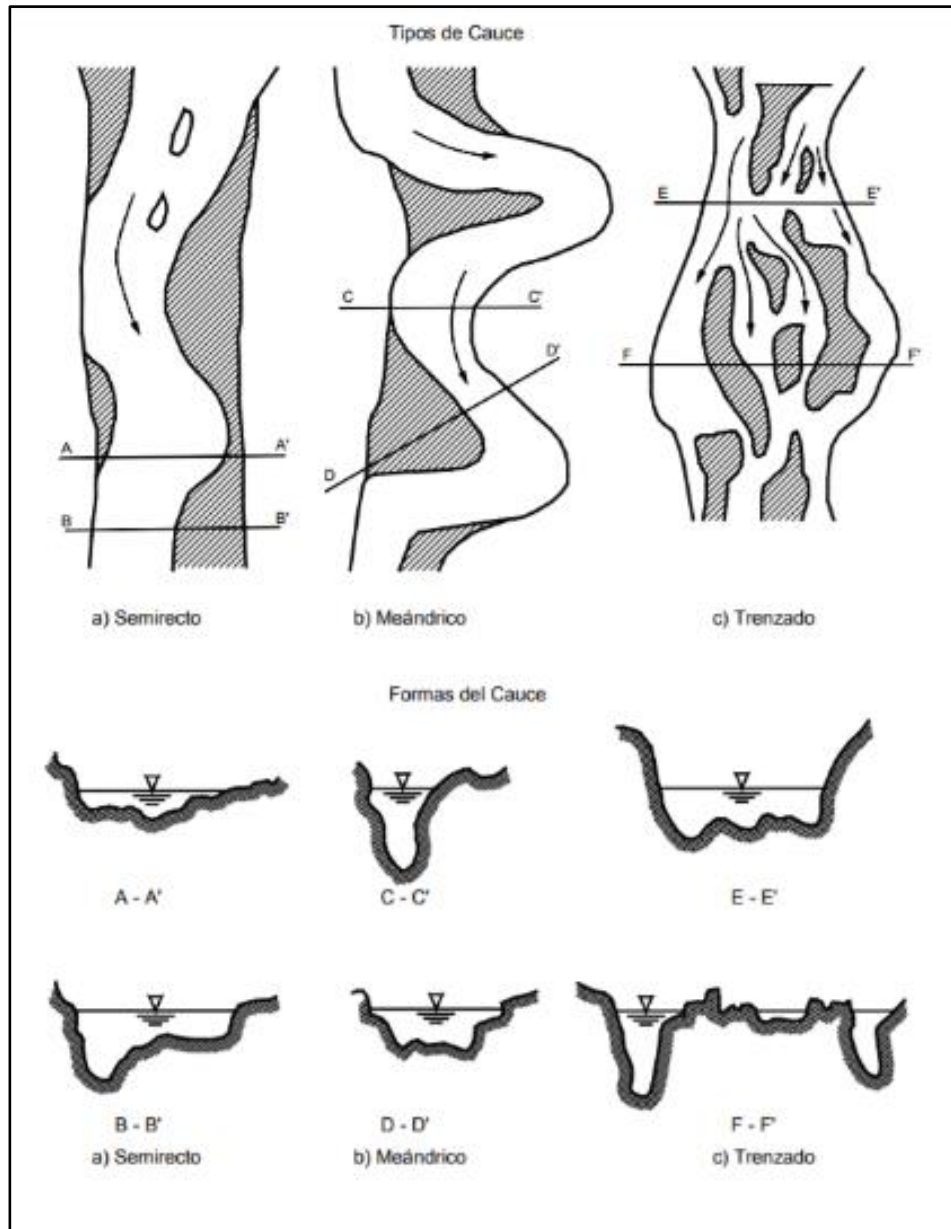


Figura 19.- Tipos principales de cauce.

Fuente: Suárez, 2001, p43.

## Perfil longitudinal del río

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.)

Suárez (2001) muestra El perfil longitudinal de un río:

Como éste pierde cota a lo largo de su recorrido. Generalmente presentan 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 solido transportado.

El cambio brusco de pendientes puede obedecer a varios factores:

a. Cambios Geológicos:

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 de alineamiento del cauce, canalización (p.100) [...]

En la figura 20 se muestra el perfil longitudinal de un río.

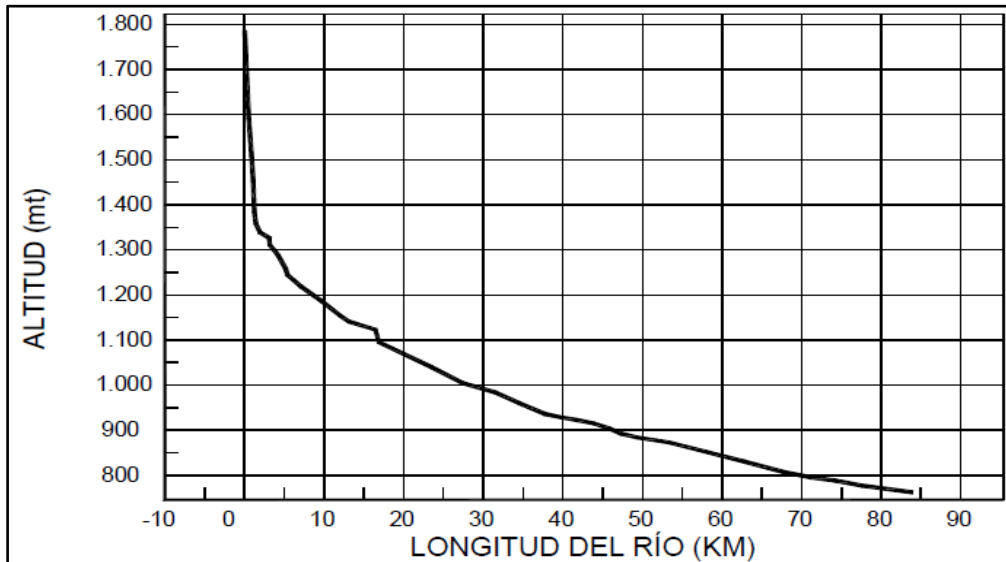


Figura 20.- Perfil longitudinal de un río.

Fuente: Suárez, 2001, p43.

### Sección transversal del río

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 del río es importante conocer el ancho, área de la sección y máxima profundidad así como los valores que mencionamos a continuación:

- 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)

### Propiedades Morfológicas de los ríos

Suárez (2001) clasifica los cauces de los ríos como:

Los cauces pueden clasificarse de forma semirecta, trezada o meándrica. Una misma corriente presenta cambios de patrón a lo largo de su longitud y de acuerdo al caudal de la corriente en cada época del año. A su vez, los cauces se clasifican de lecho simple o múltiple y de acuerdo al material del fondo del cauce, rocoso o aluvial; cohesivo o granular; homogéneo o heterogéneo (p.103) [...]

#### Sinuosidad

Es la relación entre la longitud total del thalweg en el tramo de corriente y la longitud en línea recta. Cuando la sinuosidad es menor de 1.1, se considera un cauce semirrecto y se considera meándrico cuando la sinuosidad es mayor de 1.5. Se dice que el río es sinuoso cuando la sinuosidad se encuentra entre 1.1 y 1.5 (p.104). Ver figura 21.

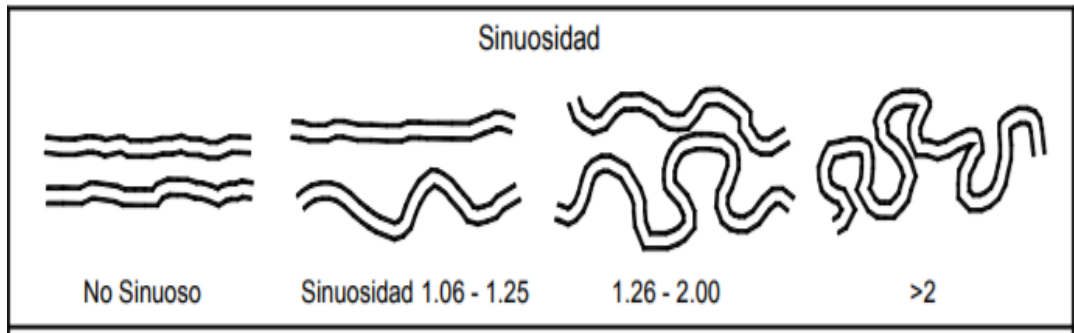


Figura 21. Valor de sinuosidad de ríos.

Fuente: Suárez, 2001

### Clasificación de los ríos

Si nos regimos al punto de vista morfológico fluvial podemos indicar que existen tres grupos de ríos. Los definimos como: meándricos, entrelazados, y rectos, como podemos apreciar en la Figura 22.

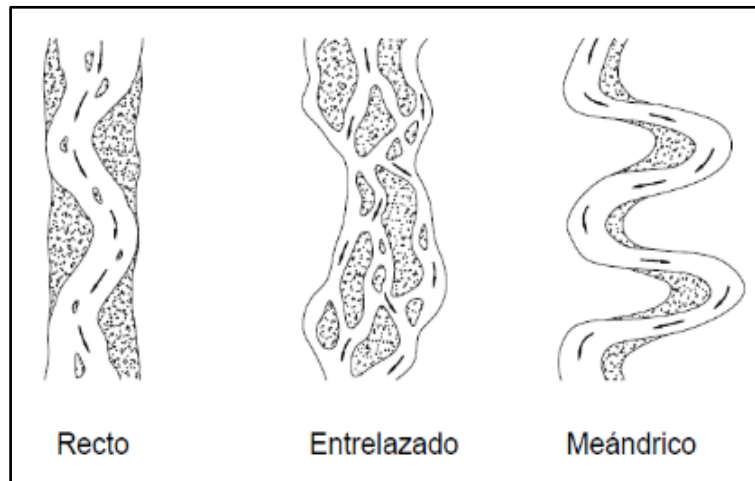


Figura 22.- Clasificación morfológica de los ríos.

Fuente: Rocha, 1998.

Estas tres formas que suelen tener los ríos, pueden presentarse en tramos sucesivos de un río o en un mismo tramo, en función de 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 Figura 23.

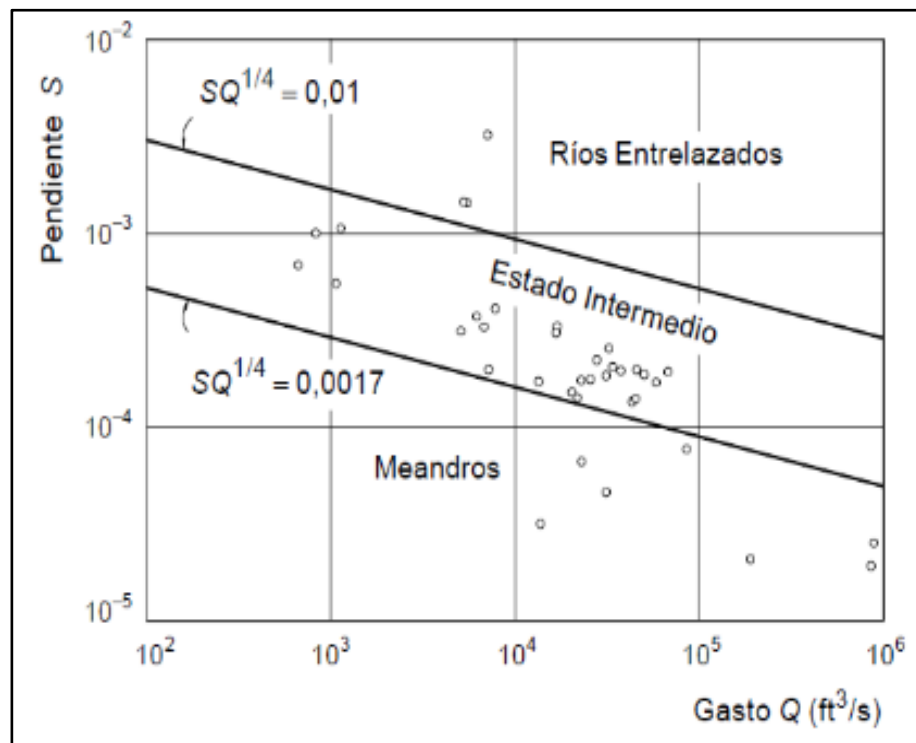


Figura 23.-. Representación gráfica del Criterio de LANE para distinguir entre los ríos meándrico y entrelazados.

Fuente: Rocha 1998.

### Ríos rectos

Rocha (1998) define los ríos como:

Estos ríos presentan una sinuosidad baja pues son menores a 1.5. No existen ríos rectos en la Naturaleza. El río desarrolla su propia sinuosidad. Para el caudal de diseño el río 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 río 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 meándricos

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).

#### 2.4.7 Pantalla de infiltración

Las pantallas de infiltración son elementos estructurales (muros de contención) cuyo objetivo es contener la fuerza del caudal del río, para que lleguen a las bocatomas de forma disminuida y a la vez retener el agua del río durante todo el año y que mediante la infiltración se incremente el volumen de la napa freática, lo que permite abastecer de manera constante a los pozos subterráneos que se



encuentran en el área de influencia y, de estos a los reservorios elevados para finalmente suministrar a la población.

Recarga Artificial de acuíferos.- José Antonio de la orden Gómez (2017) “La recarga artificial pretende contribuir a una gestión más racional de la potencialidad hídrica que presenta una determinada zona, siempre que técnica y económicamente sea factible” (p. 13).

#### 2.4.8 Ecuación del flujo de infiltraciones

La ecuación general considera flujo de agua en medio no saturado. Este tipo de flujo puede describirse con la ecuación de Darcy, originalmente desarrollada para suelos saturados según la fórmula 6

$$q = k \text{ grad } h \dots\dots\dots (6)$$

Dónde:

$q$  = velocidad de Darcy

$k$  = conductibilidad hidráulica del suelo

$h$  = carga piezométrica

En suelos no saturados  $K$  varía con la humedad del suelo, teniendo como límite la conductividad hidráulica saturada  $K_{sat}$ , por su parte tiene dos componentes principales en un suelo no saturado, en función de las energías involucradas según la fórmula 7.

$$h = \phi + z \dots\dots\dots (7)$$

Dónde:

$\phi$  = potencial capilar, altura de agua equivalente que ejerce la misma tensión de succión capilar

$z$  = potencial gravitacional (profundidad)

La carga piezométrica de agua “ $h$ ” se mide en dimensiones de altura, pero también puede entenderse como la energía por unidad del peso del fluido.

#### 2.4.9 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 los materiales de la superficie y del suelo respectivamente. La erosión fluvial también transporta los materiales que ha erosionado y los deposita en cuencas sedimentarias.

#### Procesos de erosión fluvial

La erosión incluye una serie de procesos donde intervienen diversos factores.

Además, la erosión según Ayres (1960) depende de cuatro variables:

- La cantidad e intensidad de la lluvia
- La pendiente y topografía de terreno
- Las propiedades físicas y químicas del suelo
- Las características de la cobertura vegetal.

La erosión fluvial incluye tres procesos básicos:

- a. Desprendimiento de partículas
- b. Transporte de las partículas desprendidas
- c. Depósito o sedimentación

Ver figura 24.

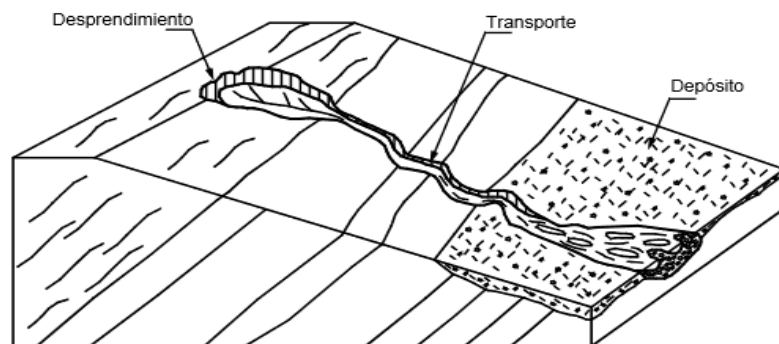


Figura 24.- Procesos básicos de erosión fluvial

Fuente: "Control de erosión en zonas Tropicales", por Suárez (2001, p.16)

a. Desprendimiento de las partículas

Es el primer proceso de la erosión fluvial, este se presenta con más intensidad en las partes altas de los ríos, debido a que en estas zonas el cauce presenta pendientes más pronunciadas, lo que aumenta la velocidad y la acción erosiva de la corriente.

Suarez, (2001)

Las fuerzas que actúan o fuerza tractiva dependen de la velocidad del agua, la turbulencia, los caudales, la forma y rugosidad del canal y la resistencia del suelo a la fuerza tractiva depende de la estructura y las interacciones físico – químicas entre las partículas de suelo (p.42)

En la Figura 25 se describe gráficamente el procedimiento de desprendimiento de partículas.

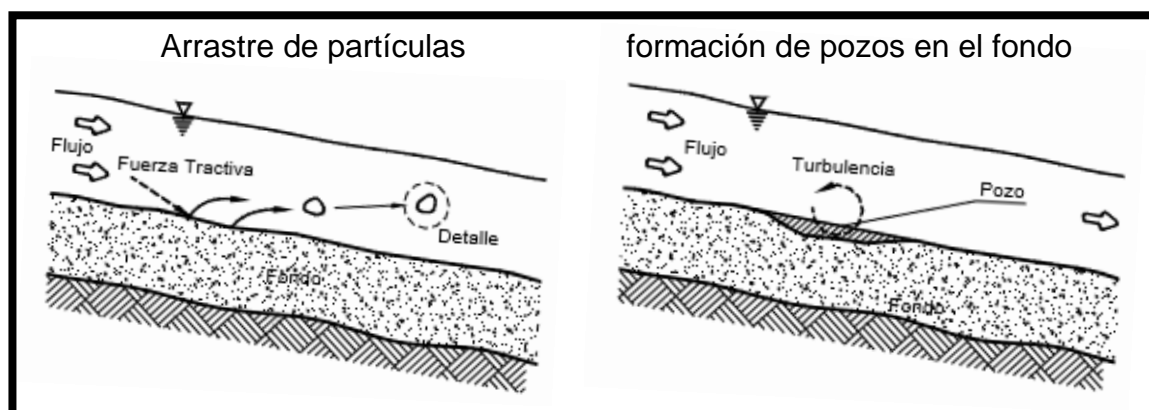


Figura 25.- Desprendimiento de partículas

Fuente: “Control de erosión en zonas Tropicales”, por Suárez (2001, p.42)

b. Transporte de las partículas desprendidas

El transporte es el desplazamiento de los fragmentos erosionados a otras zonas por medio de corrientes de río. El transporte se puede producir por: flotación, disolución, suspensión, saltación, rodadura y reptación. Ver figura 26.

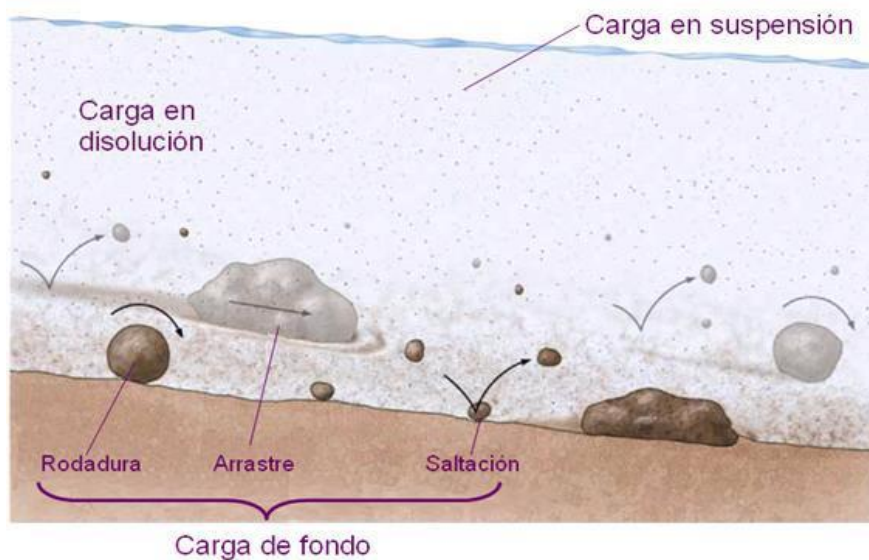


Figura 26.- Formas de transporte de partículas desprendidas.

Fuente: <http://www.biologiasur.org/Ciencias/index.php/geosfera/procesos-geologicos-externos-y-sus-riesgos>

c. Depósito o sedimentación

Torres Fernández (2012)

La sedimentación es la acumulación de los materiales procedentes de la erosión en zonas en las que los agentes externos pierden su capacidad de transporte debido a la pérdida de energía. Estos depósitos se presentan en las orillas y llanuras de inundación. Los depósitos con el pasar de los años se van compactando y cementando hasta convertirse en rocas detríticas. En la figura 27 se muestra el proceso de formación de los sedimentos en rocas detríticas (p.14)

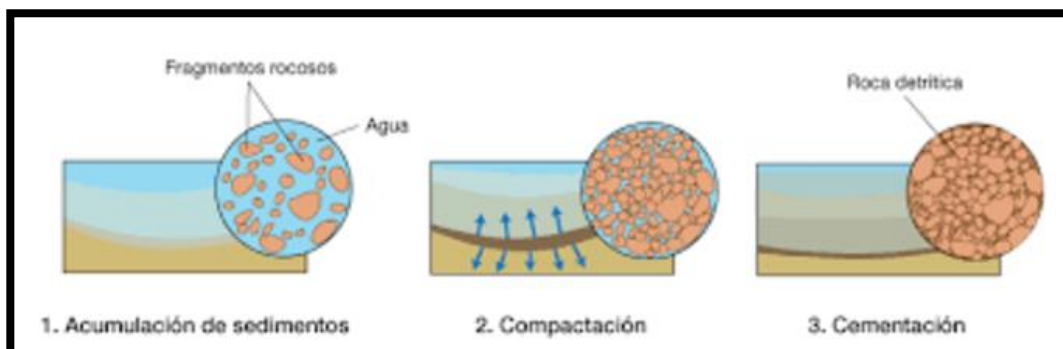


Figura 27.- Proceso de cementación de los sedimentos.

Fuente. Geología Mercedes.blogspot.pe/2013/10/las-rocas.html

## **2.5 Sistema de hipótesis**

Considerando que la investigación es exploratoria-descriptiva no corresponde plantear una hipótesis.

Es exploratoria porque se realizarán ensayos a la resistencia del concreto a las pantallas de infiltración a lo largo de la cuenca del río Rímac, en la zona de La Atarjea.

Es descriptiva, porque vamos a analizar la información técnica obtenida de los máximos esfuerzos a los que será sometida las pantallas debido a la presencia de caudales atípicos debido a las precipitaciones producto del Fenómeno del Niño 2017.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Tipo y nivel de investigación**

La investigación es de tipo cualitativa-descriptiva porque vamos a analizar la información técnica existente. Asimismo, se realizarán análisis y cálculos con la data histórica que ha obtenido.

### **3.2 Diseño de investigación**

- Población de estudio

La población contenida en la planta de la atarjea en la zona de estudio la conforman 60 pantallas de la planta La Atarjea.

- Muestra

36 pantallas ubicadas en la en la zona próxima a las Bocatomas 1 y 2

### **3.3 Técnicas e investigación de recolección de datos**

Método: Inductivo ya que parte de los datos particulares para llegar a conclusiones generales.

El alcance de la investigación es descriptivo ya que se busca especificar propiedades, características actuales y rasgos importantes de la zona en estudio. Exploratoria ya que se realizará un levantamiento topográfico además de estudios de mecánica de suelos mediante calicatas y un estudio hidrológico actual para poder determinar parámetros de diseño y correlacional.

## **CAPÍTULO IV: RECOPIACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN**

### **4.1 Estudios básicos de ingeniería**

Consistentes en recopilar la información tanto de las pantallas de infiltración (dimensiones, características del concreto), como también del río Rímac (caudales máximos) y características del terreno de fundación donde se soportan las pantallas.

Calenzani (2002) menciona lo siguiente en su tesis:

Este informe lo he elaborado gracias al conocimiento que tengo del tema, al haber participado en las diferentes etapas que hasta la fecha ha desarrollado el proyecto. Primero participé como inspector de las obras del Proyecto Piloto, correspondiente a 1 km del cauce; luego formé parte del Comité Técnico para el Concurso Oferta por la ejecución de las obras en 5 km del cauce; concluidas las obras de la primera etapa coordiné por parte de SEDAPAL los trabajos de mantenimiento del cauce efectuados en los años 1999 y 2000. (p. 4).

En ese sentido, se cuenta con información técnica al momento de la ejecución y planeamiento de las pantallas de infiltración.

### **4.2 Topografía**

Levantamiento topográfico.- Esta fase se inicia con la inspección en ambos márgenes, para ubicar los BM que permitan iniciar el levantamiento y se encuentra el GPS – 01 y GPS -02 con sus respectivos Hitos geodésicos (coordenadas UTM en el plano de pantallas y perfil de pantallas) ubicadas en el margen derecha próximo a las pantallas 1 y 23 respectivamente. De esta ubicación se inicia el levantamiento, requiriendo 07 estaciones de cambio (de bocatomas 1 y 2 a la pantalla 36) para observar los detalles de cada pantalla (parte baja y corona). Asimismo, tomar las lecturas de ambos márgenes del cauce a fin de obtener sus dimensiones y cotas. Este proceso se repite en cada pantalla.

En la sección “Anexos” , se adjuntan los planos de topografía del levantamiento realizado en campo. En la figura 28,29 , se observa los trabajos topograficos par el levantamiento de los muros de infiltración.



Figura 28.- Imagen del levantamiento topográfico de las pantallas de infiltración.

Fuente: Informe Trinity, 2017, p. 43.



Figura 29.- Imagen del levantamiento topográfico de las pantallas de infiltración.

Fuente: Informe Trinity, 2017, p. 43.

### 4.3 Análisis hidráulico

Mogrovejo (2014) describe la cuenta del río Rímac de la siguiente manera:

Descripción de la cuenca.-

La cuenca del río Rímac es una de las cuencas hidrográficas más importantes del país, al encontrarse dentro de ella la capital de la República del Perú, desempeñando un rol vital como fuente de abastecimiento de agua para el consumo humano, agrícola y energético.



La cuenca del río Rímac se origina en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes a una altitud de aproximadamente 5 508 msnm, en el nevado Paca y aproximadamente a 132 km al nor-este de la ciudad de Lima, desembocando por el Callao en el Océano Pacífico. El área total de captación es de 3 132 km<sup>2</sup>, que incluye aquella de sus principales tributarios, Santa Eulalia (1 097,7 km<sup>2</sup>) y Río Blanco (193,7 km<sup>2</sup>), tiene en total 191 lagunas, el factor de forma es 0,34 y nos indica que la cuenca tiene regular respuesta a las crecidas y también tiene un coeficiente de compacidad de 1,99 lo cual indica que la cuenca es alargada por ello tiene un tiempo de concentración de aproximadamente 9 horas.

Conforme la cuenca se eleva de Lima hacia su fuente en la cordillera, el valle del río varía de un amplio plano costero, en el cual está situada Lima, a un perfil de valle bien definido que sirve de soporte a actividades agrícolas y a importantes centros de población tales como Vitarte, Chaclacayo, Chosica, Ricardo Palma y Matucana. En las partes más altas de la cuenca, al Este de Surco (altura de 2 200 msnm), el valle se vuelve extremadamente angosto con paredes laterales con un talud muy empinado y paisajes espectaculares.

Desde el punto de vista de la cantidad de agua precipitada sobre la cuenca del río Rímac, se puede distinguir dos ámbitos:

- Cuenca seca

La cumbre de los cerros en esta denominada cuenca seca va de 2 200 a 1200 msnm salvo las nacientes de la quebrada seca de Jicamarca que bordea los 3 400 msnm.

La cuenca seca propia del río Rímac, entre Chosica y el mar tiene una extensión de 467,2 km<sup>2</sup> y una longitud del curso de agua de 56,9 km. Se puede distinguir tres tramos bien definidos en este curso de agua: El segundo tramo, desde el ingreso de quebrada Jicamarca hasta la zona de La Menacho (ingreso del río Rímac a la ciudad de Lima), tiene 17,9 Km, de longitud, con una pendiente de 1,4 % y baja de los 450,0 a los 195,0 msnm.

El tercer tramo, desde La Menacho hasta la desembocadura del río Rímac en el mar, va por la zona urbana de la ciudad de Lima y tiene 17,5 km., de longitud, con una pendiente de 1,1 % y baja de 195,0 a 0,0 msnm.

- Cuenca húmeda

La cuenca húmeda del río Rímac, desde las estribaciones occidentales de la Cordillera de los Andes hasta Chosica tiene una extensión de 2 237,2km<sup>2</sup> y muestra dos subcuencas principales, la del río Santa Eulalia, con 1 097,7 km<sup>2</sup> de extensión y la del río San Mateo, con 1 139,5 km<sup>2</sup> de extensión. Estas subcuencas tienen, a su vez, subcuencas secundarias: dos en él Santa Eulalia y dos en el Alto Rímac o San Mateo.

En la figura 30, observamos la cuenca del río Rímac.

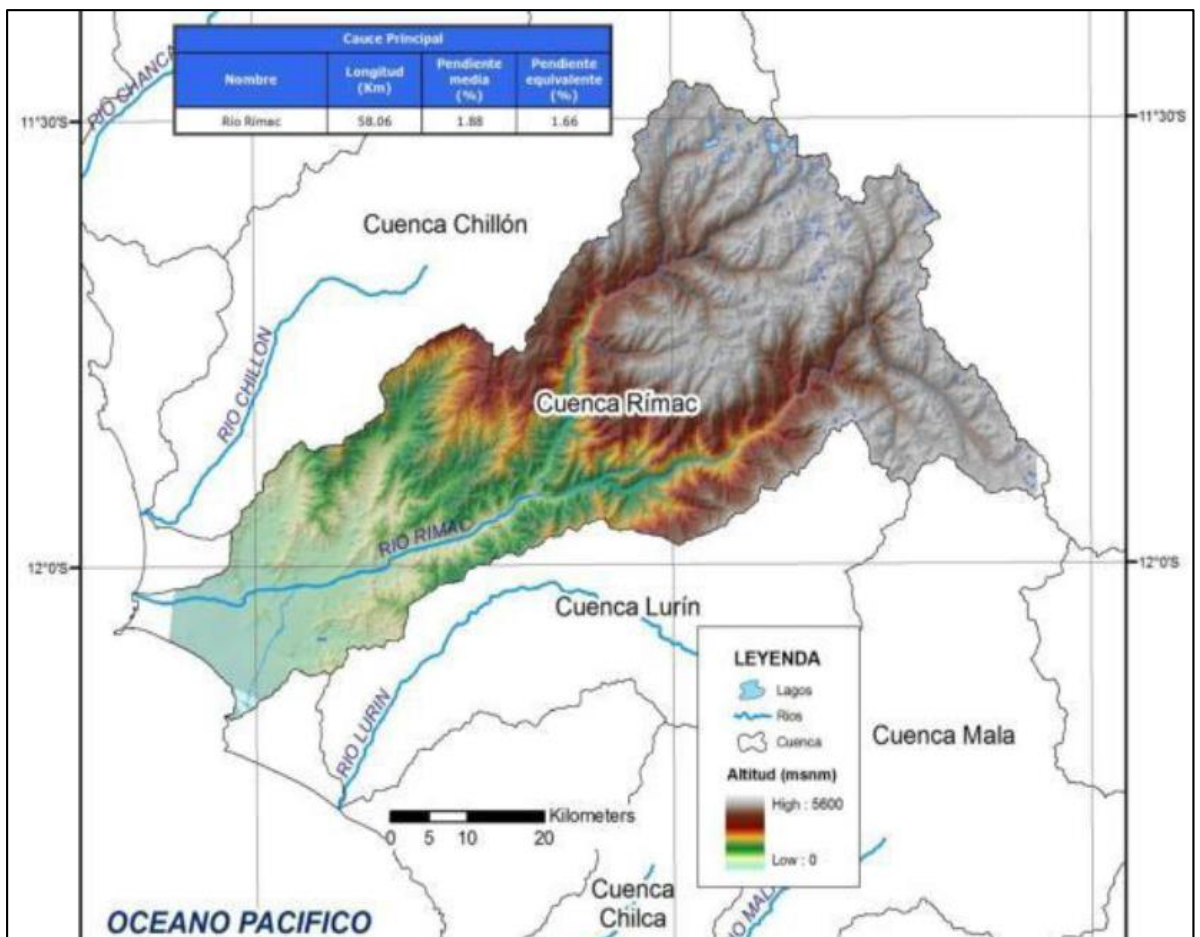


Figura 30.- Mapa GIS de la cuenca del río Rímac.

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad

En la figura 31, observamos la delimitación de la cuenca del río Rímac.

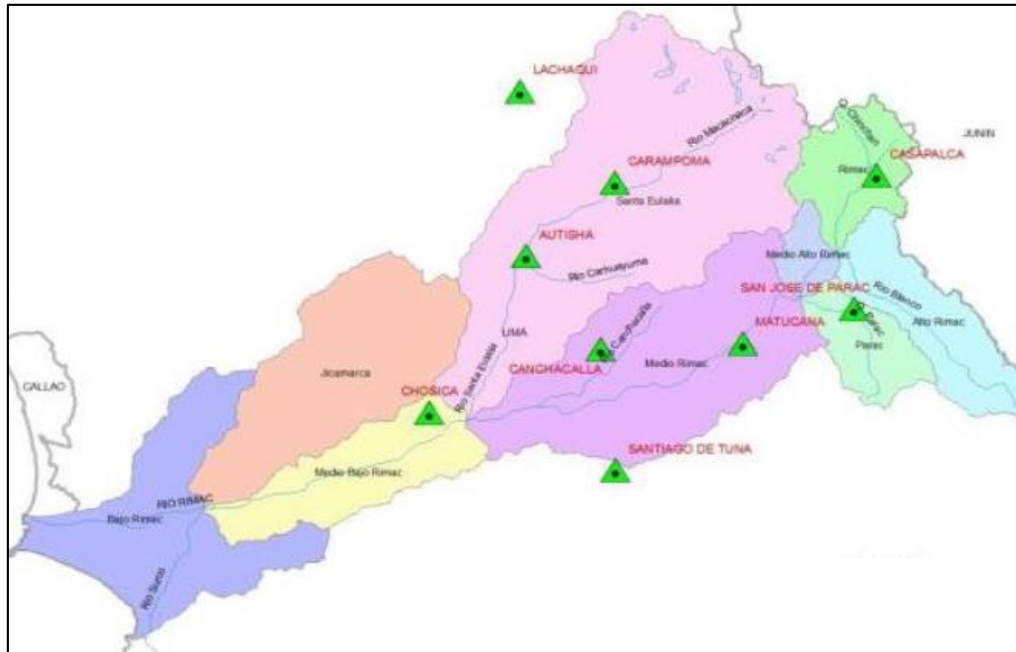


Figura 31.- Mapa de delimitación de subcuencas del río Rímac.

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad

Para la evaluación de los caudales del río Rímac, se consideraron 20 estaciones meteorológicas, las mismas que se detallan a continuación: Ver figura 32.

Estación	Río	Altitud msnm	Latitud Sur	Longitud Oeste	Área de la cuenca km <sup>2</sup>	Caudal medio m <sup>3</sup> /s
Túnel trasandino *	Pallca	4650	11° 33'	76° 20'		4.08
Mina Camina	Azul		11° 34'	76° 26'	20	
Acobamba	Racray		11° 33'	76° 30'	45	
Putuchaca	Yana		11° 39'	76° 28'	138	
Sheque *	Sta. Eulalia	3100	11° 40'	76° 31'	547	11.05
Sulchi	Sta. Eulalia		11° 43'	76° 36'	794	14.73
Autisha	Sta. Eulalia	2100	11° 44'	76° 37'	812	9.74
Yuracmayo	Sta. Eulalia	4800	11° 50'	76° 09'	101	2.59
Río Blanco	Blanco	3550	11° 44'	76° 16'	205	3.36
San Mateo	Blanco	3200	11° 46'	76° 18'	446	14.33
Tamboraque *	San Mateo	3200	11° 46'	76° 19'	592	14.09
Anyahuari o Surco	San Mateo	1990	11° 53'	76° 28'	892	15.72
Chosica *	Rímac	870	11° 56'	76° 43'	2320	27.34
Yanacoto	San Mateo	854	11° 57'	76° 43'	2320	29.56
Chacrasana	Rímac	850	11° 58'	76° 45'	2500	28.72
Pte. Los Angeles	Rímac	850	11° 59'	76° 46'	2550	31.62
Huachipa	Rímac	200	12° 01'	76° 54'	2337	24.64
La Atarjea	Rímac		12° 02'	76° 00'		15.37
Pte. Naña	Rímac	560	11° 59'	76° 50'	2460	
Desebodura R-1	Rímac	20	12° 02'	77° 07'	3490	

\* Estaciones en actual funcionamiento.

Figura 32.- estaciones meteorológicas del río Rímac.

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad

## Caudales máximos en el río Rímac

Los caudales medidos en a lo largo del río Rímac se caracterizan por tener un período de registro que se inicia en 1920 continuándose a la fecha. En el periodo las mediciones se han realizado en cinco secciones del río: Chacrasana, puente Los Ángeles, Yanacoto, Chosica R-1 y Chosica R-2.

Los registros de caudales máximos no fueron cuantificados toda vez que han sido estimados a partir de la curva Nivel vs. Caudal y se considera que no toman en cuenta la socavación del cauce. Los registros debido a las obras de infraestructura de regulación realizadas no contemplan el efecto de regulación (disminución de las avenidas).

Se puede identificar dos periodos de medición de caudales, el primero entre 1920 y 1960 y el segundo entre 1960 y 2011. Se caracteriza el primero por registrar valores máximos superiores a los del segundo periodo, en contradicción aparente con el deterioro de la cobertura de la cuenca por malas prácticas de conservación.

El efecto podría asociarse entre otros al cambio de la sección de medición y/o equipos utilizados y/o forma de estimar el máximo caudal.

Lo anterior nos permite decir que los caudales de avenidas registrados tienen una confiabilidad baja. En la figura 21 se observa el grafico estadístico del caudal del rio vs el año hidrológico desde los años 1920 hasta el año 2006. Ver figura 33.

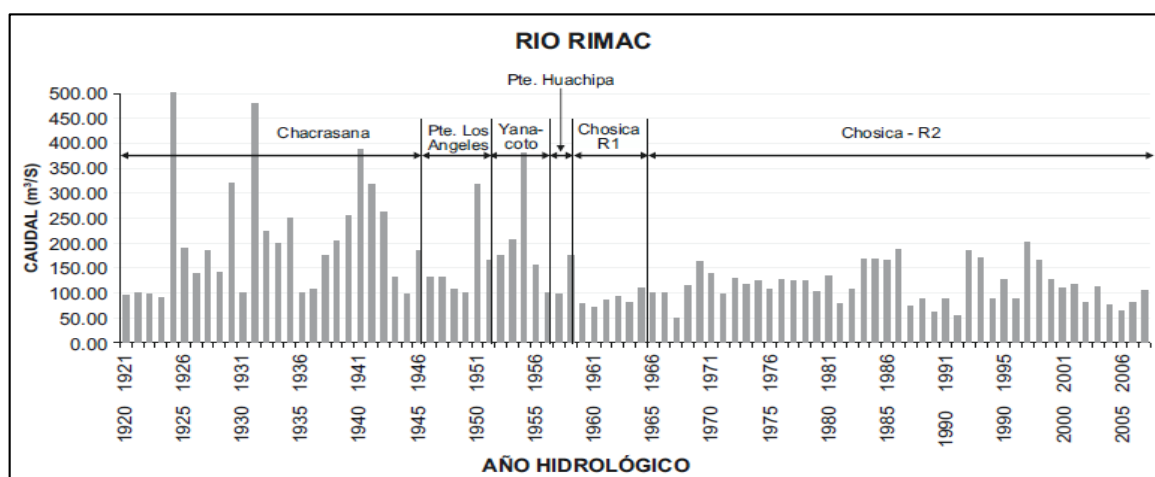


Figura 33.- Hidrograma de caudales del río Rímac

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad

## Análisis de frecuencia de los caudales

El análisis de frecuencia de los caudales máximos instantáneos se realizó en base a la información de descargas máximas instantáneas procesadas por SENAMHI.

El siguiente cuadro, muestra el ajuste de los caudales máximos instantáneos a una distribución empírica conocida como Weibull.

El siguiente cuadro, muestra las pruebas de ajuste a las distribuciones de probabilidad teórica para eventos extremos como: Gumbel I, Log-Normal, Log-Normal 3 Parámetros y Log-Pearson III para el cálculo de parámetros mediante máxima verosimilitud y momentos.

**Tabla 7:**

Ajuste de los caudales distribución empírica

Periodo de retorno (años)	Gumbel I		Log-Normal		Log-Normal 3P		Log-Pearson III			
	Caudal de máx. avenida estimada (m <sup>3</sup> /s)	Porcentaje del error estándar (%)	Caudal de máx. avenida estimada (m <sup>3</sup> /s)	Porcentaje del error estándar (%)	Caudal de máx. avenida estimada (m <sup>3</sup> /s)	Porcentaje del error estándar (%)	Máxima Verosimilitud		Momentos	
							Caudal de máx. avenida estimada (m <sup>3</sup> /s)	Porcentaje del error estándar (%)	Caudal de máx. avenida estimada (m <sup>3</sup> /s)	Porcentaje del error estándar (%)
1.005	30.7		39.6		50.6		50.9		52.4	
1.05	59.8		61.7		66.3		67.4		67.9	
1.25	93.2		90.4		89.5		90.3		89.8	
2	137		135		130		129		128.0	
5	197	5.33	201	6.16	200	6.88	197	6.93	197.0	7.2
10	236	5.7	248	7.14	254	8.52	251	8.85	254.0	9.36
20	274	6.01	295	8.11	311	10.4	312	11.3	319.0	12.5
50	322	6.35	359	9.33	393	13	404	15	419.0	17.5
100	359	6.55	408	10.2	461	14.9	484	18.1	509.0	21.7
200	395	6.72	460	11	534	16.8	575	21.3	613.0	26.2
500	443	6.91	532	12	640	19.2	716	25.7	777.0	32.5

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad

**Tabla 8:**

Ajuste de la probabilidad de excedencia

NºAños	Caudal máximo instantáneo (m³/s)	Caudal max. Inst. ordenado (m³/s)	Probabilidad de Excedencia P(X>=x)	Periodo retorno (años)	NºAños	Caudal máximo instantáneo (m³/s)	Caudal max. Inst. ordenado (m³/s)	Probabilidad de Excedencia P(X>=x)	Periodo retorno (años)
1	95.0	500.0	0.007	135.30	42	70.5	125.8	0.512	1.90
2	99.0	480.0	0.020	50.70	43	84.1	124.0	0.525	1.90
3	97.0	385.4	0.032	31.20	44	92.2	124.0	0.537	1.80
4	90.5	380.0	0.044	22.50	45	78.8	123.0	0.549	1.80
5	95.6	320.1	0.057	17.60	46	108.1	115.4	0.562	1.70
6	500.0	316.0	0.069	14.50	47	100.6	113.2	0.574	1.70
7	187.1	315.8	0.081	12.30	48	100.5	108.1	0.586	1.70
8	137.6	261.0	0.094	10.60	49	46.4	108.0	0.599	1.60
9	183.5	254.5	0.106	9.40	50	113.2	108.0	0.611	1.60
10	139.8	250.0	0.118	8.40	51	161.0	106.6	0.623	1.60
11	320.1	225.0	0.131	7.60	52	138.0	105.0	0.635	1.50
12	97.6	205.0	0.143	7.00	53	95.6	101.1	0.648	1.50
13	480.0	202.0	0.155	6.40	54	128.0	100.6	0.660	1.50
14	225.0	200.1	0.167	5.90	55	115.4	100.5	0.672	1.40
15	200.0	200.0	0.180	5.50	56	124.0	100.0	0.685	1.40
16	250.0	187.1	0.192	5.20	57	106.6	99.8	0.697	1.40
17	98.8	186.5	0.204	4.80	58	126.0	99.0	0.709	1.40
18	105.0	185.0	0.217	4.60	59	124.0	98.8	0.722	1.30
19	175.0	183.5	0.229	4.30	60	123.0	98.5	0.734	1.30
20	205.0	182.2	0.241	4.10	61	101.1	97.6	0.746	1.30
21	254.5	175.0	0.254	3.90	62	132.0	97.0	0.759	1.30
22	385.4	175.0	0.266	3.70	63	76.2	95.6	0.771	1.20
23	315.8	175.0	0.278	3.50	64	108.0	95.6	0.783	1.20
24	261.0	168.2	0.291	3.40	65	167.3	95.0	0.796	1.20
25	130.0	167.3	0.303	3.30	66	165.8	94.5	0.808	1.20
26	94.5	165.8	0.315	3.10	67	164.2	92.2	0.820	1.20
27	185.0	164.3	0.328	3.00	68	186.5	90.5	0.833	1.20
28	130.0	164.2	0.340	2.90	69	73.9	90.2	0.845	1.10
29	130.0	164.0	0.352	2.80	70	85.2	89.1	0.857	1.10
30	108.0	161.0	0.365	2.70	71	61.3	85.2	0.869	1.10
31	98.5	155.0	0.377	2.60	72	84.8	84.8	0.882	1.10
32	316.0	139.8	0.389	2.50	73	56.7	84.1	0.894	1.10
33	164.0	138.0	0.401	2.40	74	182.2	78.8	0.906	1.10
34	175.0	137.6	0.414	2.40	75	168.2	77.4	0.919	1.00
35	202.0	132.0	0.426	2.30	76	89.1	76.2	0.931	1.00
36	380.0	130.0	0.438	2.20	77	127.5	73.9	0.943	1.00
37	155.0	130.0	0.451	2.20	78	90.2	70.5	0.956	1.00
38	100.0	130.0	0.463	2.10	79	200.1	61.3	0.968	1.00
39	99.8	128.0	0.475	2.10	80	164.3	56.7	0.980	1.00
40	175.0	127.5	0.488	2.00	81	125.8	46.4	0.993	1.00
41	77.4	126.0	0.500	2.00					

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad

## Análisis de máximas avenidas

Mogrovejo 2014, analiza los caudales:

En el río Rímac se dispone de la información hidrométrica, consistente en caudales máximos diarios del periodo de 1920-2003 (84 años con información), ésta información se ha utilizado para el análisis de máximas avenidas, empleando los métodos probabilísticos se obtendrá los caudales máximos para diferentes periodos de retorno. 10.1.1.1 Información histórica – metodología de análisis La información faltante en el registro de caudales máximos promedios diarios del río Rímac, se ha completado y extendido al período 1912-2009 correlacionando con los caudales medios naturalizados del río Rímac (estación Chosica), aplicando el Software Hidrológico HEC-4.

Según la información del SENAMHI, los caudales máximos del río Rímac, son caudales máximos promedios diarios, vale decir, promedio de tres o cuatro valores o lecturas diarias, y por lo tanto no son datos instantáneos, por esta razón se convirtieron los caudales máximos medios diarios a instantáneos mediante la aplicación del Método de Fuller, que se fundamenta en función del área de la cuenca, y ésta información de datos instantáneos es la que sirve para el análisis de máximas avenidas. (p. 13).

**Tabla 9:**

Caudales máximos del río Rímac

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Qmax
1912	71.26	49.91	72.66	59.65	22.15	25.83	23.13	17.54	13.71	13.36	23.87	45.12	72.66
1913	83.54	94.59	195.97	138.39	27.73	17.93	17.12	15.73	17.61	26.19	41.66	36.93	195.97
1914	46.05	70.46	87.91	86.43	26.07	13.01	12.70	11.38	12.19	14.18	19.10	44.02	87.91
1915	19.35	127.71	88.50	29.68	20.60	19.33	18.91	22.05	21.54	30.72	36.52	64.29	127.71
1916	129.27	185.69	136.28	81.06	50.93	34.71	17.94	15.99	17.63	14.97	15.77	41.04	185.69
1917	107.79	62.84	111.13	92.57	34.31	12.97	19.21	16.04	13.24	18.10	32.14	33.38	111.13
1918	152.21	128.26	143.83	66.64	36.04	21.35	28.04	16.84	17.40	15.27	17.71	70.72	152.21
1919	23.17	73.56	92.65	32.68	21.77	16.74	18.13	21.58	19.84	17.08	23.79	35.36	92.65
1920	101.29	73.35	111.21	117.64	31.43	13.00	10.82	15.43	13.07	18.24	18.24	28.70	117.64
1921	55.20	85.90	95.00	58.10	33.54	18.24	14.36	16.95	20.23	13.07	16.95	36.50	95.00
1922	32.40	63.30	99.00	61.40	45.60	11.20	11.78	10.61	13.07	16.95	20.23	62.60	99.00
1923	68.00	64.00	97.00	69.20	35.80	16.30	13.72	11.20	18.24	19.55	24.85	55.20	97.00
1924	54.50	58.80	90.50	74.00	24.85	16.95	11.20	13.72	16.30	18.90	18.90	23.87	90.50
1925	47.50	56.60	78.00	62.62	27.60	7.40	10.50	11.80	15.80	18.53	18.16	39.88	78.00
1926	59.80	115.80	187.09	90.36	35.20	17.18	11.40	12.19	14.80	14.73	19.70	50.96	187.09
1927	51.60	88.70	137.60	57.40	35.20	25.19	9.10	10.20	15.73	15.76	18.70	37.70	137.60
1928	49.70	111.22	183.49	88.70	40.30	14.00	12.10	12.10	13.19	13.10	14.70	27.50	183.49
1929	99.60	139.80	137.50	50.60	18.90	7.50	10.00	13.00	15.60	18.90	45.00	40.80	139.80
1930	81.75	55.80	320.10	98.40	67.80	35.40	12.90	14.73	11.88	15.80	20.00	18.93	320.10
1931	89.63	53.68	97.63	42.50	25.00	19.50	13.80	9.87	12.83	14.92	21.69	73.00	97.63
1932	84.75	315.00	106.50	62.50	34.00	14.52	12.27	13.45	12.67	19.20	25.69	35.40	315.00
1933	50.70	105.00	225.00	86.00	66.80	20.69	13.84	13.00	12.66	12.66	13.05	42.60	225.00
1934	83.50	160.00	200.00	71.90	41.00	25.69	18.23	12.66	12.27	15.20	14.52	13.84	200.00
1935	105.00	101.20	250.00	55.80	57.50	15.52	13.05	13.05	13.84	13.05	13.84	98.80	250.00
1936	65.50	47.40	60.50	39.60	22.19	15.20	13.05	13.05	13.05	13.05	13.05	16.23	65.50
1937	40.30	35.40	105.00	38.20	25.69	14.18	12.27	13.05	13.05	17.26	17.26	32.38	105.00
1938	96.60	175.00	130.00	65.50	35.40	15.00	13.05	13.05	13.05	13.05	13.05	20.19	175.00
1939	40.30	146.45	205.00	157.80	22.65	15.20	12.66	13.05	13.05	13.05	13.05	53.45	205.00
1940	96.60	57.50	254.50	70.80	23.11	14.18	13.05	13.05	13.05	13.05	16.23	22.27	254.50

*Continuación*

1941	62.50	290.10	325.00	28.62	14.18	12.27	12.27	12.27	13.05	17.23	26.48	76.30	325.00
1942	184.60	315.80	125.50	42.60	28.05	14.52	13.84	13.84	13.05	13.05	13.05	27.48	315.80
1943	58.50	261.00	138.00	203.00	26.29	13.05	12.97	13.08	13.48	16.70	25.00	44.50	261.00
1944	71.90	130.00	127.30	38.50	24.70	15.00	13.04	13.05	13.03	14.50	14.30	18.50	130.00
1945	63.50	94.50	83.60	57.50	25.00	15.50	13.08	13.00	12.05	16.00	24.50	73.40	94.50
1946	134.00	105.00	185.00	113.00	35.00	17.50	14.00	13.00	14.00	15.50	32.40	53.60	185.00
1947	64.00	78.50	130.00	43.00	31.00	17.00	12.00	13.50	13.10	22.00	15.40	33.00	130.00
1948	130.00	90.00	128.00	62.00	33.00	23.00	18.00	14.00	13.15	51.00	34.00	22.60	130.00
1949	47.00	55.50	108.00	56.50	21.00	15.00	15.50	15.50	13.50	14.50	21.00	14.00	108.00
1950	80.00	98.50	79.50	55.00	33.00	17.50	14.80	13.00	13.50	13.50	18.00	58.50	98.50
1951	71.00	195.00	316.00	108.00	24.00	20.00	15.50	13.50	14.50	22.64	45.00	70.00	316.00
1952	115.00	132.00	164.00	109.00	24.00	19.00	17.00	14.00	18.00	15.00	33.00	45.00	164.00
1953	70.00	175.00	130.00	79.00	31.00	20.00	17.00	14.50	16.50	21.00	42.00	66.00	175.00
1954	72.00	202.00	180.00	42.00	36.00	20.00	16.00	15.00	14.50	18.00	36.00	28.00	202.00
1955	115.00	164.00	320.00	59.00	24.00	20.50	18.00	14.50	14.50	16.00	13.80	21.00	320.00
1956	39.00	142.00	155.00	68.00	21.00	15.00	12.70	13.20	14.80	13.80	12.40	13.10	155.00
1957	36.50	100.00	71.00	63.00	20.00	11.50	10.50	13.10	13.40	12.60	15.10	19.00	100.00
1958	40.00	99.80	94.80	27.90	16.00	11.25	12.15	11.20	12.50	15.90	16.62	14.30	99.80
1959	15.50	175.00	135.00	106.00	31.00	14.50	13.75	13.50	13.95	21.65	19.90	36.40	175.00
1960	60.90	69.00	77.40	28.10	21.40	14.10	13.85	15.00	14.30	16.80	18.20	16.85	77.40
1961	59.50	70.50	65.40	70.40	26.60	16.40	14.25	13.75	13.80	14.05	30.30	53.90	70.50
1962	84.00	76.60	84.10	49.70	28.15	15.30	15.25	16.00	15.10	14.95	16.30	29.00	84.10
1963	69.40	74.00	92.20	52.80	25.80	17.70	15.60	15.20	15.95	17.65	32.80	63.70	92.20
1964	26.70	78.80	72.50	77.30	31.80	17.70	15.60	16.00	16.45	16.95	18.20	21.74	78.80
1965	26.06	108.10	95.70	27.00	20.80	13.30	12.70	12.50	13.35	15.50	15.20	31.80	108.10
1966	72.00	54.09	100.60	30.20	24.90	15.80	17.70	14.60	15.80	30.60	27.80	42.00	100.60
1967	44.30	91.20	100.50	43.20	26.60	20.10	21.20	19.50	22.90	32.50	24.10	33.10	100.50
1968	39.90	30.10	46.40	35.50	18.90	17.30	15.60	18.90	16.75	21.80	35.80	39.40	46.40
1969	32.20	51.00	81.40	50.20	22.60	18.10	18.10	17.60	18.10	21.20	21.20	81.40	81.40
1970	158.00	58.20	88.00	57.70	41.00	23.70	20.80	19.20	22.80	22.20	19.40	55.80	158.00
1971	71.00	101.00	139.00	53.30	24.30	25.30	22.10	21.70	21.80	21.80	17.70	54.30	139.00
1972	93.00	138.00	210.00	119.00	38.60	19.20	18.20	17.30	15.30	20.40	20.00	45.10	210.00
1973	108.00	115.00	110.00	98.20	33.70	15.60	14.30	14.30	12.20	18.30	18.00	52.60	115.00
1974	59.50	67.70	79.10	49.20	19.80	14.20	11.40	15.10	19.20	17.00	17.00	15.10	79.10
1975	32.30	63.60	144.00	55.50	38.80	27.50	24.40	24.90	23.80	25.50	26.10	33.80	144.00
1976	69.00	116.00	91.10	51.10	26.10	22.80	18.00	18.00	19.00	19.40	21.00	23.40	116.00
1977	28.70	162.00	94.00	60.00	42.60	22.20	22.80	22.80	21.60	21.00	46.20	57.40	162.00
1978	98.80	151.00	61.30	46.20	21.00	20.40	20.40	19.90	18.50	20.40	22.20	51.10	151.00
1979	28.70	140.40	144.00	61.30	20.04	20.04	17.92	19.01	20.00	20.33	19.67	20.33	144.00
1980	91.50	40.11	82.40	85.00	20.51	20.51	18.40	19.05	21.65	23.94	28.56	29.40	91.50
1981	83.00	216.00	200.00	70.48	27.32	24.44	24.00	24.00	28.50	20.40	27.40	57.00	216.00
1982	57.50	72.20	65.20	58.40	41.40	38.50	32.55	35.10	27.00	30.40	47.80	33.60	72.20
1983	48.80	46.60	72.00	108.00	31.50	21.92	33.40	27.52	27.00	30.40	47.80	33.60	108.00
1984	39.00	103.50	82.80	50.70	28.70	38.08	33.60	31.04	27.84	31.92	42.56	72.00	103.50
1985	46.70	74.00	118.00	80.00	50.20	67.12	56.89	68.97	29.19	29.00	36.63	86.59	118.00
1986	164.18	154.51	158.35	98.19	113.00	32.06	29.35	34.10	26.19	26.19	26.43	54.96	164.18
1987	81.82	133.82	168.50	78.57	41.15	24.87	23.91	23.91	31.55	34.17	29.42	34.03	168.50
1988	57.77	67.63	43.40	83.00	35.40	24.52	31.40	36.68	23.60	25.28	22.40	58.56	83.00
1989	43.43	57.12	58.14	53.91	26.41	19.36	18.52	17.70	17.70	19.36	21.43	18.11	58.14
1990	35.12	21.02	26.82	18.92	16.86	15.02	13.90	11.10	13.90	31.95	38.58	39.84	39.84
1991	31.65	32.51	66.98	40.82	33.87	21.33	18.46	15.31	18.06	21.30	24.98	20.82	66.98
1992	27.52	25.57	32.88	24.72	16.29	14.85	16.38	15.18	15.51	17.30	13.63	16.88	32.88
1993	95.46	114.49	88.56	55.40	33.45	18.62	17.43	18.71	18.20	21.38	57.99	88.12	114.49
1994	85.11	133.96	132.45	76.39	47.29	27.13	25.65	24.91	24.79	28.44	25.97	36.11	133.96
1995	40.47	33.92	60.35	41.98	23.15	23.77	20.97	23.25	22.59	23.93	26.87	37.60	60.35
1996	81.32	108.93	80.36	69.79	26.88	28.24	31.50	26.18	25.25	22.91	20.83	30.74	108.93
1997	44.55	76.35	47.69	21.55	19.44	20.54	18.92	19.56	19.60	22.40	26.80	77.37	77.37
1998	109.17	120.61	92.06	74.15	50.94	29.66	27.87	24.53	27.36	31.64	32.13	32.44	120.61
1999	49.47	125.49	107.73	74.72	46.17	25.19	26.43	25.31	29.31	29.78	32.09	50.93	125.49
2000	76.65	93.88	108.58	87.77	49.92	28.91	25.37	23.90	23.70	30.68	26.84	64.59	108.58
2001	91.08	89.14	108.65	88.84	40.20	29.45	28.55	28.11	28.21	27.91	44.11	36.70	108.65
2002	41.67	65.49	76.08	65.83	29.05	21.73	22.70	23.87	29.12	31.95	43.25	45.41	76.08
2003	75.83	82.68	128.61	77.55	41.90	30.16	29.95	31.27	52.21	63.11	58.12	79.53	128.61
2004	17.76	82.00	46.50	42.59	31.98	18.10	15.17	19.00	22.28	27.51	36.32	71.73	82.00
2005	50.52	72.57	51.40	67.28	28.40	31.51	31.00	20.75	40.77	28.40	41.76	48.43	72.57
2006	42.53	71.39	101.14	118.89	43.38	29.94	43.21	24.99	25.38	17.98	28.63	53.68	118.89
2007	63.02	82.44	79.66	121.14	42.35	35.00	28.41	36.08	34.59	35.48	39.57	33.75	121.14
2008	71.48	47.79	78.64	32.73	21.19	14.69	12.62	11.23	16.17	21.91	29.22	43.27	78.64
2009	65.75	125.52	139.17	48.55	19.11	10.70	10.47	12.11	18.08	20.09	23.34	38.93	139.17
Promedio	68.66	104.02	120.15	67.34	31.82	20.29	18.44	18.04	18.54	21.06	25.86	42.68	135.76
Nº Datos	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00
Desv. Est.	33.54	58.21	62.47	30.38	13.43	8.11	7.72	8.03	6.81	8.02	10.64	19.61	66.90
Máxima	184.60	315.80	325.00	203.00	113.00	67.12	56.89	68.97	52.21	63.11	58.12	98.80	325.00
Mínima	15.50	21.02	26.82	18.92	14.18	7.40	9.10	9.87	11.88	12.60	12.40	13.10	32.88

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad



## Análisis de frecuencia de los caudales máximos

El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada para, predecir el comportamiento futuro de los caudales en un sitio de interés, a partir de la información histórica de caudales.

Es un método basado en procedimientos estadísticos que permite calcular la magnitud del caudal asociado a un período de retorno. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica, además de la incertidumbre propia de la distribución de probabilidades seleccionada.

El análisis de frecuencia consiste en determinar los parámetros de las distribuciones de probabilidad y determinar con el factor de frecuencia la magnitud del evento para un período de retorno dado. La información básica utilizada para el análisis probabilístico de serie de caudales máximos instantáneos del río Rímac es del periodo 1912-2009 (98 años de información).

Para dicho análisis de frecuencia de las descargas máximas instantáneas del río Rímac, se ha utilizado el Software Hidrológico de Eventos Extremos FLFREQ, es un programa que permite calcular las descargas máximas para diferentes períodos de retorno, considerando las funciones de distribución como: La Log-Normal de 2 parámetros, Log-Normal de 3 parámetros, Gumbel I y Log-Pearson III.

## Caudales máximos para diferentes periodos de retornos

Según el análisis de frecuencia resulta que la serie de caudales máximos instantáneos del río Rímac se ajusta mejor a la Distribución Gumbel (método de máxima verosimilitud), por mostrar menor porcentaje de error estándar que otras distribuciones. Pero para el presente estudio se ha considerado los resultados de la distribución de probabilidad de LogNormal de 2 parámetros – método de máxima verosimilitud, por ser más conservador de la información. A continuación, se muestran los caudales máximos instantáneos de diseño para diferentes períodos de retorno.

**Tabla 10:**

Caudales máximos instantáneos.

TR (años)	Caudales Máximos Instantáneos (m <sup>3</sup> /s)
2	154.0
5	227.0
10	278.0
20	329.0
50	398.0
100	452.0
200	507.0
500	584.0
1000	646.0

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad

#### Análisis de la información – Estación Chosica

Para el siguiente análisis se utilizará información de descargas máximas absolutas de la estación Chosica con un rango desde 1979 – 2007.

Se ha definido la estación Chosica como la estación base para el cálculo de las descargas máximas. La información hidrométrica disponible corresponde a las descargas máximas absolutas.

Antes de elaborar el tratamiento estadístico de datos, se realizó un análisis de datos dudosos, para determinar que el valor tomado se encuentra dentro del rango de confianza de la serie o si existe algún dato que no corresponde a la muestra denominado “outliers”. Para poder determinar los datos a utilizar, primero se considera los años donde se tiene un registro completo de información en el total de los 12 meses o de preferencia los años que tienen registros en el periodo diciembre – marzo, que son los meses donde el Perú presenta las mayores precipitaciones del año.

El valor de precipitación máxima en 24 horas, se tomó a partir de valor máximo registrado en cada año. El método de Water Resource Council recomienda una verificación de datos dudosos que consiste en determinar un rango de valores utilizando una ecuación de frecuencia.

$PH = 10^{(xH)}$  ..... Precipitación máxima aceptada Límite superior

$$xH = P_m + K_n S$$

$PL = 10^{(xL)}$  ..... Precipitación mínima aceptada Límite inferior

$$xL = P_m - K_n S$$

Dónde:

PH = Límite de confianza superior.

PL = Límite de confianza inferior.

$P_m$  = promedio de los logaritmos de la muestra

S = Desviación Estándar de los logaritmos de la muestra

$K_n$  = Valor para la prueba de datos dudosos que depende del tamaño de la muestra

**Tabla 11:**

Valores de  $K_n$  para la prueba de datos dudosos.

Tamaño de muestra $n$	$K_n$	Tamaño de muestra $n$	$K_n$	Tamaño de muestra $n$	$K_n$	Tamaño de muestra $n$	$K_n$
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: U. S. Water Resources Council 1081.

## Análisis de Ajuste de bondad

Para determinar cuál de las distribuciones estudiadas se adapta mejor a la información histórica, se tienen diferentes métodos:

- Análisis gráfico.
- Método del error cuadrático mínimo.
- Test de Kolmogorov – Smirnov.
- Test de Chi – Cuadrado  $\chi^2$ .

En el presente estudio se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov ya que este análisis es aplicable a cualquier distribución. La ejecución de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, tiene como objetivo determinar la función de distribución que más se ajusta a los datos de las estaciones. Para tal efecto, se ordenaron en orden descendente los valores de Los caudales designando con "m" el número de orden asignado a cada precipitación y con "n" el total de datos de la estadística, definiendo las funciones  $F_0(x)$  para los  $x_m$  valores de los caudales y los  $y_m$  valores de sus respectivos logaritmos neperianos, tal que:

$$F_0(x) = \frac{m}{(n+1)} \text{ -----(8)}$$

En este caso se hicieron análisis estadísticos de las distribuciones probabilísticas de los caudales. En el Anexo 01 se presenta el análisis de Bondad de Ajuste en la estación Chosica, donde en resumen al aplicar el test de Kolmogorov se encontró que la distribución de mejor ajuste es la Distribución Log Normal.

## Análisis de frecuencia

El procedimiento está basado en las diferentes distribuciones de frecuencia usadas en el análisis de eventos hidrológicos máximos. Las distribuciones usuales de frecuencia son:

- Distribución normal (N).
- Distribución Gumbel (EV1).
- Distribución LogNormal de 2 Parámetros (LN).
- Distribución Pearson III (P3).
- Distribución LogPearson III (LP 3).

Se presenta el análisis elaborado, donde se obtuvieron los siguientes valores para la distribución Log Normal para diferentes períodos de retorno en la estación analizada son los mostrados en siguiente cuadro.

**Tabla 12:**

Causales máximos - Est. Chosica.

<b>Tiempo de retorno</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Factor de corrección</b>	<b>Caudal corregido (m<sup>3</sup>/s)</b>
200	275,80	1,13	311,65
100	253,20		286,08
50	230,60		260,53
25	207,80		234,79
10	176,90		199,87
5	152,10		171,86
2	113,90		128,74

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad

## Parámetros hidráulicos

El cálculo de la interacción entre el río y la obra y su correcto funcionamiento, es una tarea compleja y requiere de modelos matemáticos capaces de representar adecuadamente esta relación. Para el presente caso se empleó el modelo PLAXIS.

Para la aplicación del software, se realizaron los siguientes pasos:

- Modelamiento de la topografía del río y de sus características hidráulicas mediante la digitalización de las secciones transversales.
- Ingreso de las rugosidades en el cauce principal y llanuras de inundación, para luego proceder a la asignación de caudales de diseño.
- Modelamiento de la estructura de defensa, definiendo la geometría de la estructura de cruce.

## Coefficiente de Manning

La rugosidad del río es uno de los parámetros más sensibles e importantes en el cálculo de las características hidráulicas de las secciones del río. Para el presente estudio se empleó la metodología de Cowan para estimar este valor, ya que se ajusta muy bien al tipo de datos disponibles del río, y que son identificadas muy fácilmente.

Cowan desarrolló un método para evaluar el coeficiente de rugosidad en canales naturales.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m \dots \dots \dots (9)$$

Dónde:

$n_0$  = Coeficiente n básico.

$n_1$  = Coeficiente añadido por irregularidades del cauce.

$n_2$  = Coeficiente añadido por variaciones en la forma y tamaño del cauce.

$n_3$  = Coeficiente añadido por obstrucciones.

$n_4$  = Coeficiente añadido por vegetación y condiciones de flujo.

$m$  = Corrección por la cantidad de meandros en el cauce.

**Tabla 13:**

Valores de los coeficientes de Manning.

Condiciones del cauce		Valores	
n Básico	Terroso	$n_0$	0,020
	Rocoso		0,025
	Gravoso Fino		0,024
	Gravoso grueso		0,028
Factor de irregularidad de contorno	Despreciable	$n_1$	0,000
	Escasa		0,005
	Moderada		0,010
	Severa		0,020
Factor de forma del Cauce	Gradualmente alterada	$n_2$	0,000
	Ocasionalmente alterada		0,005
	Frecuentemente alterada		0,010-0,015
Factor de grado de obstrucciones	Despreciable	$n_3$	0,000
	Escasa		0,010-0,015
	Moderada		0,020-0,030
	Severa		0,040-0,060
Factor de 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 sinuosidad	Baja	$m$	1,00
	Media		1,15
	Alta		1,30

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad

#### 4.4 Análisis estructural

La zona de la cuenca del río Rímac, se encuentra en un área de alta actividad sísmica. Los rasgos tectónicos principales son la cordillera de los andes y la fosa de lima, estas se sitúan dentro de la placa tectónica suramericana o continental y nazca u oceánica. La segunda se introduce en subducción a la placa continental formando el llamado plano de Benioff, lugar principal de la acumulación constante de energía que será liberada mediante los temblores y terremotos.

En cuanto a las condiciones geotécnicas el tipo de suelo es considerado S1 y S2, con factores respectivos de S= 1.0 y 1.5, y periodos predominantes TP de 0.4 y 0.6, TL de 2.5 y 2.0 respectivamente. Ver tabla 14.

**Tabla 14:**

Parámetros sismo resistente

Descripción	Factor
Zona 4	Z= 0.45g
Uso	U= 1.0
Tipo de suelo	S1= 1.00 S2= 1.05
Periodo Predominante	Tp= 0.40 Tp= 0.60

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad



En la figura 34, se observa el mapa del Perú según la zonificación sísmica.



Figura 34.- Mapa de Zonificación sísmica del Perú.

Fuente: Nueva norma E-030.

#### 4.5 Exploración de campo y laboratorios

Se realizó una inspección general en la cuenca haciendo un recorrido por ambos márgenes, identificando daños en la parte superior (corona) de las 36 pantallas de infiltración. En la figura 35,36 podemos apreciar la foto de las visitas a campo.



Figura 35.- vista de testistas en exploración de campo, a lo largo de la cuenca en estudio.

Fuente: propia



Figura 36.- otra vista de los investigadores en campo, haciendo un recorrido en la zona.

Fuente: propia

Seguidamente, se realizaron excavaciones (piques exploratorios) cerca de la base de las pantallas, a fin de observar el estado en el que se encontraba la cimentación de la misma. Luego de tomar nota de las dimensiones, inventariar los daños y realizar el registro fotográfico, se procedió a cubrir los forados. Ver figura 37.



Figura 37.- vista de pantalla de infiltración afectada por hendiduras en la parte superior y cimentación con presencia de bolonería y sin rastros de conglomerado de concreto.

Fuente: Trinity Group.

Tras ello, se procedieron a extraer muestras de concreto con equipo de diamantina (en estado inalterado), para evaluar en el laboratorio la información obtenida durante la exploración de campo.

Vale precisar que se considera importante la exploración de campo puesto que, desde la construcción de las pantallas de infiltración, no se tenía un registro sobre el estado de conservación actual de las estructuras. Líneas abajo se encuentra la tabla detallando las excavaciones realizadas y el detalle de lo observado en campo.

**Tabla 15:**

Relación de excavaciones realizadas (piques).

N° Pantalla	Pique	Capa Superior ( $f_c=350 \text{ kg/cm}^2$ )	Capa Inferior ( $f_c= 140 \text{ kg/cm}^2$ )	Descripción Inspección in situ (Diciembre 2017)
		Registrado (m)	Registrado (m)	
1	-	-	-	Totalmente enterrada y sumergida. Sin data
2	-	-	-	Totalmente enterrada y sumergida. Sin data
3	-	-	-	Rápida N° 3, sumergida
4	P4	0.80	1.60	Totalmente enterrada
5	P5	0.80	1.10	Totalmente enterrada
6	P6	0.80	0.90	Parcialmente enterrada (sector izquierdo) y sumergida. Rajadura vertical
7	P7	0.80	1.00	Totalmente enterrada, parcialmente cubierta por agua. La corona presenta diversas irregularidades en su superficie
8	P8	0.70	0.70	Totalmente enterrada y parcialmente sumergida. Con presencia de vegetación. Deteriorada en la parte superior
9	P9	0.80	0.80	Totalmente enterrada y parcialmente sumergida.
10	P10	0.80	1.00	Parcialmente enterrada (sector izquierdo) y sumergida (sector central). Deterioro en corona
11	P11	0.80	1.10	Parcialmente sumergida. Deterioro en corona
12	P12	0.85	1.90	Descubierta y parcialmente cubierta por agua. Una sola estructura
13	P13	0.80	1.40	Parcialmente sumergida (sector central). Hendiduras en corona y estructura pandeada. Presenta rajaduras verticales
14	P14	0.80	1.20	Parcialmente sumergida. Hendidura en corona. Asentamiento de capa superior
15	P15	0.80	1.25	Parcialmente enterrada y sumergida. Daños en corona. Deterioro en base
16	P16	0.70	0.80	Parcialmente enterrada y sumergida. Deterioro en corona

17	P17-2	0.80	1.50	Parcialmente enterrada y sumergida. Deterioro en corona (hendiduras)
18	P18	0.80	1.70	Parcialmente enterrada. Parte superior intacta
19	P19	0.80	1.30	Parcialmente enterrada. Hendiduras en corona
20	P20	0.80	0.75	Parcialmente enterrada y sumergida. Deterioro en corona
21	P21	0.70	0.70	Parcialmente enterrada y sumergida. Daños en parte inferior (filtración de agua)
22	P22	0.70	0.60	Parcialmente enterrada y sumergida. Daños en corona
23	P23	0.70	0.80	Totalmente sumergida y con presencia de vegetación. Daños en corona y filtración en parte inferior
24	P24	0.70	0.70	Totalmente sumergida y con presencia de vegetación. Hendiduras en la corona
25	P25	0.80	1.50	Parcialmente enterrada y con presencia de vegetación. Daños en corona y filtración de agua en parte baja
26	P26	0.80	1.60	Parcialmente sumergida, con daños en corona
27	P27	0.80	1.50	Enterrada, con hendiduras en corona y rajadura vertical
28	P28-1	0.70	0.80	Descubierta, con hendiduras en corona
28	P28-2	0.80	0.80	
29	P29	0.80	1.70	Descubierta, con hendiduras en corona. Pantalla rota
30	P30	0.80	1.70	Parcialmente enterrada y sumergida. Con hendiduras en la parte superior. Estructura pandeada y rota
31	P31	0.80	1.10	Con presencia de vegetación y hendidura en la corona. Estructura corroída y con rajaduras
32	P32	0.80	1.10	Parcialmente enterrada y sumergida
33	P33	0.80	1.20	Enterrada y sumergida
34	P34	0.80	1.65	Parcialmente enterrada y sumergida. Con daños en corona. Pantalla rota y con asentamientos
35	-	-	-	Rápida sumergida
36	P36	0.80	2.00	Parcialmente enterrada y sumergida. Pantalla con rajadura

Fuente: Informe Trinity Group (pp 37-38)

#### 4.5.1 Ensayos de laboratorio

Se extrajeron 16 muestras aleatorias (2 muestras para 8 pantallas), las mismas que fueron llevadas al laboratorio para su análisis. Ver figura 38.



Figura 38.- imagen de personal de laboratorio extrayendo muestras de concreto. Nótese la pantalla enterrada en la zona derecha.

Fuente: Informe Trinity Group (p.12)

**Tabla 16:**

A continuación, se detalla la cantidad de muestras de concreto extraídas.

Ítem	Ubicación	Estructura	Fecha de extracción	Cantidad de Muestras
1	Río Rímac	Pantalla N° 03	30/11/2017	02
2	Río Rímac	Pantalla N° 05	30/11/2017	02
3	Río Rímac	Pantalla N° 10	30/11/2017	02
4	Río Rímac	Pantalla N° 14	30/11/2017	02
5	Río Rímac	Pantalla N° 19	30/11/2017	02
6	Río Rímac	Pantalla N° 24	30/11/2017	02
7	Río Rímac	Pantalla N° 29	01/12/2017	02
8	Río Rímac	Pantalla N° 34	01/12/2017	02

Fuente: Laboratorio Chuqui

#### 4.5.2 Ensayos con diamantina

Tras llevarse las muestras al laboratorio, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 17:**

Evaluación de muestra de concreto.

Muestra	Descripción	Estructura	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Altura de Testigos (cm)	Diámetro (cm)	Relación Longitud/Diámetro	Factor de Corrección	Resistencia corregida (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kg/cm <sup>2</sup> Resistencia Promedio
1	Pantalla N° 03	Pantalla	102.0	17.5	9.400	1.86	0.99	100.98	100.19
2	Pantalla N° 03	Pantalla	100.4	18.00	9.600	1.88	0.99	99.40	
3	Pantalla N° 05	Pantalla	115.5	16.9	9.800	1.72	0.98	113.22	115.94
4	Pantalla N° 05	Pantalla	119.9	18.40	9.800	1.88	0.99	118.70	
5	Pantalla N° 10	Pantalla	92.9	16.4	9.900	1.66	0.97	90.14	99.23
6	Pantalla N° 10	Pantalla	110.5	17.4	9.600	1.81	0.98	108.31	
7	Pantalla N° 14	Pantalla	122.1	19.2	9.700	1.98	1	122.1	117.50
8	Pantalla N° 14	Pantalla	112.9	18.4	9.500	1.94	1	112.9	
9	Pantalla N° 19	Pantalla	96.2	16.9	9.400	1.80	0.99	95.2	100.86
10	Pantalla N° 19	Pantalla	107.6	17.4	9.200	1.89	0.99	106.53	

11	Pantalla N° 24	Pantalla	91.1	18.9	9.900	1.91	0.99	90.16	92.49
12	Pantalla N° 24	Pantalla	94.8	19.2	9.800	1.96	1	94.83	
13	Pantalla N° 29	Pantalla	97.9	17.20	9.800	1.76	0.98	95.98	96.21
14	Pantalla N° 29	Pantalla	98.4	18.20	9.700	1.81	0.98	96.43	
15	Pantalla N° 34	Pantalla	112.1	18.40	9.900	1.88	1.0	112.12	109.01
16	Pantalla N° 34	Pantalla	107.0	17.90	9.570	1.86	0.99	105.91	
17	Pantalla N° 39	Pantalla	102.0	17.90	9.800	1.8.	0.99	100.98	102.19
18	Pantalla N° 39	Pantalla	104.4	17.90	9.800	1.83	0.0.99	103.39	
19	Pantalla N° 44	Pantalla	112.8	16.90	9.700	1.74	0.98	110.56	103.22
20	Pantalla N° 44	Pantalla	97.8	17.00	9.600	1.77	0.98	95.88	
21	Pantalla N° 54	Pantalla	94.8	18.10	9.800	1.85	0.99	95.88	94.94
22	Pantalla N° 54	Pantalla	96.0	18.70	9.600	1.95	0.81	1.0	
23	Pantalla N° 60	Pantalla	81.1	19.20	10.00	1.92	0.88	0.99	85.25
24	Pantalla N° 60	Pantalla	90.2	19.10	9.800	1.95	0.81	1.00	

Fuente: Laboratorio Chuqui Perú



#### 4.5.3 Ensayos de esclerometría

Se realizaron pruebas con esclerómetro en la parte baja de las estructuras, a fin de obtener un valor bastante cercano del valor de compresión existente en las pantallas de infiltración construidas. Ver figura 39.



Figura 39.- Imagen del proceso de esclerometría.

Fuente: informe group Trinity (p. 20).

#### 4.6 Mapeo geológico local

El río Rímac se forma a 3400 msnm por la confluencia del río Blando con el Yauliyaco. Este último nace en Ticlio, a 4820 msnm de altura, y El Blanco es alimentado por el nevado Tatajaico a 5000 msnm de altura. En su recorrido, el río Rímac, antes de llegar a Chosica, recibe el aporte del río Santa Eulalia en su margen derecha.

El río Rímac tiene una cuenca fluvial más amplia que las de los ríos Chillón y Lurín, lo cual favorece una mayor erosión del suelo. Este fenómeno lo ocasionan las lluvias que van al lecho de río.

A lo largo del río Rímac y sus afluentes, se ubican secciones transversales de forma de U y V. todas estas forman valles fluviales, valles aluviales, valles fluvio-aluviales y secciones con paredes verticales, lo cual originan cañones.

Debemos mencionar la geodinámica externa del río Rímac, que da lugar a aluviones, huaycos, desprendimiento de rocas, deslizamientos y asentamientos que afectan a las obras viales y a las poblaciones.

Geológicamente este río y sus afluentes, han erosionado rocas sedimentarias de lutitas y volcánico del Paleógeno-Neógeno con erosión de calizas del Cretáceo medio a superior y del Triásico-Jurásico. A menor cota desde Corona, en Chosica, hasta Vitarte, afloran intrusivos, en su mayoría de composición intermedia del Cretáceo superior.

En el mismo lugar, sobre el que está situada la ciudad de Lima, aparecen rocas Volcánicas de la formación Casma del Cretáceo medio; rocas sedimentarias compactadas de areniscas; lutitas y calizas de formaciones la Herradura, Marcavilca, Pamplona y Atocongo del Cretáceo inferior

La ciudad de Lima se emplaza en el cono de deyección del río Rímac. Al norte, limita con el cono de deyección del río Chillón; al sur, con las arenas de la playa Conchán, arenas de Villa El Salvador, elevaciones de los cerros de las Casuarinas, los Álamos, ate y Vitarte; y al NE, con los cerros de Comas,

Independencia, el Rímac, cerro San Cristóbal y los cerros de San Juan de Lurigancho.

El área de influencia del tramo en estudio se enmarca aguas arriba de las bocatomas 1 y 2 que están en el cauce del río Rímac, y forman parte de la planta de agua potable “La Atarjea” en el distrito de El Agustino, ciudad de Lima. Con las siguientes coordenadas: Este (X) 285987.624, Norte (Y) 8669828.945; hasta las siguientes coordenadas: Este (X) 288169.588, Norte (Y) 8670482.902. Como referencia se considera el tramo del kilómetro 2 al 8 de la autopista Ramiro Prialé. Ver figura 40.



Figura 40.- Imagen satelital del sector donde se ubican las pantallas de infiltración.

Fuente: Propuesta técnica para el control de erosión en el río Rímac, 2017, p101

En general, la cuenca está cubierta por formaciones sedimentarias y volcánicas elásticas de las eras del jurásico al terciario, rocas intrusivas de las eras del Cretáceo al terciario y también depósitos del cuaternario.

Las formaciones del jurásico están expuestas en la parte norte de Lima, y se extienden en dirección NO-SE a lo largo de la costa del Pacífico. Las formaciones del Cretáceo se distribuyen en dirección Norte-Oeste, y aparecen de manera irregular en la cuenca del río Rímac. Se componen de caliza asociada con margas, esquisto y cuarzita. Algunas facies volcánicas, sin embargo

consistentes en lava y volcánico predominantemente andesíticos, están expuestas en el área costera.

Los grupos y formaciones terciarias están distribuidos extensamente en los tramos medios y superiores. Estos se dividen en tres zonas: inferior, la media y la superior. Las rocas de esta era se caracterizan por la presencia de materiales predominantemente volcánicos.

Los extrusivos de la zona inferior a la mitad inferior de la zona media, son facies andesíticas consistentes principalmente de lavas, brechas y todas intercaladas con arenisca tobácea, toba lapilli, arenisca y lutita litificada.

Rocas andesíticas y basálticas en el horizonte más alto de la zona superior. Estas rocas son probablemente de la era Mio-Plioceno.

Rocas intrusivas se encuentran en la zona occidental de la Cordillera Occidental. Estas intrusivas consisten en granito, granodiorita y tonalita de las eras del cretáceo y terciaria, y andesita del Cretáceo. En el área terciaria se encuentran cuerpos intrusivos tales como andesita, riódacita, y traquiandesita.

Los depósitos del cuaternario, divididos en Pleistoceno y Holoceno, consisten en terrazas de niveles variados, glaciares, y depósitos fluviales y de talud recientes. Los depósitos que forman el suelo de Lima son los de más grande escala entre ellos. Se encuentran pilas gruesas de arena y grava con arcilla. La mayoría de los depósitos son presumiblemente de la era del Pleistoceno y están cubiertos por depósitos de abanico del río Rímac.

La cuenca está situada en la zona de clima árido o semi-árido con menor vegetación. Además, las montañas de cuenca que se levantaron durante el terciario están acompañadas de diversas fallas y fracturas. En tal virtud, la cuenca está severamente expuesta al intemperismo, haciéndola vulnerable a diversos desastres. Ver figura 41.



Figura 41.- Depósitos cuaternarios presentes.

Fuente: Propuesta técnica para el control de erosión en el río Rímac, 2017, p82

Las terrazas fluviales formadas en el pleistoceno se encuentran en varios lugares a lo largo de los ríos Rímac y Santa Eulalia. En la figura 42 se observa el mapa geológico de la zona de estudio.

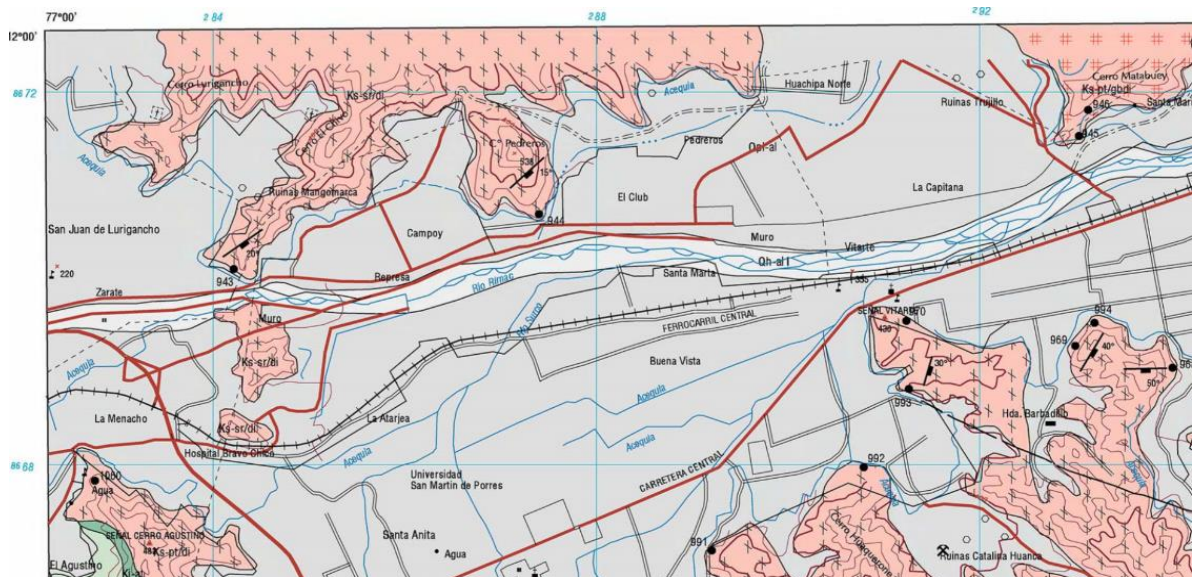


Figura 42.- Geología regional de la zona de estudio

Fuente: Propuesta técnica para el control de erosión en el río Rímac, 2017, p101

La secuencia estratigráfica en la zona de estudio comprende unidades litológicas que van desde el Cretáceo inferior hasta el cuaternario reciente basado en los

levantamientos geológicos realizados por el INGEMMET se describen las siguientes características geológicas que afloran en la zona de estudio.

Formación Pamplona (Ki-pa): es la unidad geológica más antigua observada en la zona de estudio, se encuentran conformado por limoarcillas abigarradas finamente estratificadas con intercalaciones de calizas y mangas. Se encuentra datada en el Cretáceo inferior. Su ubicación geológica lo coloca infra yaciendo a la formación atocongo.

Formación Atocongo (Ki-at): la presente unidad geológica se encuentra sobre yaciendo a la formación Pamplona, se encuentran conformada por calizas masivas bioclásticas y micritas de color gris claro a café medio. Se encuentra datada en el Cretáceo inferior.

Depósitos cuaternarios

Depósitos Aluviales Pleistocénicos (Qpl-al): son los materiales más antiguos dentro del cuaternario, conformados por conglomerados gravas y arenas que pertenecen al cono deyectivo del río Rímac, cuyo grosor supera los cientos de metros.

Depósitos Aluviales Holocénicos (Qh-al): Acumulaciones de conglomerados y gravas, provenientes de quebradas y ríos esporádicos y no continuos.

Rocas intrusivas.

Dioritas (ks-sr/di): Pertenece a la Súper Unidad Santa Rosa presentan una coloración grisácea oscura, textura holocristalina de grano medio, variando a grueso y destacando las plagioclasas blancas dentro de una masa oscura. Por sectores se observa la presencia de halos de tonalitas de coloración gris.

La intrusión de estas rocas profundas ha dado lugar a un metamorfismo en las unidades sedimentarias y volcánicas que se encuentran cerca de los contactos, generando pizarras y meta-andesitas.

En la figura 43 se observa las unidades geomorfológicas de la zona de estudio.



Figura 43.- unidades geomorfológicas nótese la zona de estudio.

Fuente: Propuesta técnica para el control de erosión en el río Rímac, 2017, p101

#### 4.6.1 Perfil estratigráfico

Manrique (2017) realiza la elaboración de calicatas obteniendo el perfil estratigráfico del suelo en el río Rímac.

Para elaborar el perfil estratigráfico es necesario tener la información geológica, (calicatas, resultados de ensayos, trincheras, etc.).

Tomamos en referencia las calicatas que se obtuvieron en la tesis de propuesta técnica para el control de erosión en el río Rímac del tramo urbano.

##### Estratigrafía C-1.-

0.00-0.80 (GP): Grava mal gradada con matriz de arena y limo no plástico de color marrón oscuro. Presencia de nivel Freático.

0.80-2.00 (GP): Grava mal gradada con matriz de arena y limo no plástico de color marrón claro. Contenido de humedad media a alta, compacidad media a alta.

### Estratigrafía C-2.-

0.10-1.00 (GP): Grava mal agradada de forma sub redondeada con matriz de arena y limo no plástico de color marrón con tendencia a color naranja. Contenido de humedad media a alta, compacidad media a alta. Bolonería tamaño >4" 30% aproximadamente.

1.00-2.50 (GW): Grava bien gradada de forma redondeada y sub redondeada con matriz de arena limosa de color marrón. Compacidad de media a alta. Medio a alto contenido de humedad.

### Estratigrafía C-3.-

0.10-0.20 (SM): Arena limosa de color gris. Bajo contenido de humedad, baja compacidad.

0.20-0.50 (GP-GM): Grava mal gradada de forma redondeada con matriz de arena y limo de color beige. Compacto bajo contenido de humedad.

0.50-2.50 (GP-GM): Grava bien gradada de forma redondeada y sub redondeada con matriz de arena limosa de color marrón claro. Compacidad de media a alta. Humedad baja a media.

### Estratigrafía C-4.-

0.10-0.20 (SM): Arena limosa de color gris. Bajo contenido de humedad baja compacidad.

0.20-2.50 (GP-GM): Grava mal gradada de forma redondeada con matriz de arena y limo de color marrón. Compacto bajo contenido de humedad.

### Estratigrafía C-5.-

0.10-0.30 (SM): Arena limosa de color gris. Bajo contenido de humedad, baja compacidad. 0.30-2.50 (GP-GM): Grava mal gradada de forma redondeada con matriz de arena y limo de color marrón de baja o nula plasticidad. Compacidad media a alta. Humedad media a alta.



En la siguiente figura 44 se aprecia el perfil estratigráfico obtenido para cada calicata.

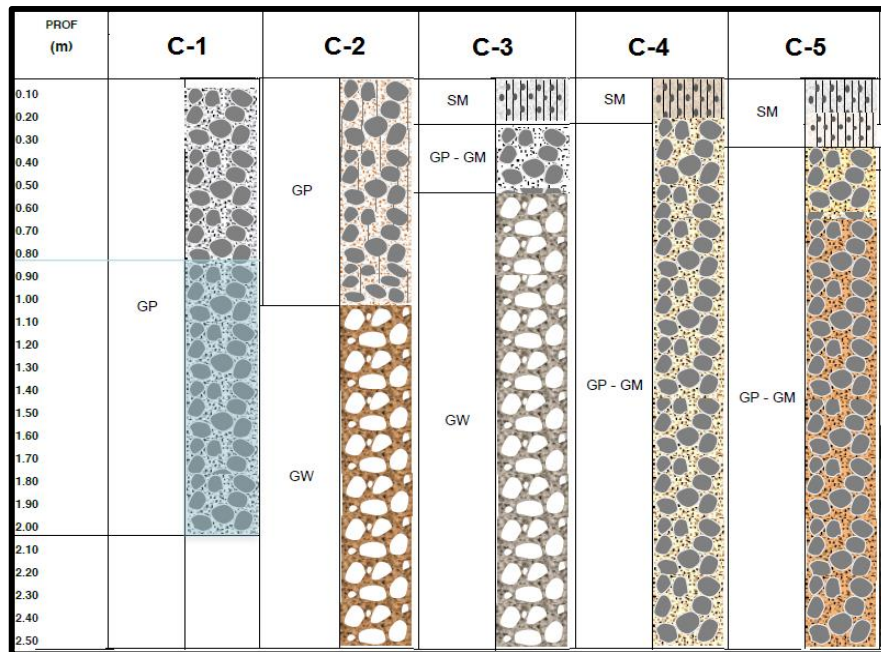


Figura 44.- Perfil estratigráfico de las 5 calicatas en la zona de estudio.

Fuente: Propuesta técnica para el control de erosión en el río Rímac, 2017, p101

**Tabla 18:**

Evaluación de muestra de calicata.

Calicata N°	Prof. (m)	Coordenadas	
		Este	Sur
<b>C-01</b>	2.50	284352.77	8669862.23
<b>C-02</b>	2.50	284192.67	8669841.95
<b>C-03</b>	2.50	284038.87	8669754.43
<b>C-04</b>	2.50	283920.82	8669783.20
<b>C-05</b>	2.50	283724.52	8669757.44

Fuente: Propuesta técnica para el control de erosión en el río Rímac, 2017, p90

En la figura 45, se observa la ubicación de las calicatas que se hicieron en el tramo de estudio del río Rímac.



Figura 45.- Ubicación de las cinco calicatas en el tramo de estudio del río Rímac.

Fuente: Propuesta técnica para el control de erosión en el río Rímac, 2017, p101

#### **4.7 Drenaje de pantallas para la exploración**

Las pantallas de infiltración son elementos estructurales (muros de contención) cuyo objetivo es retener el agua del río durante todo el año y que mediante la infiltración se incremente el volumen de la napa freática, lo que permite abastecer de manera constante a los pozos subterráneos que se encuentran en el área de influencia y, de estos a los reservorios elevados para finalmente suministrar a la población.

**Tabla 19:**

Cálculos de reserva de aguas subterráneas en los valles costeros del Perú.

Nº ORDEN	VALLE	RESERVAS RACIONALMENTE EXPLOTABLES MMC/AÑO	VOLUMEN EXPLOTADO POR POZOS				RESERVAS POTENCIALMENTE EXPLOTABLES		MÉTODO CÁLCULO
			Nº POZOS UTILIZADOS	AÑO	MMC/AÑO	%	MMC/AÑO	%	
1	Zarumilla	32,00	68	2002	6,15	19%	25,85	81%	Balance
2	Tumbes	38,80	31	2006	1,83	5%	36,97	95%	Estimado
3	Qda. Casitas Bocapan	6,14	36	2006	4,53	74%	1,61	26%	Balance
4	Alto Piura	140,00	519	2002	35,70	26%	104,30	75%	Modelo (2006)
5	Medio y Bajo Piura (acuifero confinado)	140,00	104	2004	42,90	31%	97,10	69%	Estimado
6	Olmos Cascajal	39,69	452	2007	49,00	123%	0,00	0%	Modelo (2006)
7	Motupe	42,00	409	2008	45,51	108%	0,00	0%	Modelo (2006)
8	Leche	37,00	733	2008	44,12	119%	0,00	0%	Modelo (2006)
9	Chancay-Lambayeque	341,00	1132	2003	93,17	27%	247,83	73%	Estimado
10	Zaña	15,80	326	2004	3,03	19%	12,77	81%	Modelo (2006)
11	Jequetepeque	159,14	1381	2004	15,00	9%	144,14	91%	Modelo
12	Chicama	226,74	1691	2007	256,32	113%	0,00	0%	Modelo (2007)
13	Moche	76,00	712	2004	17,30	23%	58,70	77%	Balance
14	Víru	78,84	1139	1998	10,00	13%	68,84	87%	Modelo (2007)
15	Chao	31,54	318	1998	1,27	4%	30,27	96%	Modelo (2007)
16	Santa	77,00	171	2001	4,75	6%	72,25	94%	Balance
17	Lacramarca	93,00	131	2001	20,60	22%	72,40	78%	Balance
18	Nepeña	63,00	149	1999	3,10	5%	59,90	95%	Modelo (2007)
19	Casma	31,54	393	2005	22,00	70%	9,54	30%	Modelo (2006)
20	Culebras	6,21	60	2006	5,60	90%	0,61	10%	Modelo (2006)
21	Huarmey	7,72	310	2002	5,37	70%	2,35	30%	Modelo (2006)
22	Fortaleza	15,77	66	2005	12,80	81%	2,97	19%	Balance
23	Pativilca	31,54	125	2005	1,81	6%	29,73	94%	Balance
24	Chancay-Huaral	101,80	3209	2001	15,05	15%	86,75	85%	Balance
25	Chillón	63,07	373	2008	55,03	87%	8,04	13%	Balance
26	Rímac	126,14	1341	2008	153,64	122%	0,00	0%	Balance
27	Lurín	21,44	939	2007	15,44	72%	6,00	28%	Modelo
28	Asia-Omas	4,00	98	2002	4,42	111%	0,00	0%	Balance (2008)
29	Mala	59,91	269	2002	8,69	15%	51,22	85%	Balance
30	Chincha	130,00	489	2000	38,68	30%	91,32	70%	Balance
31	Cañete	102,00	468	2001	4,52	4%	97,48	96%	Balance
32	Pisco	42,00	288	2003	24,62	59%	17,38	41%	Balance
33	Ica	252,29	1154	2007	543,15	215%	0,00	0%	Modelo(2005)
34	Palpa	17,30	194	2000	14,60	84%	2,70	16%	Modelo (2007)
35	Nasca	63,00	681	2004	60,37	96%	2,63	4%	Modelo (2008)
36	Acarí	6,30	102	1998	4,74	75%	1,56	25%	Modelo(2006)
37	Chili	78,84	378	2002	3,31	4%	75,53	96%	Modelo(2008)
38	Moquegua	4,64	32	2003	0,59	13%	4,05	87%	Estimado
39	Caplina	46,00	127	2002	62,78	136%	0,00	0%	Modelo(2005)
	<b>TOTAL</b>	<b>2 849,19</b>	<b>20,598</b>		<b>1 711,49</b>		<b>1 522,78</b>		

Fuente: Dirección de conservación y planteamiento de recursos hídrico – Ministerio de agricultura

#### 4.8 Análisis hidráulico

El área de captación del río Rímac es de aproximadamente 3583 km<sup>2</sup>, cuya altura varía desde el nivel de mar hasta los 4850 m.s.n.m. la longitud del curso principal es de 143 km hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

El río principal se divide aguas arriba de Chosica en dos tributarios, el río Santa Eulalia y el río Rímac. El tramo cuya altura es superior a los 2500 m.s.n.m. corresponde a la cuenca Húmeda y produce recursos hídricos, diferenciándose dos estaciones, la húmeda de Noviembre hasta Abril y la estación seca (estiaje) de Abril hasta Octubre.

Gracias al aporte de agua del río Rímac, los once millones de habitantes de Lima pueden satisfacer sus necesidades de abastecimiento.

Es imprescindible investigar el tramo fluvial entre la progresiva (3+658 km hasta 0+000 km, en la estación de Chosica), para obtener los registros de caudales y poder utilizar estos datos en nuestro programa PLAXIS, el tramo estudiado presenta una sinuosidad 1,057, lo cual indica que el cauce es recto, el aporte de sedimento es de lecho de fondo y la mayor socavación se produce en el cauce.

El presente análisis se constituye con base a la información precedente existente para uno de los más importantes ríos como es el caso del río Rímac.

A continuación, describiremos los cuadros y gráficos del análisis hidráulico.

En el cuadro uno se indica el registro histórico de caudales entre los años de 1979 – 2008, con estos datos realizamos el histograma histórico de la estación de Chosica. En el cuadro dos, anotamos los datos de precipitaciones máximos en 24 horas de la estación de Chosica; con estos datos podemos obtener los valores de P24, y verificar que se encuentran dentro de los límites PH y PL. Con el cuadro 3 se prueba la bondad del ajuste – gráfica de probabilidades, y se realiza los gráficos estadísticos NORMAL, GUMBEL, LOG NORMAL, PEARSON TIPO III, LOG PEARSON TIPO III. En el cuadro 4 se realizó la prueba de bondad kolmogorov – smirnov. En el cuadro 5 obtuvimos los caudales máximos anuales para diferentes periodos de retorno, y se realizó sus respectivos gráficos.

## REGISTRO HISTORICO - ESTACIÓN CHOSICA

Estación: Chosica/202909/DRE-04

Longitud: 76° 41' 'W', Dpto. Lima.

Parámetro: Descarga máximas absolutas (m<sup>3</sup>/s),

Latitud: 11° 55' 'S', Prov. Lima.

Altitud: 906 msnm, Dist. Lurigancho

**Tabla 20:**

Registro Histórico, estación Chosica.

AÑO		FECHA	DESCARGA (m <sup>3</sup> /s)
1979	1980	27-ene	101.100
1980	1981	07-feb	132.000
1981	1982	05-feb	76.200
1982	1983	08-abr	108.000
1983	1984	13-feb	167.300
1984	1985	S/D	S/D
1985	1986	29-ene	164.200
1986	1987	10-mar	186.500
1987	1988	02-feb	73.937
1988	1989	17-mar	85.233
1989	1990	21-ene	61.309
1990	1991	17-mar	84.750
1991	1992	19-mar	56.659
1992	1993	07-feb	182.213
1993	1994	04-mar	168.198
1994	1995	12-mar	89.101
1995	1996	19-feb	127.497
1996	1997	23-feb	90.153
1997	1998	14-mar	200.073
1998	1999	22-feb	164.226
1999	2000	02-mar	127.255
2000	2001	10-mar	125.652
2001	2002	17-mar	88.774
2002	2003	08-mar	163.003
2003	2004	12-feb	101.373
2004	2005	06-ene	99.182
2005	2006	30-mar	117.830
2006	2007	13-feb	128.638
2007	2008	21-feb	101.601
<b>PROMEDIO</b>			120.43
<b>DESV. EST.</b>			40.26
<b>MÁXIMO</b>			200.07
<b>MÍNIMO</b>			56.66
<b>Nº Datos</b>			28.00

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad.

En la siguiente figura 46, se observa el histograma histórico de la estación de Chosica.

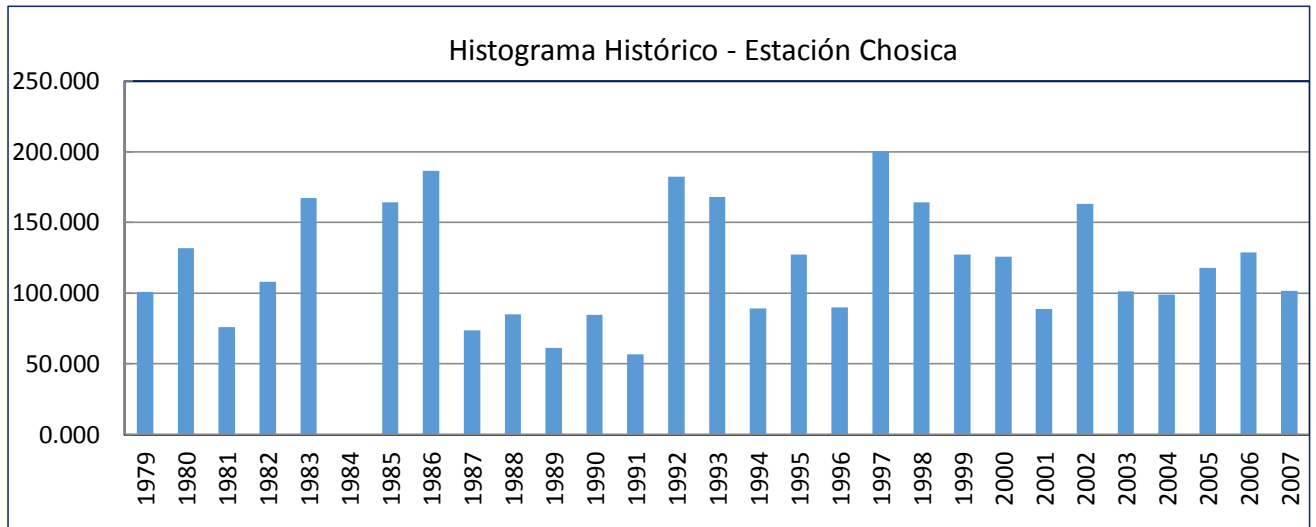


Figura 46: histograma histórico de la estación de Chosica.

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad.

**PRUEBA DE DATOS DUDOSOS (Método Water Resources Council)**

$$N = 28 \quad ; \quad Kn = 2.534^*$$

Kn: valor recomendado, varía según el valor de n (significancia 10%)

- Umbral de datos dudosos altos (XH: unid. Logarítmicas)

$$x_H = \bar{x} + Kn \cdot s \quad \text{XH} = 2.4344$$

Precipitación máxima aceptada

$$PH = 10^{x_H} \quad \text{PH} = 271.9 \text{ mm}$$

- Umbral de datos dudosos bajos (XL: unid. Logarítmicas)

$$x_L = \bar{x} - Kn \cdot s \quad \text{XL} = 1.6789456$$

Precipitación máxima aceptada

$$PL = 10^{x_L} \quad \text{PL} = 47.7 \text{ mm}$$

Nota: Se observa que todos los valores P24 están dentro de los límites PH Y PL, es decir se encuentran entre 47.7 y 271.90 mm. **No existen datos dudosos.**

**\*Referencia: Tabla 12.5.3 – Hidrología Aplicada, Ven Te Chow.**

**DATOS DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS**  
**ESTACIÓN CHOSICA**

**Tabla 21:**

Precipitación máxima – estación de Chosica.

Nº	AÑO			ORDEN	P24	log(P24)
1	1979	18	1	18	101.10	2.0048
2	1980	9	1	9	132.00	2.1206
3	1981	25	1	25	76.20	1.8820
4	1982	15	1	15	108.00	2.0334
5	1983	5	1	5	167.30	2.2235
6	1984	S/D	1	S/D	S/D	S/D
7	1985	7	1	7	164.20	2.2154
8	1986	2	1	2	186.50	2.2707
9	1987	26	1	26	73.94	1.8689
10	1988	23	1	23	85.23	1.9306
11	1989	27	1	27	61.31	1.7875
12	1990	24	1	24	84.75	1.9281
13	1991	28	1	28	56.66	1.7533
14	1992	3	1	3	182.21	2.2606
15	1993	4	1	4	168.20	2.2258
16	1994	21	1	21	89.10	1.9499
17	1995	11	1	11	127.50	2.1055
18	1996	20	1	20	90.15	1.9550
19	1997	1	1	1	200.07	2.3012
20	1998	6	1	6	164.23	2.2154
21	1999	12	1	12	127.26	2.1047
22	2000	13	1	13	125.65	2.0992
23	2001	22	1	22	88.77	1.9483
24	2002	8	1	8	163.00	2.2122
25	2003	17	1	17	101.37	2.0059
26	2004	19	1	19	99.18	1.9964
27	2005	14	1	14	117.83	2.0713
28	2006	10	1	10	128.64	2.1094
29	2007	16	1	16	101.60	2.0069

Mínimo valor histórico registrado

Máximo valor histórico registrado

	P24	Log (P24)
Numero de datos n	28	28
Suma $\Sigma$	3372.0	57.5863
Máximo	200.1	2.3012
Mínimo	56.7	1.7533
Promedio $\bar{x}$	120.4	2.0567
Desviación estándar s	40.2637	0.1491
Coficiente asimetria Cs	0.3820	-0.1540
Cs/6 k	0.0637	-0.0257

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón amistad

## PRUEBA DE LA BONDAD DEL AJUSTE – GRÁFICA DE PROBABILIDAD

	<b>P24</b>	<b>log(P24)</b>
Numero de datos: <b>n</b>	28	
Promedio: <b>x</b>	120.43	2.06
Desviación estándar: <b>s</b>	40.26	0.15
Coficiente asimetría: <b>Cs</b>	0.38	-0.15
Cs/6: <b>k</b>	0.06	-0.03

**Tabla 22:**

Prueba de bondad del ajuste.

N	T	P(X≤t)	VALOR OBSERVADO		NORMAL			GUMBEL			LOGNORMAL			PEARSON III		LOGPEARSON III		
			Q	log(P24)	K <sub>r</sub>	ESPERADO	K <sub>r</sub>	ESPERADO	K <sub>r</sub>	ESPERADO	K <sub>r</sub>	ESPERADO	K <sub>r</sub>	ESPERADO	K <sub>r</sub>	ESPERADO		
1	29.00	3.45%	200.1	2.3012	1.8186	193.7	6.42	2.1618	207.5	-7.40	1.8186	212.7	-7.40	1.9584	199.3	0.80	1.7584	208.3
2	14.50	6.90%	186.5	2.2707	1.4835	180.2	6.34	1.6073	185.1	1.36	1.4835	189.6	1.36	1.5521	182.9	3.58	1.4515	187.5
3	9.67	10.34%	182.2	2.2606	1.2621	171.2	10.97	1.2767	171.8	10.38	1.2621	175.7	10.38	1.2923	172.5	9.76	1.2457	174.7
4	7.25	13.79%	168.2	2.2258	1.0897	164.3	3.90	1.0374	162.2	6.00	1.0897	165.6	6.00	1.0945	164.5	3.70	1.0837	165.3
5	5.80	17.24%	167.3	2.2235	0.9447	158.5	8.84	0.8479	154.6	12.73	0.9447	157.6	12.73	0.9313	157.9	9.37	0.9464	157.7
6	4.83	20.69%	164.2	2.2154	0.8172	153.3	10.89	0.6898	148.2	16.03	0.8172	150.8	16.03	0.7903	152.2	11.98	0.8248	151.2
7	4.14	24.14%	164.2	2.2154	0.7019	148.7	15.51	0.5530	142.7	21.51	0.7019	145.0	21.51	0.6645	147.2	17.02	0.7140	145.6
8	3.63	27.59%	163.0	2.2122	0.5952	144.4	18.61	0.4316	137.8	25.20	0.5952	139.8	25.20	0.5497	142.6	20.44	0.6110	140.5
9	3.22	31.03%	132.0	2.1206	0.4949	140.4	-8.35	0.3219	133.4	-1.39	0.4949	135.0	-1.39	0.4432	138.3	-6.27	0.5106	135.9
10	2.90	34.48%	128.6	2.1094	0.3993	136.5	-7.87	0.2211	129.3	-0.69	0.3993	130.7	-0.69	0.3429	134.2	-5.59	0.4204	131.6
11	2.64	37.93%	127.5	2.1055	0.3073	132.8	-5.30	0.1272	125.6	1.95	0.3073	126.6	1.95	0.2474	130.4	-2.89	0.3301	127.6
12	2.42	41.38%	127.3	2.1047	0.2178	129.2	-1.94	0.0390	122.0	5.26	0.2178	122.8	5.26	0.1557	126.7	0.56	0.2419	123.8
13	2.23	44.83%	125.7	2.0992	0.1300	125.7	-0.01	-0.0448	118.6	7.03	0.1300	119.1	7.03	0.0666	123.1	2.54	0.1551	120.2
14	2.07	48.28%	117.8	2.0713	0.0432	122.2	-4.34	-0.1252	115.4	2.44	0.0432	115.6	2.44	-0.0204	119.6	-1.78	0.0688	116.7
15	1.93	51.72%	108.0	2.0334	-0.0432	118.7	-10.69	-0.2028	112.3	-4.26	-0.0432	112.3	-4.26	-0.1062	116.2	-8.15	-0.0176	113.2
16	1.81	55.17%	101.6	2.0069	-0.1300	115.2	-13.59	-0.2783	109.2	-7.62	-0.1300	109.0	-7.62	-0.1913	112.7	-11.12	-0.1046	109.9
17	1.71	58.62%	101.4	2.0059	-0.2178	111.7	-10.28	-0.3525	106.2	-4.86	-0.2178	105.7	-4.86	-0.2764	109.3	-7.92	-0.1931	106.6
18	1.61	62.07%	101.1	2.0048	-0.3073	108.1	-6.95	-0.4258	103.3	-2.18	-0.3073	102.5	-2.18	-0.3623	105.8	-4.74	-0.2837	103.4
19	1.53	65.52%	99.2	1.9964	-0.3993	104.3	-5.17	-0.4989	100.3	-1.16	-0.3993	99.3	-1.16	-0.4495	102.3	-3.15	-0.3773	100.1
20	1.45	68.97%	90.2	1.9550	-0.4949	100.5	-10.35	-0.5725	97.4	-7.22	-0.4949	96.1	-7.22	-0.5389	98.7	-8.58	-0.4749	96.8
21	1.38	72.41%	89.1	1.9499	-0.5952	96.5	-7.36	-0.6473	94.4	-5.26	-0.5952	92.9	-5.26	-0.6316	95.0	-5.90	-0.5779	93.4
22	1.32	75.86%	88.8	1.9483	-0.7019	92.2	-3.39	-0.7242	91.3	-2.49	-0.7019	89.5	-2.49	-0.7288	91.1	-2.31	-0.6880	90.0
23	1.26	79.31%	85.2	1.9306	-0.8172	87.5	-2.29	-0.8045	88.0	-2.80	-0.8172	86.1	-2.80	-0.8324	86.9	-1.68	-0.8078	86.3
24	1.21	82.76%	84.8	1.9281	-0.9447	82.4	2.36	-0.8899	84.6	0.15	-0.9447	82.4	0.15	-0.9450	82.4	2.37	-0.9409	82.5
25	1.16	86.21%	76.2	1.8820	-1.0897	76.6	-0.35	-0.9830	80.8	-4.65	-1.0897	78.4	-4.65	-1.0707	77.3	-1.12	-1.0933	78.3
26	1.12	89.66%	73.9	1.8689	-1.2621	69.6	4.33	-1.0888	76.6	-2.65	-1.2621	73.9	-2.65	-1.2171	71.4	2.51	-1.2761	73.5
27	1.07	93.10%	61.3	1.7875	-1.4835	60.7	0.61	-1.2170	71.4	-10.12	-1.4835	68.5	-10.12	-1.3998	64.1	-2.76	-1.5131	67.8
28	1.04	96.55%	56.7	1.7533	-1.8186	47.2	9.46	-1.3967	64.2	-7.53	-1.8186	61.0	-7.53	-1.6658	53.4	3.30	-1.8768	59.8

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad.

T: Periodo de retorno en años.

P: Probabilidad de ocurrencia.



En la siguiente figura 47, se observa los gráficos de los ajustes de la prueba de bondad.

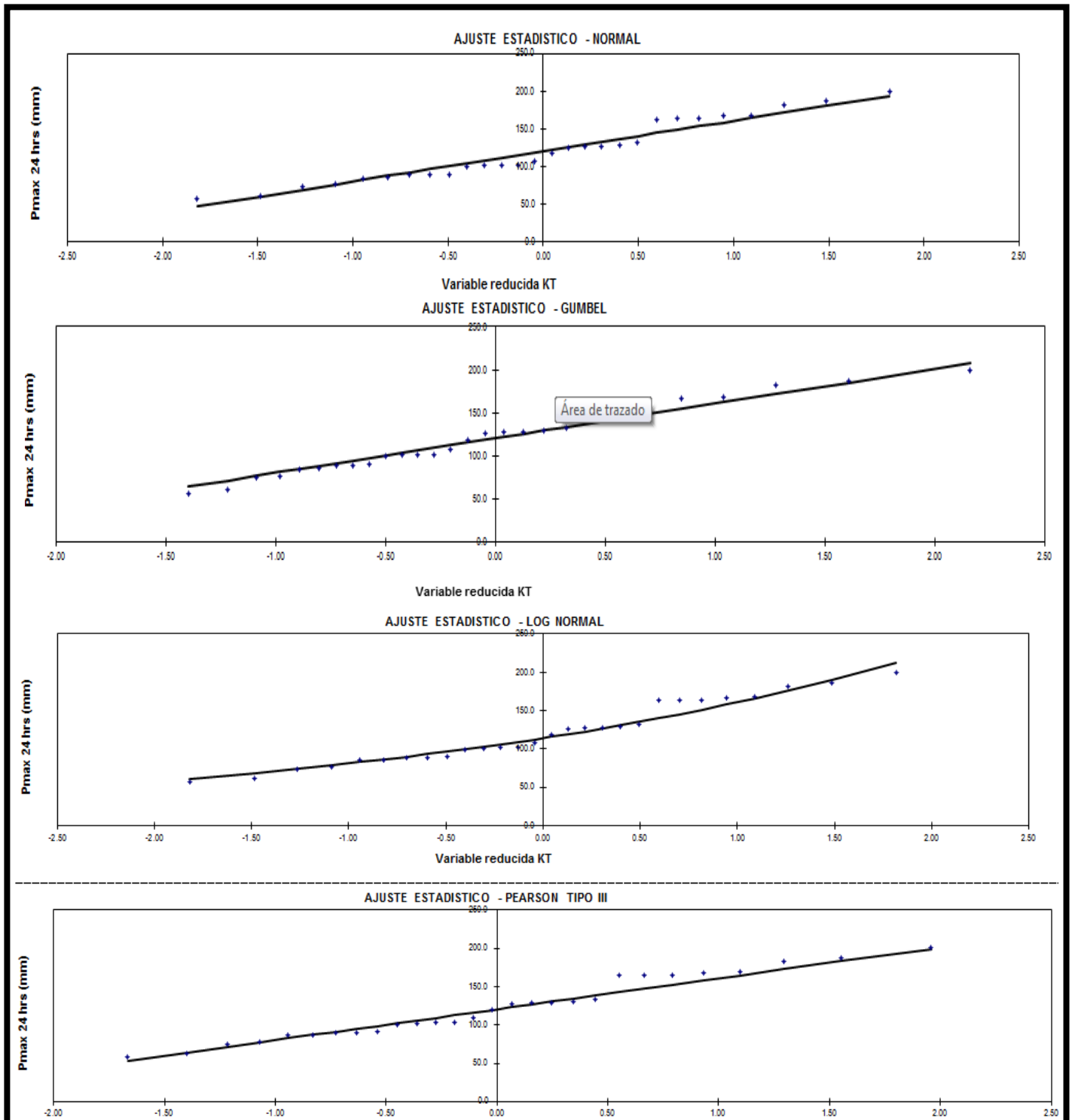


Figura 47: gráficos de los ajustes de la prueba de bondad.

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad

**PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE KOLMOGOROV – SMIRNOV**  
**ESTACIÓN CHOSICA**

**Tabla 23:**

Prueba de bondad del ajuste Kolmogorov – Smirnov (estación chosica).

m	$x_m$	$F_o(x_m)$	$F(x_m)$ Normal	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ Normal	$F(y_m)$ Log - Normal	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log - Normal	$F(y_m)$ Pearson III	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Pearson III	$F(y_m)$ Log Pearson III	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log Pearson III	$F(x_m)$ Gumbel	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ Gumbel
1	200.07	0.965517	0.97604163	0.01052	0.949557	0.01596	0.966634	0.00112	0.954342	0.01118	0.9566	0.00896
2	186.50	0.931034	0.94960169	0.01857	0.924483	0.00655	0.940380	0.00935	0.928585	0.00245	0.9339	0.00282
3	182.21	0.896552	0.93755045	0.04100	0.914365	0.01781	0.929118	0.03257	0.918100	0.02155	0.9245	0.02800
4	168.20	0.862069	0.88227788	0.02021	0.871800	0.00973	0.878925	0.01686	0.873538	0.01147	0.8846	0.02255
5	167.30	0.827586	0.87781799	0.05023	0.868503	0.04092	0.875021	0.04743	0.870208	0.04262	0.8815	0.05390
6	164.23	0.793103	0.86165862	0.06856	0.856632	0.06353	0.860747	0.06764	0.857622	0.06452	0.8701	0.07701
7	164.20	0.758621	0.861516	0.10290	0.856528	0.09791	0.860619	0.10200	0.857595	0.09897	0.8700	0.11140
8	163.00	0.724138	0.85484156	0.13070	0.851649	0.12751	0.854645	0.13051	0.852246	0.12811	0.8653	0.14118
9	132.00	0.689655	0.61310803	0.07655	0.665983	0.02367	0.635216	0.05444	0.658363	0.03129	0.6782	0.01148
10	128.64	0.655172	0.58079569	0.07438	0.638210	0.01696	0.604451	0.05072	0.629783	0.02539	0.6490	0.00613
11	127.50	0.620690	0.56969248	0.05100	0.628438	0.00775	0.593617	0.02707	0.619865	0.00082	0.6387	0.01806
12	127.26	0.586207	0.56733014	0.01888	0.626343	0.04014	0.591763	0.00556	0.617616	0.03141	0.6365	0.05033
13	125.65	0.551724	0.55162519	0.00010	0.612272	0.06055	0.576384	0.02466	0.603310	0.05159	0.6216	0.06992
14	117.83	0.517241	0.47428582	0.04296	0.539025	0.02178	0.499532	0.01771	0.528589	0.01135	0.5434	0.02617
15	108.00	0.482759	0.37879739	0.10396	0.438081	0.04468	0.400160	0.08260	0.427903	0.05486	0.4342	0.04851
16	101.60	0.448276	0.32004682	0.12823	0.369267	0.07901	0.336678	0.11160	0.359834	0.08844	0.3596	0.08867
17	101.37	0.413793	0.31802435	0.09577	0.366800	0.04699	0.334453	0.07934	0.357409	0.05638	0.3569	0.05685
18	101.10	0.379310	0.31560984	0.06370	0.363846	0.01546	0.331634	0.04768	0.354361	0.02495	0.3537	0.02557
19	99.18	0.344828	0.29887227	0.04596	0.343105	0.00172	0.313381	0.03145	0.334028	0.01080	0.3313	0.01350
20	90.15	0.310345	0.22605767	0.08429	0.247586	0.06276	0.230597	0.07975	0.240511	0.06983	0.2293	0.08105
21	89.10	0.275862	0.21827636	0.05758	0.236901	0.03896	0.221504	0.05436	0.230045	0.04582	0.2181	0.05779
22	88.77	0.241379	0.21589206	0.02549	0.233607	0.00777	0.218642	0.02274	0.226743	0.01464	0.2146	0.02676
23	85.23	0.206897	0.19103533	0.01586	0.198883	0.00801	0.189824	0.01707	0.192927	0.01397	0.1786	0.02830
24	84.75	0.172414	0.18778632	0.01537	0.194295	0.02188	0.186018	0.01360	0.188463	0.01605	0.1739	0.00147
25	76.20	0.137931	0.1360077	0.00192	0.120593	0.01734	0.124721	0.01321	0.115515	0.02242	0.1006	0.03737
26	73.94	0.103448	0.12411944	0.02067	0.103859	0.00041	0.110578	0.00713	0.098895	0.00455	0.0847	0.01875
27	61.31	0.068966	0.07101551	0.00205	0.035494	0.03347	0.048451	0.02051	0.028939	0.04003	0.0249	0.04402
28	56.66	0.034483	0.05662439	0.02214	0.020907	0.01358	0.018948	0.01553	0.013851	0.02063	0.0138	0.02065
X	120.43											
S	40.26											
CS	0.382											
n	28		$\Delta_{m\acute{a}x}$	0.13070		0.12751		0.13051		0.12811		0.14118
$\alpha$	0.05		$\Delta_{crítico} > \Delta_{m\acute{a}x}$	Si se ajusta		Si se ajusta		Si se ajusta		Si se ajusta		Si se ajusta
$\Delta_{crítico}$	0.25070		Mejor Ajuste	4		1		3		2		5

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad.

## CAUDALES MÁXIMOS ANUALES

**Tabla 24:**

Caudales anuales máximos del río Rímac – estación de Chosica

0															
		Promedio: $x = 120.4270$			$y = 2.0567$			Coeficiente de corrección de Pmax por N° de lecturas (OMM)							
		Desviación estándar: $s = 40.2637$			$sy = 0.1491$			$f(2 \text{ lecturas}) = 1.13$							
		Cs/6: $k = 0.0637$			$k = -0.0257$										
T (años)	$P(X \leq x_T)$	DISTRIB. NORMAL		DISTRIB. GUMBELL		DISTRIB. LOGNORMAL			DISTRIB. PEARSON III		DISTRIB. LOG PEARSON III			$Q_{MAX}$ m <sup>3</sup> /s	$Q_{MAX}(\text{corregida})$ m <sup>3</sup> /s
		$K_T$	$x_T$	$K_T$	$x_T$	$K_T$	$x_T$	$10^4 x_T$	$K_T$	$x_T$	$K_T$	$X_t$	$10^4 x_T$		
2	0.500	0.0000	120.4	-0.1643	113.8	0.00	2.0567	113.9	-0.0634	117.9	0.0257	2.0605	114.9	113.9	128.74
5	0.800	0.8416	154.3	0.7195	149.4	0.84	2.1821	152.1	0.8171	153.3	0.8481	2.1831	152.4	152.1	171.86
10	0.900	1.2816	172.0	1.3046	173.0	1.28	2.2477	176.9	1.3148	173.4	1.2638	2.2450	175.8	176.9	199.87
20	0.950	1.6449	186.7	1.8658	195.6	1.64	2.3018	200.4	1.7457	190.7	1.5999	2.2951	197.3	200.4	226.41
25	0.960	1.7507	190.9	2.0438	202.7	1.75	2.3176	207.8	1.8747	195.9	1.6966	2.3095	204.0	207.8	234.79
50	0.980	2.0537	203.1	2.5923	224.8	2.05	2.3628	230.6	2.2529	211.1	1.9704	2.3504	224.1	230.6	260.53
100	0.990	2.3263	214.1	3.1367	246.7	2.33	2.4034	253.2	2.6043	225.3	2.2129	2.3865	243.5	253.2	286.08
200	0.995	2.5758	224.1	3.6791	268.6	2.58	2.4406	275.8	2.9353	238.6	2.4316	2.4191	262.5	275.8	311.65
300	0.997	2.7131	229.7	3.9959	281.3	2.71	2.4610	289.1	3.1214	246.1	2.5507	2.4368	273.4	289.1	326.68
500	0.998	2.8782	236.3	4.3947	297.4	2.88	2.4857	306.0	3.3489	255.3	2.6928	2.4580	287.1	306.0	345.73
1000	0.999	3.0902	244.9	4.9355	319.1	3.09	2.5173	329.1	3.6472	267.3	2.8733	2.4849	305.4	329.1	371.83

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad.

En la siguiente figura 48, se observa el histograma del caudal vs el periodo de retorno en años, de los máximos caudales anuales.

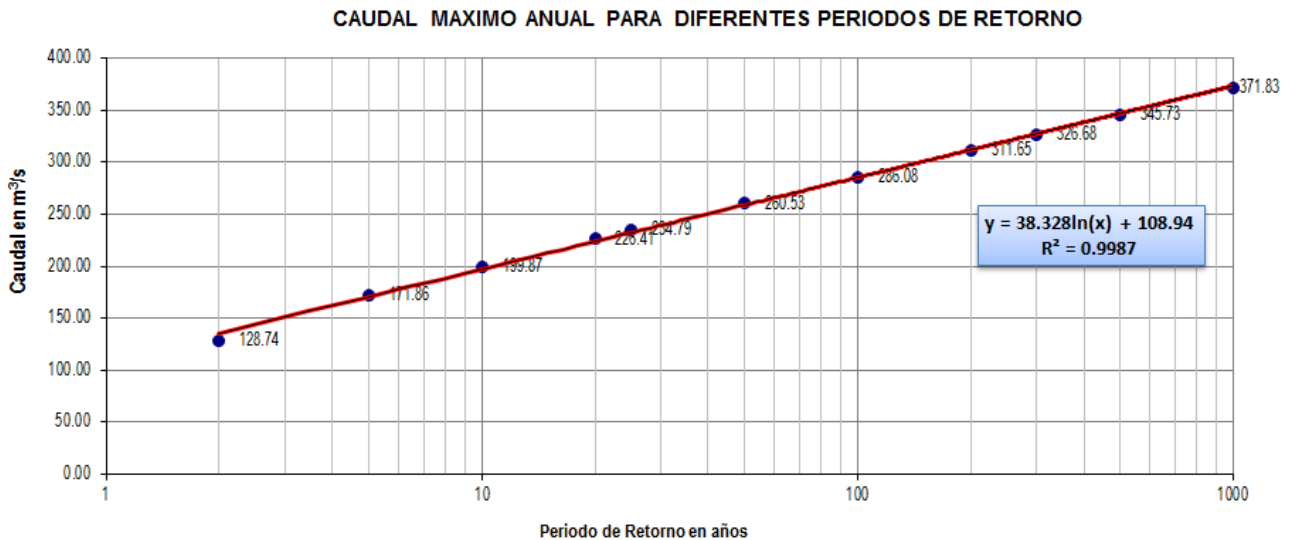
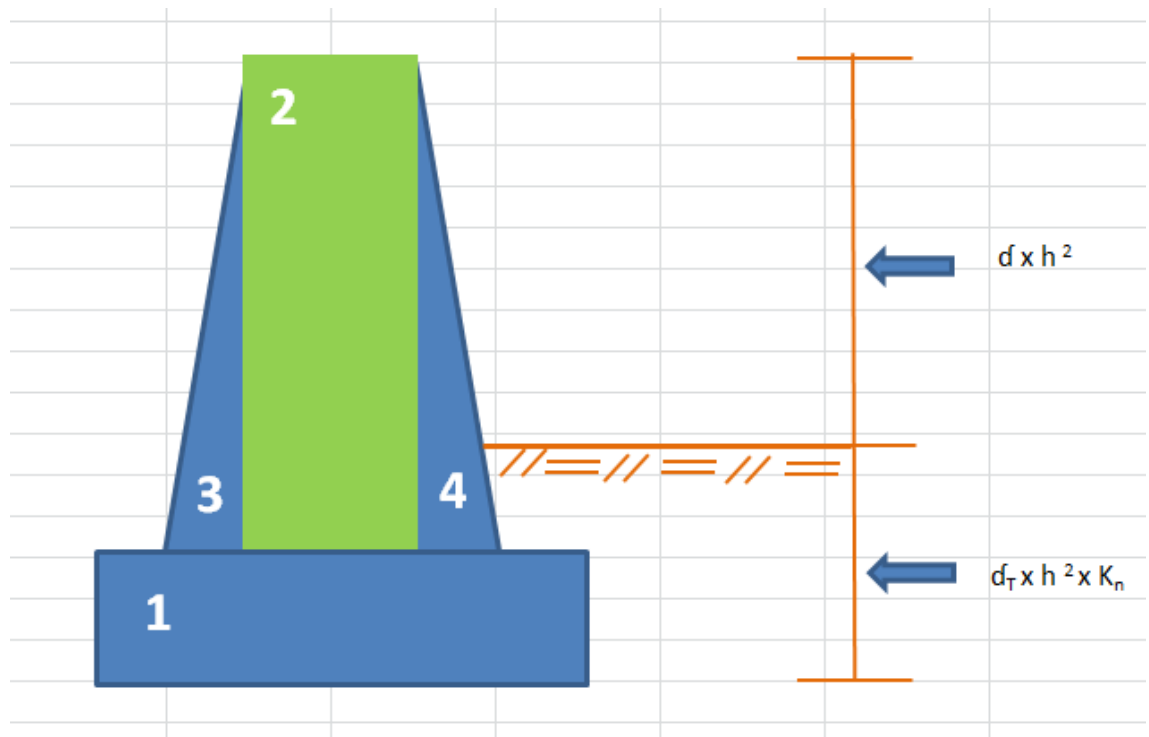
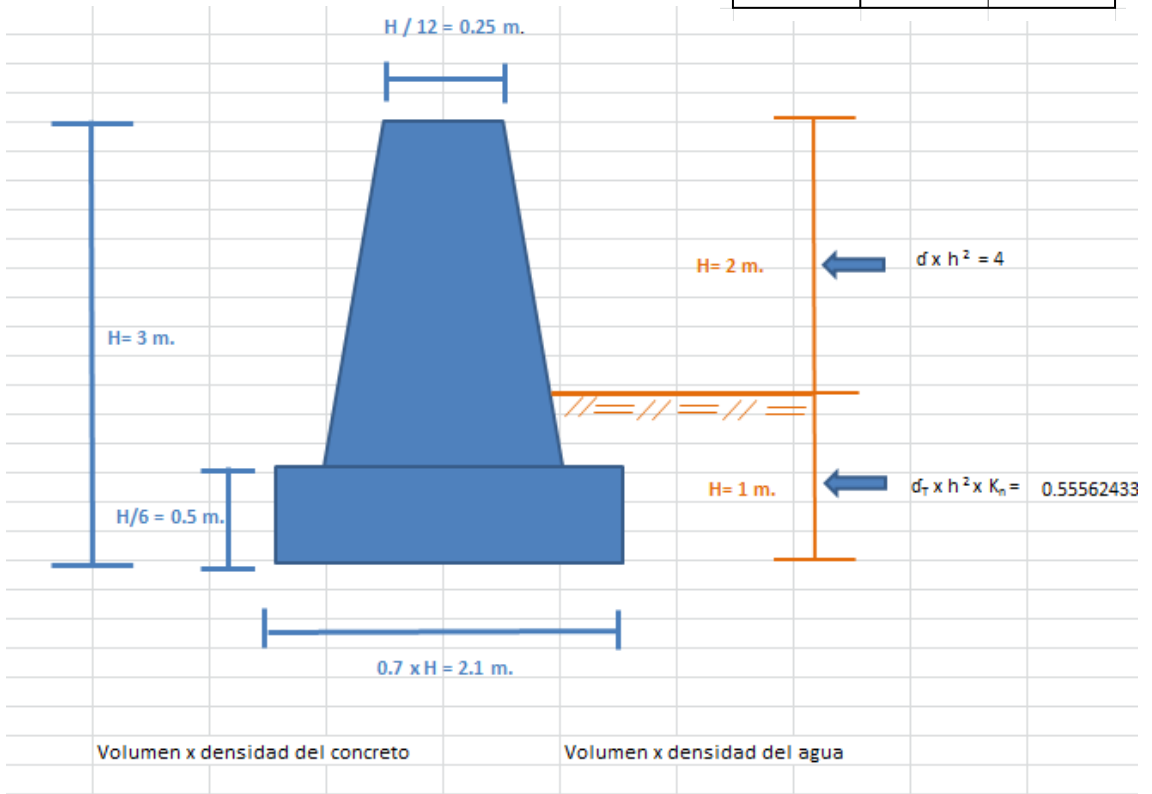


Figura 48: histograma de los caudales máximos anuales para diferentes periodos de retorno.

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidráulico elaboración del expediente técnico malecón de la amistad

## 4.9 Análisis estructural

$\phi$	31.2	0.54454273
$k_a$	3	0.31749961

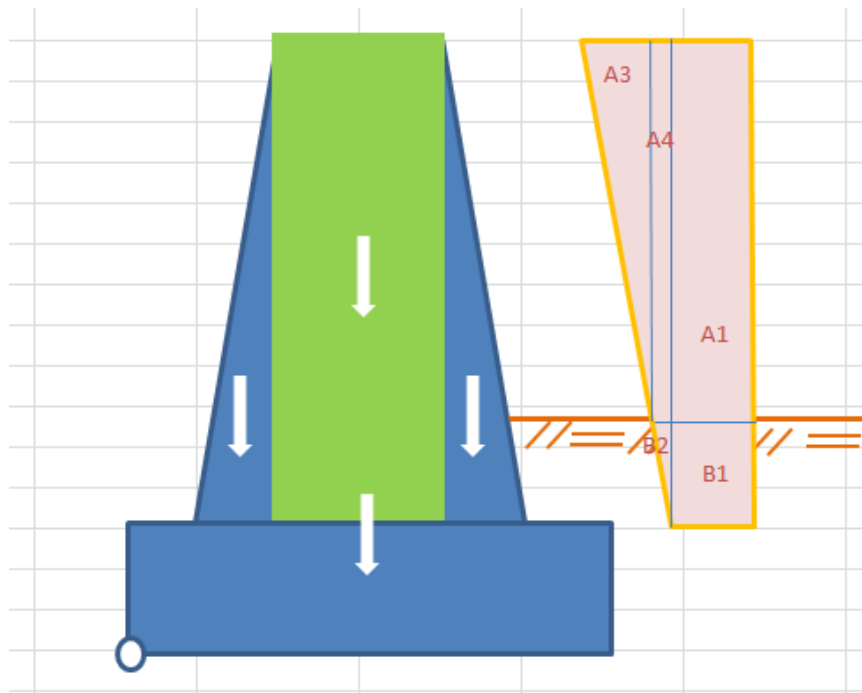


### Área de volúmenes

$$\begin{aligned} \text{Vol 1} &= 2.1 \times 0.50 \times 150 = 157.5 \text{ m}^3 & ; & \quad \text{vol A1} = 0.25 \times 2.25 \times 150 = 9.375 \text{ m}^3 \\ \text{Vol 2} &= 0.25 \times 2.50 \times 150 = 93.75 \text{ m}^3 & ; & \quad \text{vol A2} = 0.1125 \times 2.5 \times 150 = 42.19 \text{ m}^3 \\ \text{Vol 3} &= 0.5 \times (0.675 \times 2.50 \times 150) \times 2 = 253.125 \text{ m}^3 & ; & \quad \text{vol A3} = 0.5 \times 0.5625 \times 2.25 \times 150 = 105.47 \text{ m}^3 \\ \text{Vol 4} &= 0.5 \times (0.675 \times 2.50 \times 150) \times 2 = 253.125 \text{ m}^3 & ; & \quad \text{vol B1} = 0.25 \times 0.5 \times 150 = 18.75 \text{ m}^3 \\ & & & ; & \quad \text{vol B2} = 0.5 \times 0.1125 \times 0.5 \times 150 = 4.22 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

### Pesos

$$\begin{aligned} \text{Peso 1} &= 157.5 \times 2.4 = 378 \text{ ton} & ; & \quad \text{Peso A1} = 9.375 \times 1.00 = 9.375 \text{ ton.} \\ \text{Peso 2} &= 93.75 \times 2.4 = 225 \text{ ton} & ; & \quad \text{Peso A2} = 42.19 \times 1.00 = 42.19 \text{ ton.} \\ \text{Peso 3} &= 253.125 \times 2.4 = 607.5 \text{ ton} & ; & \quad \text{Peso A3} = 105.47 \times 1.00 = 105.47 \text{ ton.} \\ \text{Peso 4} &= 253.125 \times 2.4 = 607.5 \text{ ton} & ; & \quad \text{Peso B1} = 18.75 \times 1.75 = 32.81 \text{ ton.} \\ & & & ; & \quad \text{Peso B2} = 4.22 \times 1.75 = 7.38 \text{ ton.} \end{aligned}$$



ZONA	PESO	BRAZO	MOMENTO
1	378	1.05	396.9
2	225	1.05	236.25
3	303.75	0.7	212.625
4	303.75	1.4	425.25
A1	9.375	1.975	18.52
A2	42.19	1.79	75.52
A3	105.47	1.55	163.48
B1	32.81	1.975	64.8
B2	7.38	1.812	13.37
	<b>1407.73</b>		<b>1606.72</b> Ton. m

EMPUJE DEL AGUA

$$0.5 \times (4 \times 2 \times 150) \times 1.66 = 996 \text{ Ton.m}$$

EMPUJE TOTAL

$$996 + 13.89 = 1009.89 \text{ Ton.m}$$

EMPUJE DEL TERRENO

$$0.5 \times (0.55562433 \times 1.0 \times 150) \times 0.333 = 13.89 \text{ Ton.m}$$

$$F_S = 1606.72 / 1009.89 = 1.59 \text{ ..... SUPERA EL VOLTEO}$$

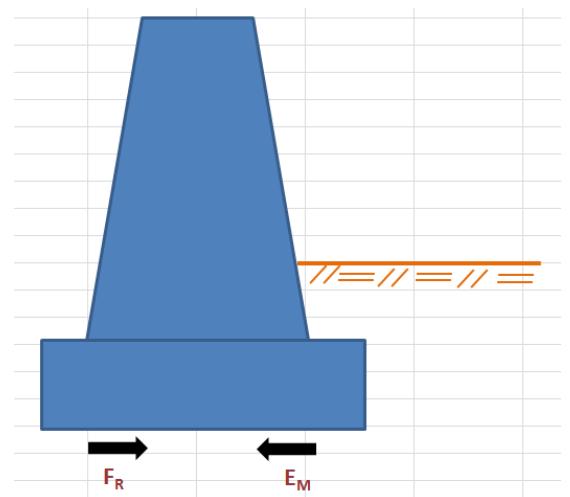
$$E_M = 0.5 \times 0.55562433 \times 150 + 0.5 \times 4 \times 150$$

$$E_M = 341.67$$

$$F_R = 1407.73 \times 0.5 = 703.86$$

$$E_M / F_R = 703.86 / 341.67 \geq 1.8$$

$$E_M / F_R = 2.06 \geq 1.8 \text{ ..... CUMPLE CON EL FACTOR DE ROSAMIENTO}$$



## CAPÍTULO V: MODELAMIENTO HIDRÁULICO ESTRUCTURAL

A fin de modelar las pantallas de infiltración, se empleó el software Plaxis 8.x al cual se le ingresaron los datos de la topografía realizada (dimensiones de la cuenca del río Rímac en la zona de la Planta La Atarjea y dimensionamiento de las pantallas de infiltración), características del concreto ( $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ ), caudales máximos registrados en la cuenca del río Rímac y características del terreno.

Con la información cargada al programa, se procedió a correr para períodos de retorno  $Tr = 50$  años,  $Tr = 100$  años y  $Tr = 500$  años; esto a fin de determinar los esfuerzos a los que se vieron sometidas las pantallas, debido a caudales anómalos (máximos registrados por el Fenómeno del Niño)

En la siguiente figuras (49,50,51,52,53,54,55,56,57), se observa el resultado de las deformaciones que se obtuvieron en el programa plaxis.

### 5.1 Escenarios 1 ( $Tr=50$ años)

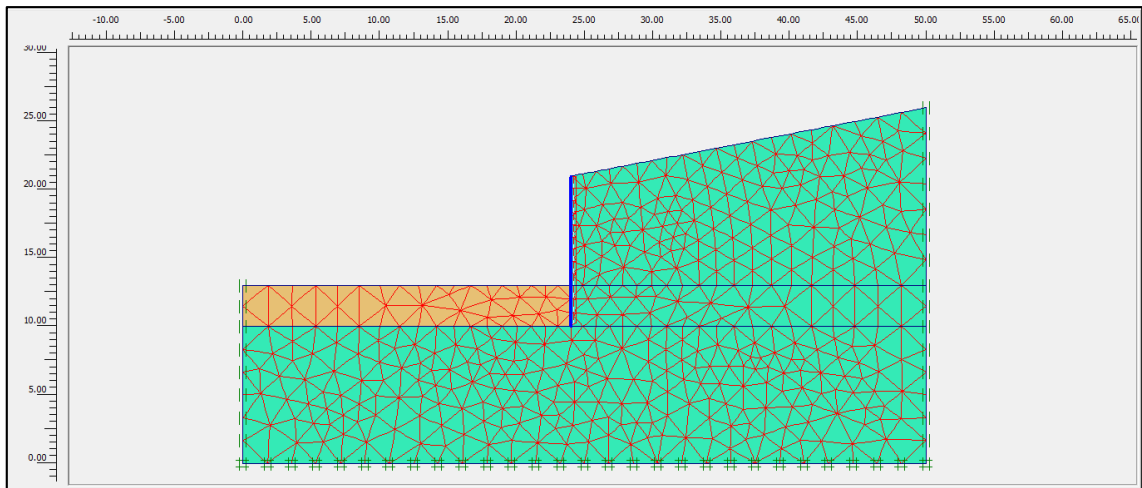


Figura 49: Captura de imagen de programa Plaxis

Fuente: propia

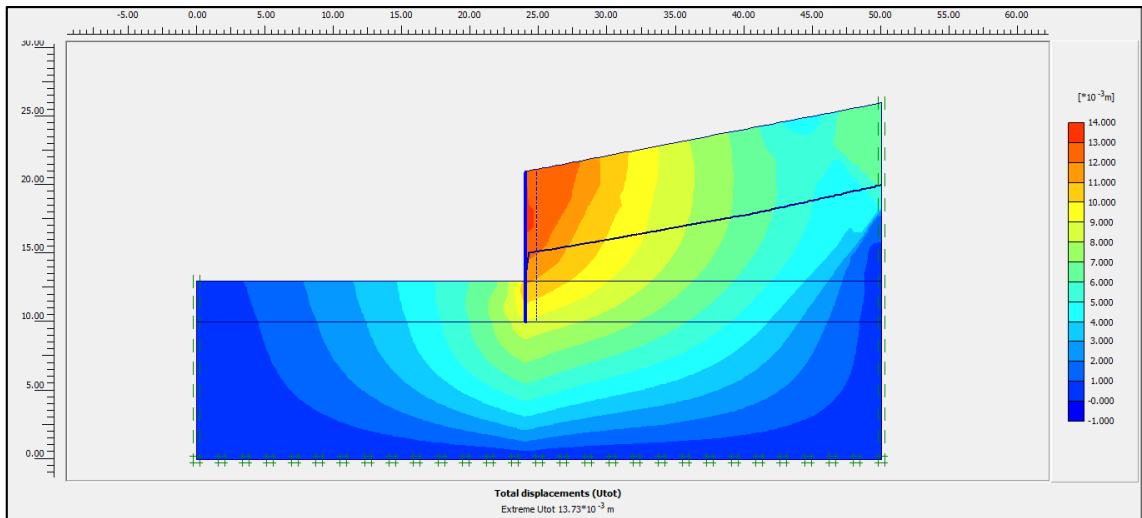


Figura 50: Captura de imagen de programa Plaxis

Fuente: propia

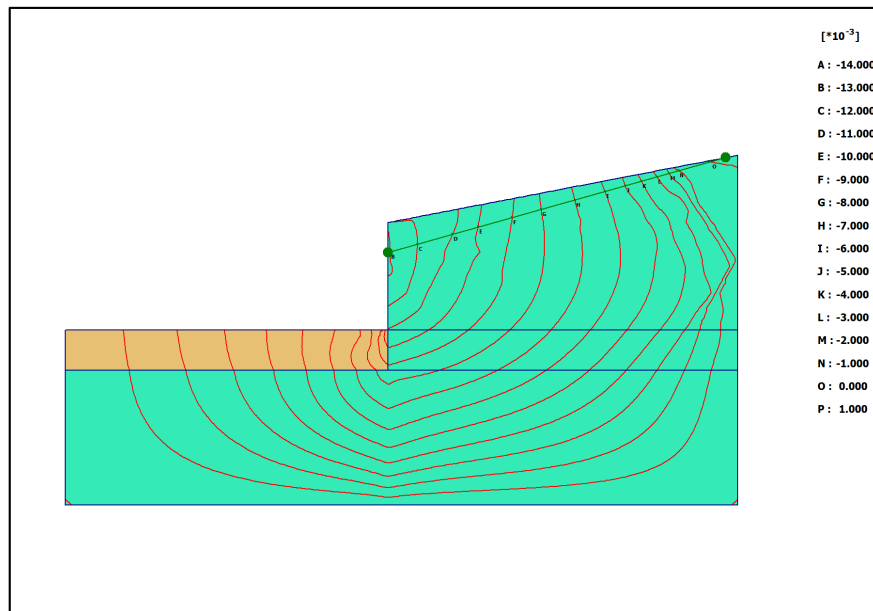


Figura 51: Captura de imagen de programa Plaxis

Fuente: propia



## 5.2 Escenarios 2 (Tr=100años)

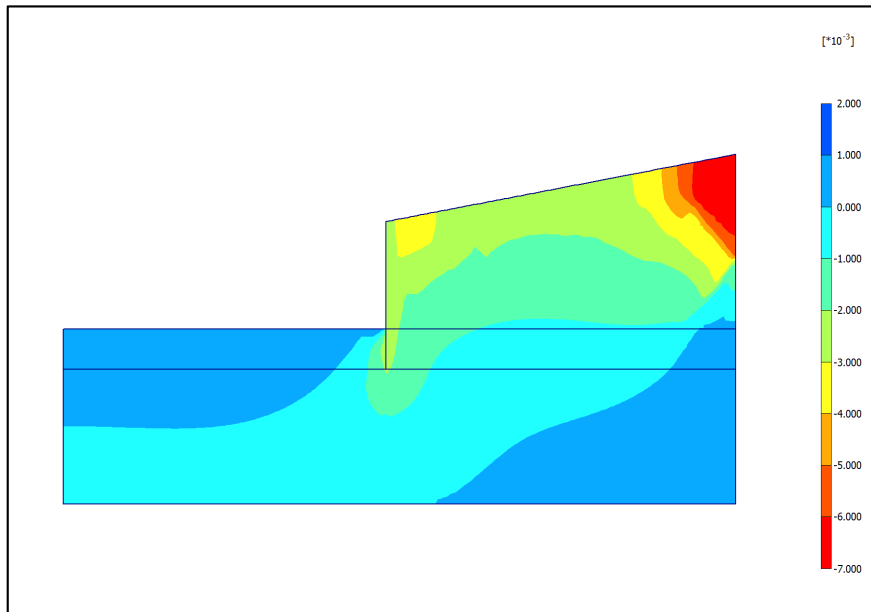


Figura 52: Captura de imagen de programa Plaxis

Fuente: propia

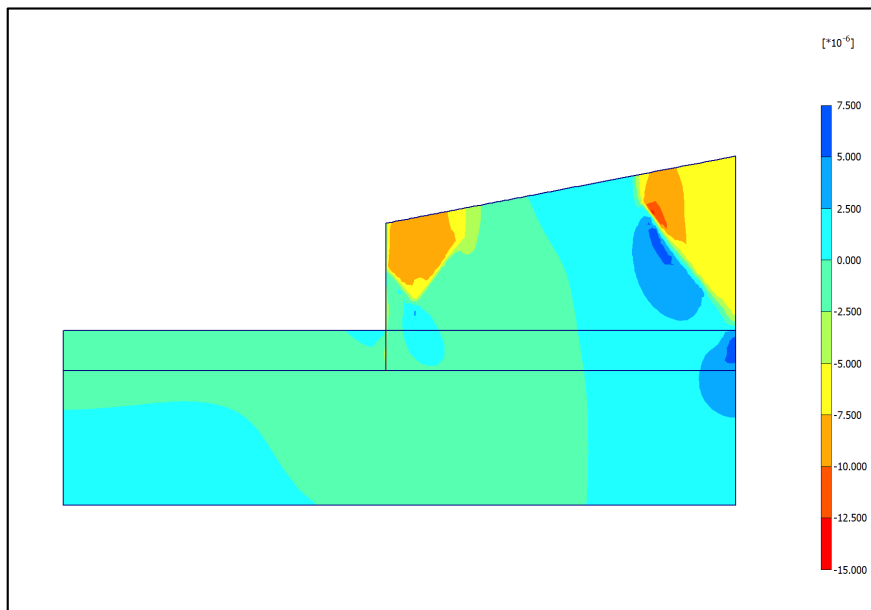


Figura 53: Captura de imagen de programa Plaxis

Fuente: propia

### 5.3 Escenarios 3 (Tr=500años)

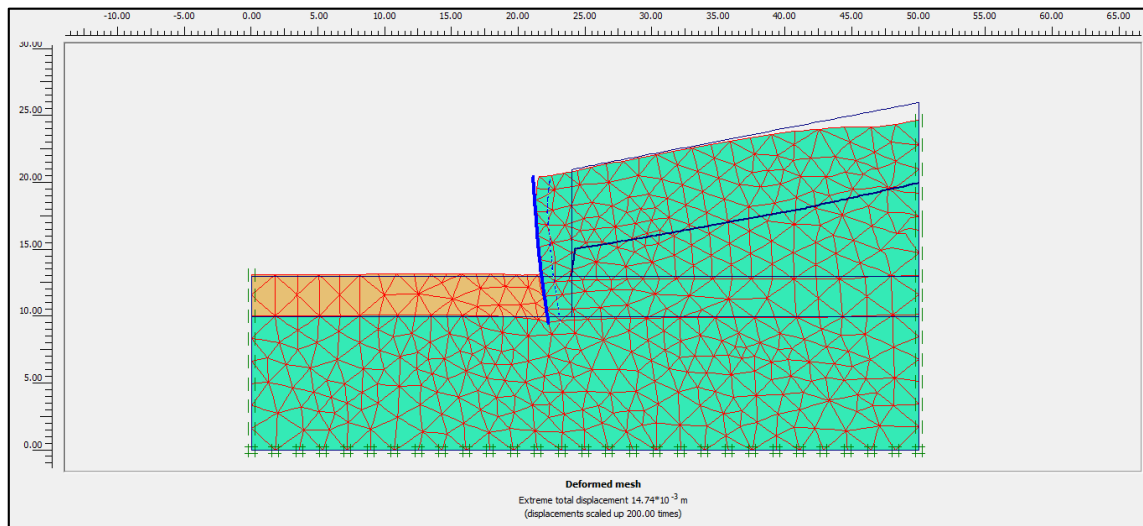


Figura 54: Captura de imagen de programa Plaxis

Fuente: propia

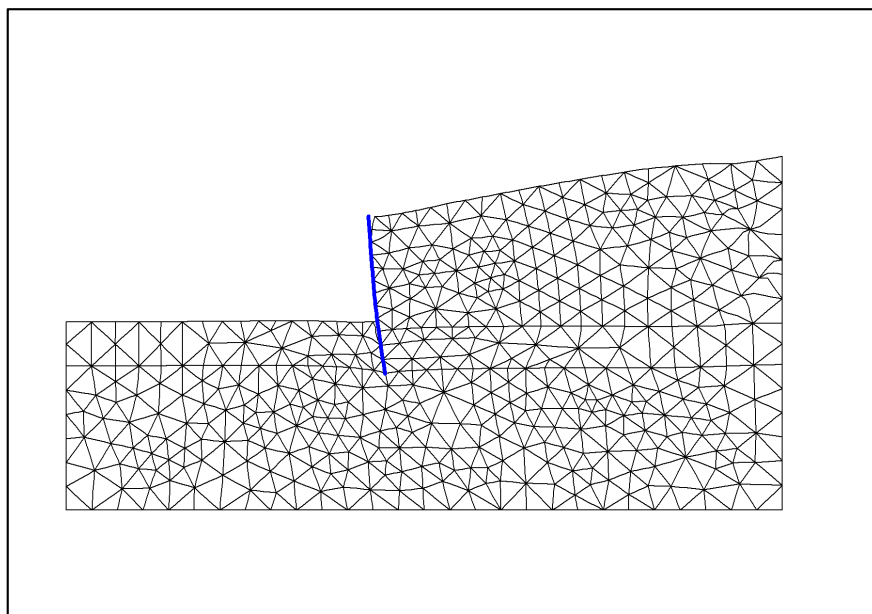


Figura 55: Captura de imagen de programa Plaxis

Fuente: propia

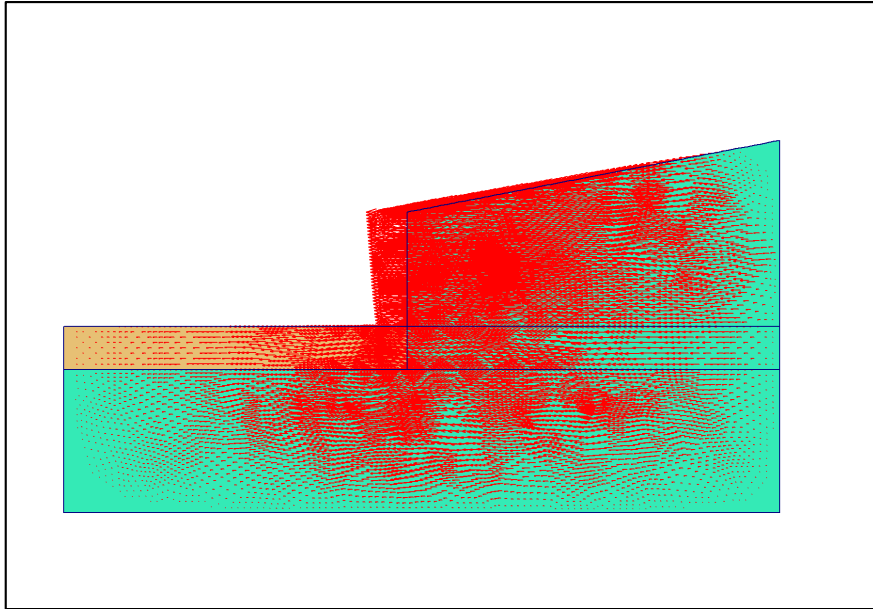


Figura 56: Captura de imagen de programa Plaxis

Fuente: propia

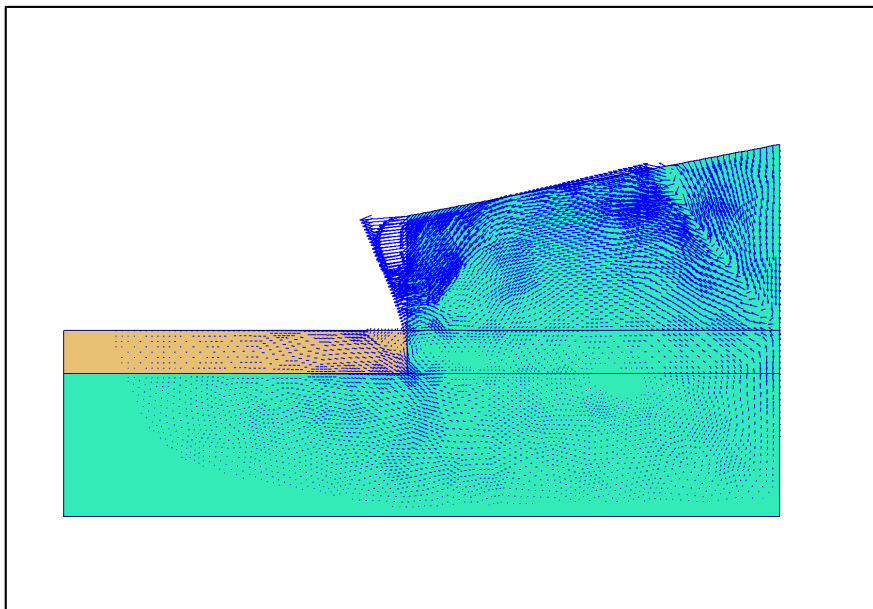


Figura 57: Captura de imagen de programa Plaxis

Fuente: propia

## CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 Discusión 1

Tras el modelamiento en el software Plaxis, se pudo corroborar teóricamente lo que se evidenció en la inspección de campo: algunas de las pantallas de infiltración sufrieron inclinaciones (con dirección aguas abajo); debido a los máximos caudales a consecuencia del Fenómeno del Niño 2017. Considerando ello, se plantea el rediseño de las pantallas de infiltración (tanto en dimensiones como en resistencia de concreto). ver figura 58.



Figura 58: se aprecia los restos de una pantalla de infiltración con asentamiento diferencial y fracturada.

Fuente: Informe Trinity Group 2017.

### 6.2 Discusión 2

Se pudo verificar (mediante el uso del programa Plaxis) el diseño y comportamiento de las pantallas de infiltración en la cuenca del río Rímac; para los máximos caudales registrados en las estaciones del SENAMHI.

### 6.3 Discusión 3

A fin de corroborar lo planteado en nuestros objetivos, en el capítulo “Análisis estructural”; se planteó el rediseño de las pantallas de infiltración, esta vez considerando toda la estructura de un solo tipo de concreto ( $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ ).

Paralelamente, se hizo un presupuesto de reparación tentativo; para los trabajos de reconstrucción de cada pantalla, en similares características respecto al diseño original:

**Tabla 25:**

Cálculos de reconstrucción de pantalla

<b>Obra : Reconstrucción de Pantallas Dañadas Pendientes de Ejecutar en Río Rimac</b> <b>Lugar : Planta de Tratamiento de Agua Potable " La Atarjea" - SEDAPAL</b> <b>El Agustino - Lima</b>					
					Hoja: 01
					Fecha: Enero de 2018
	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
<b>1.00</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>				<b>14,715.00</b>
1.10	Oficina y almacén de obra (container)	u/día	15.00	71.00	1,065.00
1.20	Caseta para personal	m2	14.40	100.00	1,440.00
1.30	Suministro de baños químicos (2 x 15 d)	u/d	30.00	47.00	1,410.00
1.40	Movilización y desmovilización de materiales y herramientas	ton	2.00	1,200.00	2,400.00
1.50	Movilización y desmovilización de equipos	und	2.00	3,000.00	6,000.00
1.60	Movilización y desmovilización de container	und	2.00	1,200.00	2,400.00
<b>2.00</b>	<b>SEGURIDAD</b>				<b>750.00</b>
2.10	Recursos para emergencias de seguridad y salud	día	15.00	50.00	750.00
<b>3.00</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				<b>135,291.30</b>
3.10	Trazo y replanteo	día	15.00	675.00	10,125.00
3.20	Habilitación y retiro de rampas	m3	84.00	40.00	3,360.00
3.30	Encauzamiento temporal para drenar agua de zanja	m3	375.00	13.50	5,062.50
<b>4.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>				<b>87,085.80</b>
4.10	Excavación en terreno saturado para nueva pantalla	m3	2,412.00	11.50	27,738.00
4.20	Refine y compactación de base para pantalla	m2	320.00	6.00	1,920.00
4.30	Relleno compactado con material propio	m3	2,227.20	11.50	25,612.80
4.40	Demolición de muro dañado	m3	270.00	75.30	20,331.00
4.50	Transporte de escombros (muro demolido)	m3	270.00	24.40	6,588.00
4.60	Transporte de material excedente de excavación	m3	240.00	6.00	1,440.00
4.70	Conformación del área trabajada	m2	1,152.00	3.00	3,456.00
<b>5.00</b>	<b>OBRAS DE CONCRETO</b>				<b>166,506.60</b>
5.10	Suministro y vaciado de concreto premezclado en solado $f'c= 140 \text{ kg/cm}^2$ (espesor= 10 cms)	m3	19.20	386.00	7,411.20
5.20	Encofrado y desencofrado	m2	768.00	50.50	38,784.00
5.30	Suministro de canto rodado ( $\phi$ de 6 hasta 12 pulgadas)	m3	122.90	44.00	5,407.60
5.40	Suministro y vaciado de concreto premezclado en capa inferior, $f'c= 140 \text{ kg/cm}^2 + 30\%$ piedra grande, max. $\phi$ 10")	m3	215.00	280.00	60,200.00
5.50	Suministro y vaciado de concreto premezclado en capa superior, $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2 + 20\%$ piedra mediana, max. $\phi$ 6")	m3	129.00	391.00	50,439.00
5.60	Curado de concreto con aditivo	m2	921.60	3.00	2,764.80
5.70	Ensayo de probetas de concreto	und	50.00	30.00	1,500.00
	<b>COSTO DIRECTO (Sin IGV)</b>				<b>404,348.70</b>
	Gastos generales	%		14.50	58,630.56
	Utilidad	%		10.00	40,434.87
	<b>SUBTOTAL (sin IGV)</b>			<b>S/.</b>	<b>503,414.13</b>
	<b>IGV (18%)</b>				<b>90,614.54</b>
	<b>COSTO TOTAL PRESUPUESTO</b>				<b>594,028.68</b>

Fuente: Informe Trinity Group

Se evidencia que por el monto superior al medio millón de soles (S/. 594,028.68); es difícil plantear un rediseño considerando un reforzamiento estructural de acero; pues elevaría aún más el presupuesto.

## CONCLUSIONES

- 1) Empleando el software Plaxis 8.0 y calculando los empujes que generaron los máximos caudales, se modelaron las pantallas de infiltración para analizar su estado.
- 2) Se pudo verificar el diseño de las pantallas de infiltración modelándolo en el programa Plaxis 8.0; logrando identificar desplazamientos máximos de 1.16 centímetros en el eje horizontal; y desplazamientos alrededor de 6.60 mm en el eje vertical.
- 3) Se analizó el comportamiento hidráulico – estructural de las pantallas de infiltración, considerando los empujes máximos a los que estaban expuestas las pantallas debido a los máximos caudales registrados en el Fenómenos del Niño Costero 2017; y se evidenció que la parte superior de las pantallas fueron las que sufrieron mayores desplazamientos.
- 4) Se propuso un rediseño de las estructuras, planteando un nuevo modelo estructural (tanto en geometría como en resistencia del concreto); para un mejor comportamiento ante caudales anómalos.
- 5) Tras el análisis hidráulico-estructural realizado con el programa, se pudo observar que el diseño original de las pantallas de infiltración, no soportaron los caudales máximos que se registraron en el río Rímac el año 2017, debido al Fenómeno del Niño Costero.
- 6) El modelamiento en el software nos ayudó a identificar que las pantallas de infiltración sufrieron mayor empuje; en la parte superior lo cual se evidenció en las hendiduras halladas; tal como se pudo identificar en las fotografías adjuntas.
- 7) Asimismo, los sectores menos afectados por los caudales atípicos fueron los que se encontraban enterrados bajo el terreno de fundación. Sin embargo, al realizarse las exploraciones se observó que habían perdido gran parte de la mezcla de cemento; quedando sólo bolonería.
- 8) Fundamentalmente debido a la presencia de caudales máximos y agentes contaminantes, el concreto de las pantallas ha perdido la resistencia respecto a su diseño original.
- 9) De igual forma, algunas pantallas de infiltración presentaban asentamientos diferenciales, debido al socavamiento del terreno de fundación; producto de los caudales.

- 10) Adicionalmente a las propias fuerzas propias del caudal a las que son sometidas las pantallas de infiltración, la cuenca del río Rímac se encuentra contaminada por la presencia de diversos agentes (residuos industriales, domésticos) que afectan la estructura de las pantallas; sobre todo en la parte inferior.
- 11) Se debe considerar el uso de aditivos y/o recubrimientos especiales para las pantallas de infiltración; a fin de proteger las estructuras sumergidas.
- 12) Las pantallas de infiltración, si bien es cierto cumplen el propósito de alimentar el acuífero de la cuenca del río Rímac; no protegen realmente a las bocatomas de la planta de tratamiento de La Atarjea por encontrarse debilitadas y con daños en sus estructura.



## RECOMENDACIONES

- 1) Se propone rediseñar las pantallas de infiltración (manteniéndolas sin reforzamiento de acero estructural), considerando ampliar el ancho del muro y aumentar la resistencia del concreto a  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, en la totalidad de la estructura.
- 2) En ese sentido, se recomienda extender el número de pantallas de infiltración (aguas arriba de la cuenca) de la planta de tratamiento de agua La Atarjea.
- 3) Que se promueva por parte del Ministerio de Vivienda y Saneamiento, la implementación de un reglamento (diseño y mantenimiento) para estructuras de concreto completamente sumergidas; como son las pantallas de infiltración.
- 4) Respecto a los trabajos de mantenimiento en el río, es conveniente realizarlo de forma permanente, esto permitirá el correcto funcionamiento y comportamiento del cauce del río, de otra forma la dinámica del cauce modificará el lecho de la explanada.
- 5) Adicionalmente, a los trabajos de limpieza y mantenimiento del fondo del río (sobre todo en temporadas de estiaje); se recomienda el debido tratamiento o reforzamiento de la ribera de la cuenca.
- 6) Capacitar a las personas residentes en las zonas colindantes a la cuenca y a los usuarios; a fin de evitar la contaminación del río y que a su vez éste afecte las estructuras de las pantallas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agriculture and Agri-Food Canada, (2006). *Diversion of wáter from surface-water sources through infiltration galleries*. Canadá
- Burns, E., (2009). *Repensar la cuenca: La gestión de ciclos del agua en el valle de México*. México DF, México: UAM
- Bustamante, C. (2018). *Predicción del mecanismo de deposición del flujo de torrente en la zona de descarga, caso: dren Norte-Chilca*. (Tesis de Pregrado).  
Universidad César Vallejo, Lima – Perú
- Calenzani, P. (2002). *Evaluación del proyecto de tratamiento del cauce del río Rímac con fines de recarga inducida*. (Informe de Suficiencia). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú
- Cardona, L., (2016). *Conceptos básicos de morfometría de cuencas hidrográficas*. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos, Guatemala.
- Cartes, I., (2016). *Modelamiento numérico mediante elementos finitos de muros mecánicamente estabilizados con refuerzo inextensible*. (Tesis de Postgrado).  
Universidad de Chile, Santiago de Chile – Chile
- Chiong, C., (2015). *Estimación de la recarga del acuífero Rímac – sector Ate, mediante el riego de áreas verdes*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Agraria de La Molina, Lima – Perú
- Chow, V., (1982). *Hidráulica de los canales abiertos* Mc Graw – Hill Book: Estados Unidos
- De la Cruz, J. (2017). *Recarga artificial de acuíferos*. Madrid, España: Catarata

- Farroñay, P., (2017). *Propuesta de diseño de muros mixtos de gaviones y de mampostería de piedra para la defensa ribereña del río Rímac en los kilómetros 34-35 Lurigancho - Chosica*. (Tesis de Pregrado). Universidad San Martín de Porres, Lima – Perú
- González, J., (2004). *Análisis de procesos de erosión local en márgenes de cauces fluviales con curvatura en planta - Madrid* (Tesis Doctoral).
- Herrera, I; Brown, O., (2011). *Propuesta de una metodología para la estimación de áreas de recarga hídrica en Guatemala*". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. La Habana, Cuba
- Luy, J. (2004). *Diseño de pequeñas estructuras hidráulicas en flujo supercrítico*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú
- Manrique, N., Morales E., (2017). *Propuesta técnica para el control de erosión en el río Rímac del tramo urbano que comprende el km. 18+075: hasta el km. 19+100 – distritos de SJL y El Agustino - Lima* (Tesis de Pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima – Perú
- Menacho, R. (2001). *Diseño estructural de obras hidráulicas para proyectos de riego*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú
- Ministerio de Agricultura, Autoridad Nacional del Agua - ANA (2009). *Diagnóstico situacional de recarga de acuíferos*. Lima, Perú
- Ministerio de Agricultura, Autoridad Nacional del Agua – Intendencia de Recursos Hídricos (2005). *Formulación del diagnóstico de la infraestructura de riego y drenaje en los distritos de riego del Perú*. Lima, Perú

- Mogrovejo, R., (2017). *Servicio de consultoría especializada para el estudio de hidrología e hidráulica – expediente técnico de la defensa ribereña del malecón de la amistad – El Agustino, Lima*. Lima, Perú
- Ramírez, M. (2003). *Hidrología aplicada*. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Rocha, A. (1998). *Introducción a la hidráulica fluvial*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Schafer, A., (1959). *Hidráulica y construcciones hidráulicas con inclusión de nuevos conceptos teórico-prácticos*. Barcelona, España: Tela Editorial
- Trinity Group SAC (2017). *Informe de valorización de pérdidas y daños en las pantallas pendientes de rehabilitación y/o reconstrucción*. Lima, Perú
- Vélez, M., (2004). *Métodos para determinar la recarga en acuíferos*. (Tesis de Postgrado). Universidad Nacional de Medellín, Colombia.
- Villón, M., (2002). *Hidrología*. San José, Costa Rica: Villón.

## **ANEXOS**

Anexo 1 Análisis hidráulico – hidrológico

Anexo 2 panel fotográfico

Anexo 3 Ensayo de laboratorio y muestra in situ

Anexo 4 Planos

**ANEXO 1**  
**ANÁLISIS HIDRÁULICO – HIDROLÓGICO**

## Results for phase 1

### Calculation information

Table [1] Step Info phase no: 1

<b>Step no:</b>	57
<b>Calculation type</b>	PLASTIC
<b>Extrapolation factor</b>	0.500
<b>Relative stiffness</b>	0.013

Table [2] Reached multipliers phase no: 1

<b>Multipliers</b>	<b>Incremental value</b>	<b>Total value</b>
Prescribed displacements	0.0000	1.0000
Load system A	0.0000	1.0000
Load system B	0.0000	1.0000
Soil weight	0.0000	1.0000
Acceleration	0.0000	0.0000
Strength reduction factor	0.0000	1.0000
Time	0.0000	0.0000

Table [3] Staged construction info phase no: 1

<b>Staged construction</b>	<b>Incremental value</b>	<b>Total value</b>
Active proportion of total area	0.000	1.000
Active proportion of stage	0.000	0.718

**Table [4] Realized tunnel contraction info phase no: 1**

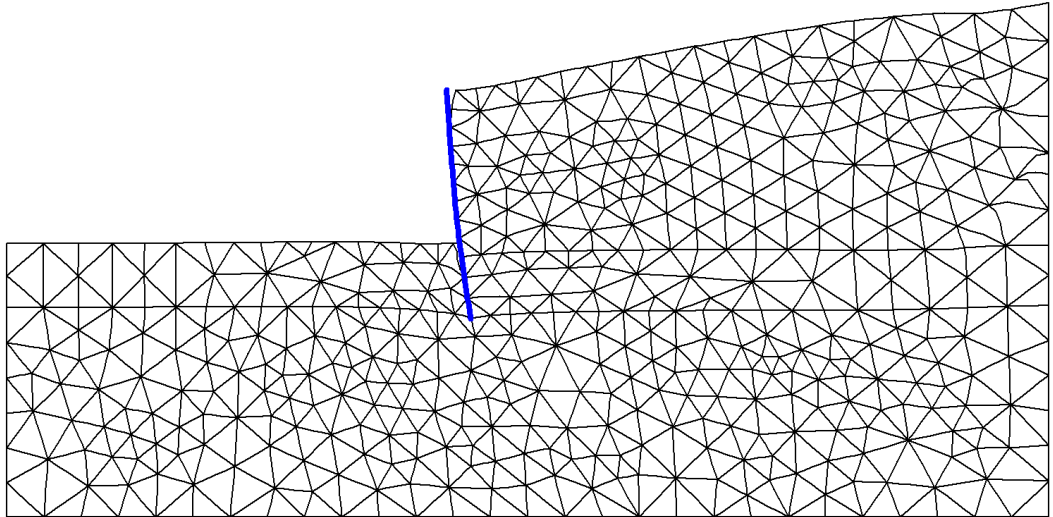
Tunnel*	Increment [%]	Total [%]
* Tunnels are referred to by lining chain number		

**Table [5] Iteration info phase no: 1**

Iter. no.	Global error	Plastic points	Plastic Cap + Hard. points	Inacc. Pl. pts.	Plastic Intf. pts.	Inacc. Intf. pts.	Apex & Tension	Inacc. Apx. pts.
1	0.006	601	0	299	15	15	167	113
2	0.003	570	0	3	15	5	158	3
3	0.002	533	0	6	15	5	154	6
4	0.002	505	0	5	15	5	150	5
5	0.002	496	0	5	13	5	149	5
6	0.002	492	0	5	13	5	149	5
7	0.002	479	0	5	13	5	143	5
8	0.002	467	0	5	12	5	140	5
9	0.002	459	0	5	12	5	138	5
10	0.002	454	0	5	12	5	137	5
11	0.002	448	0	4	12	5	133	4
12	0.002	442	0	4	12	5	131	4
13	0.002	438	0	4	12	5	129	4
14	0.002	436	0	4	12	5	128	4
15	0.001	433	0	4	12	7	127	4
16	0.002	431	0	170	12	12	127	85
17	0.002	426	0	1	12	4	124	1



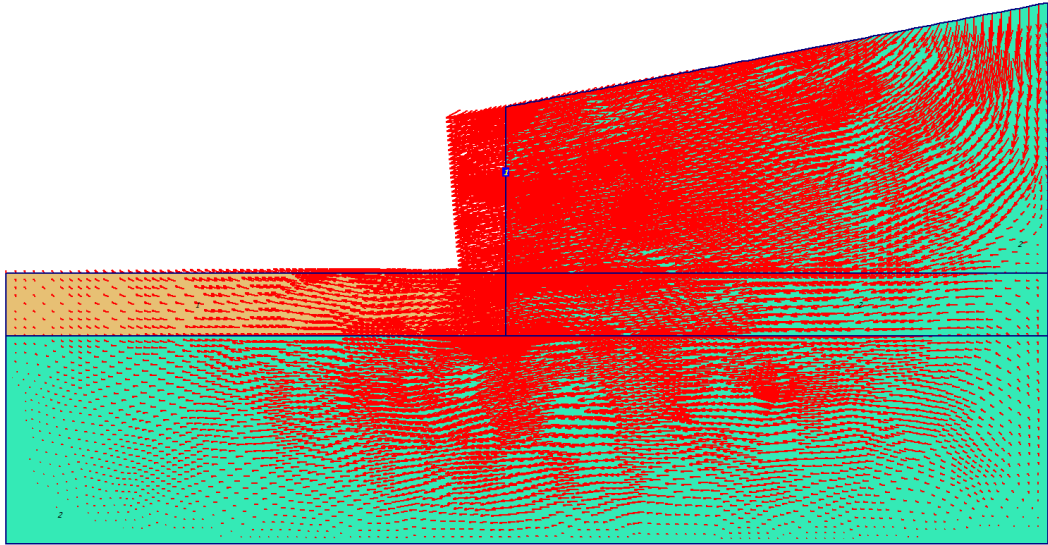
## Deformations



**Fig. 1.1 Plot of deformed mesh**

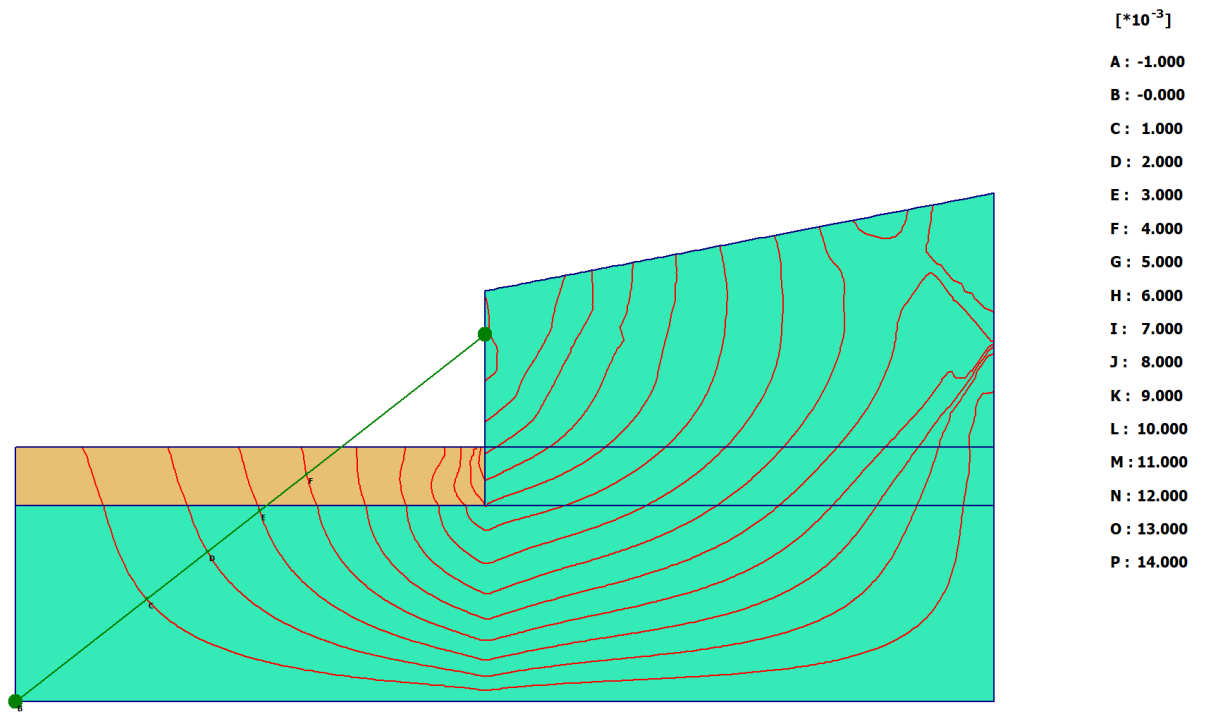
**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**

Plot of total displacements



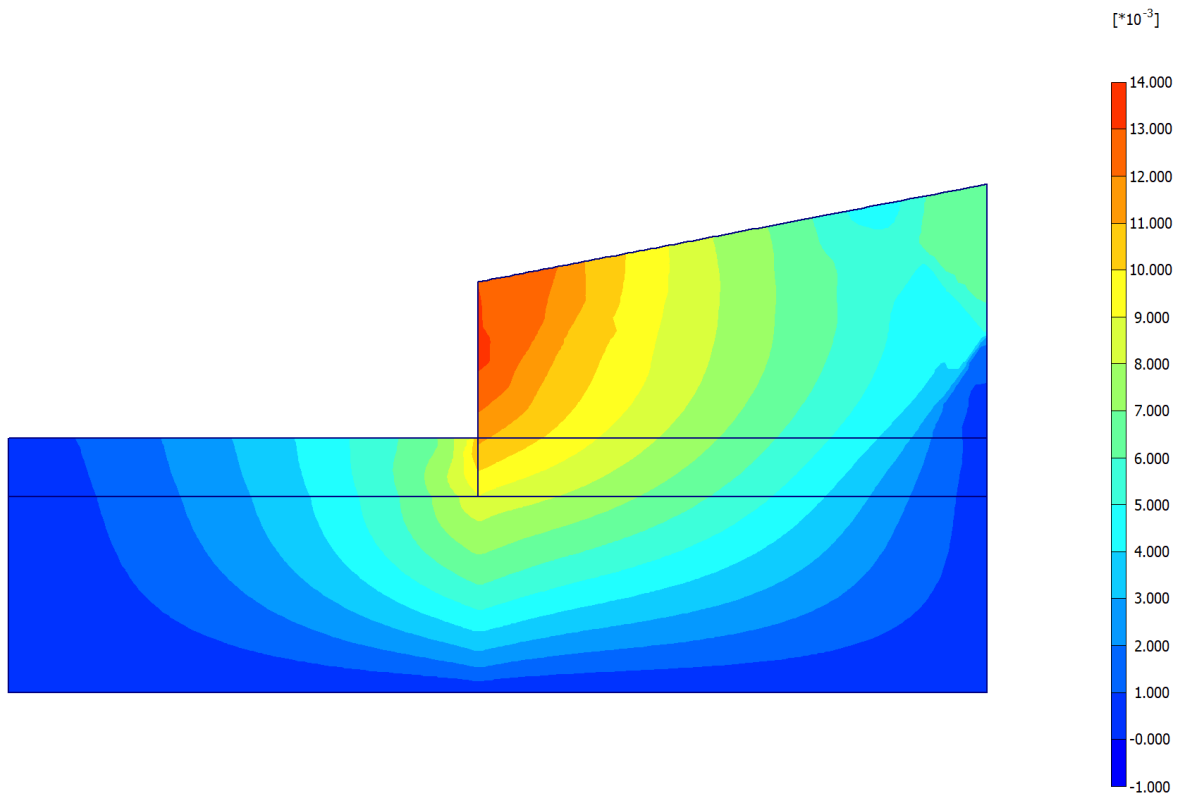
**Fig. 1.2 Plot of total displacements (arrows)**

**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**



**Fig. 1.3 Plot of total displacements (contour lines)**

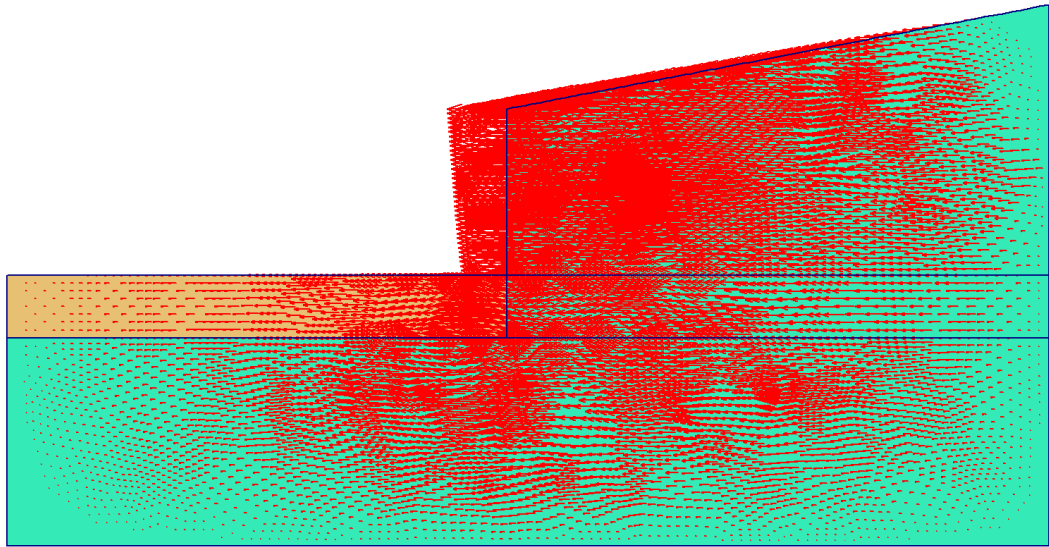
**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**



**Fig. 1.4 Plot of total displacements (shadings)**

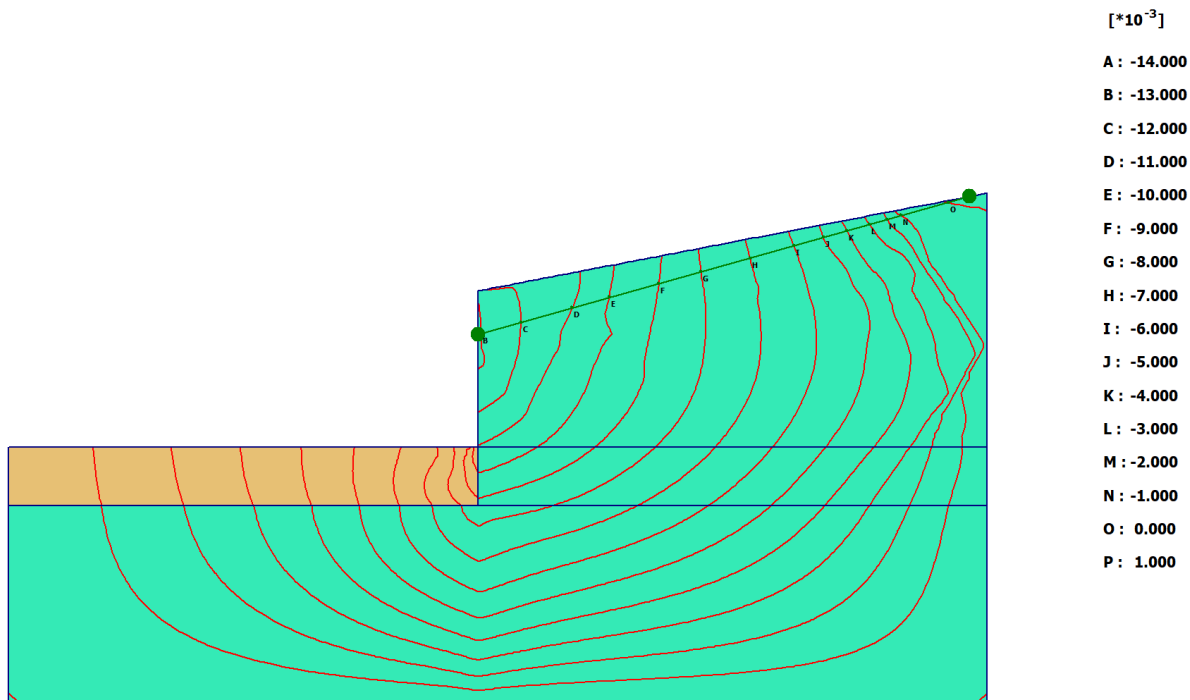
**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**

Plot of horizontal displacements



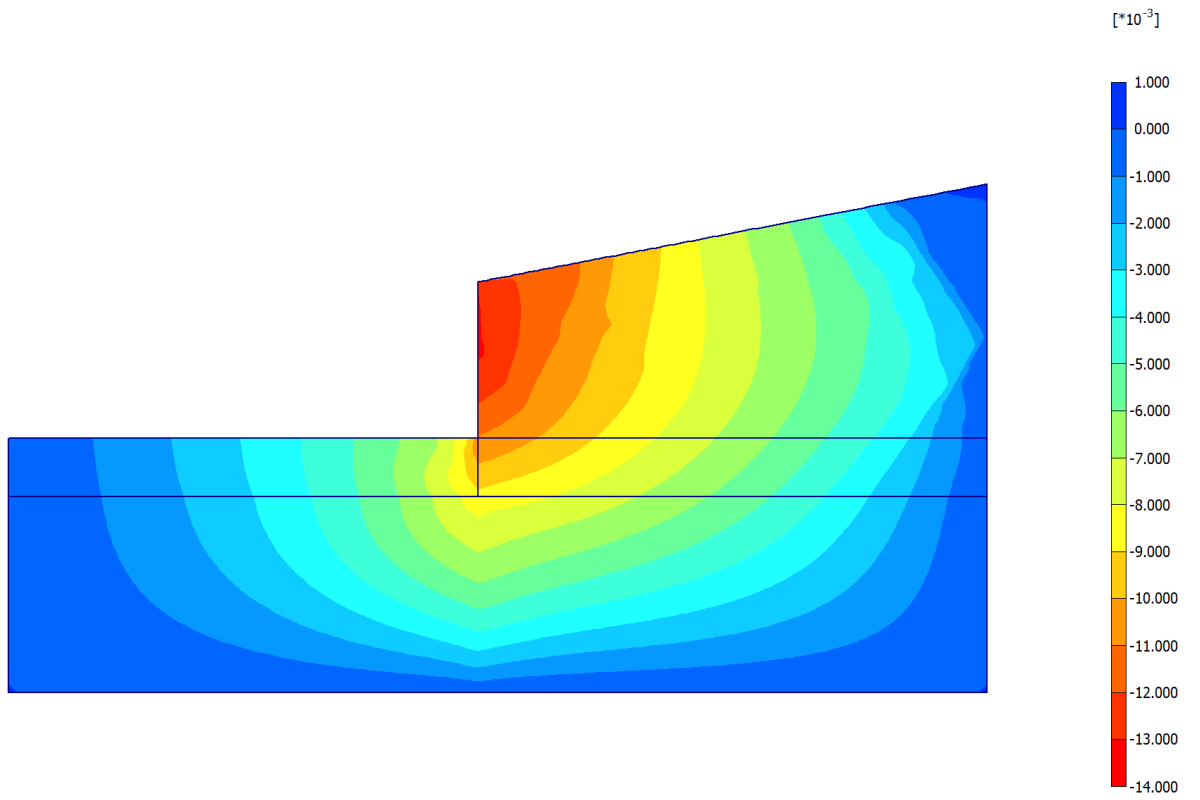
**Fig. 1.5 Plot of horizontal displacements (arrows)**

**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**



**Fig. 1.6 Plot of horizontal displacements (contour lines)**

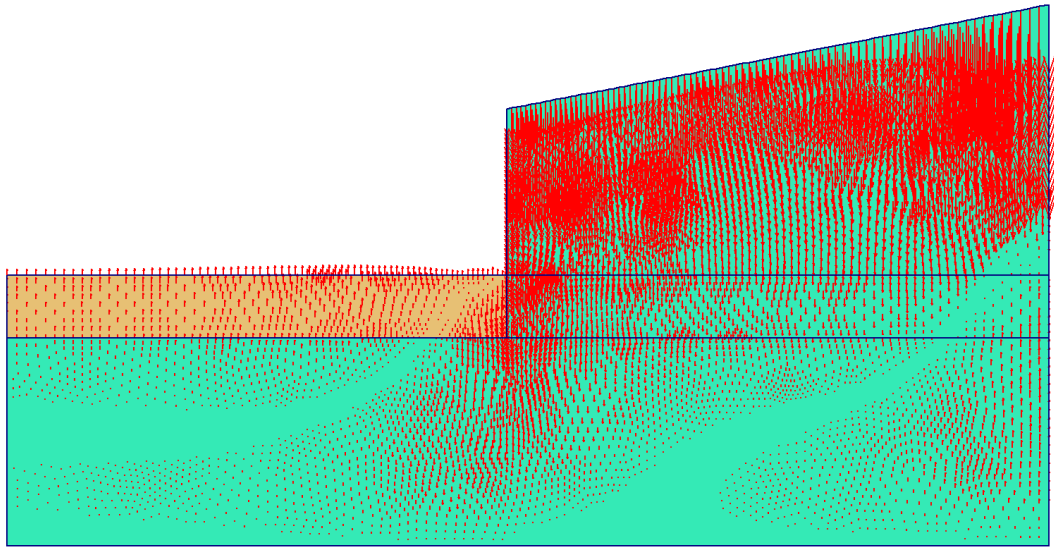
**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**



**Fig. 1.7 Plot of horizontal displacements (shadings)**

**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**

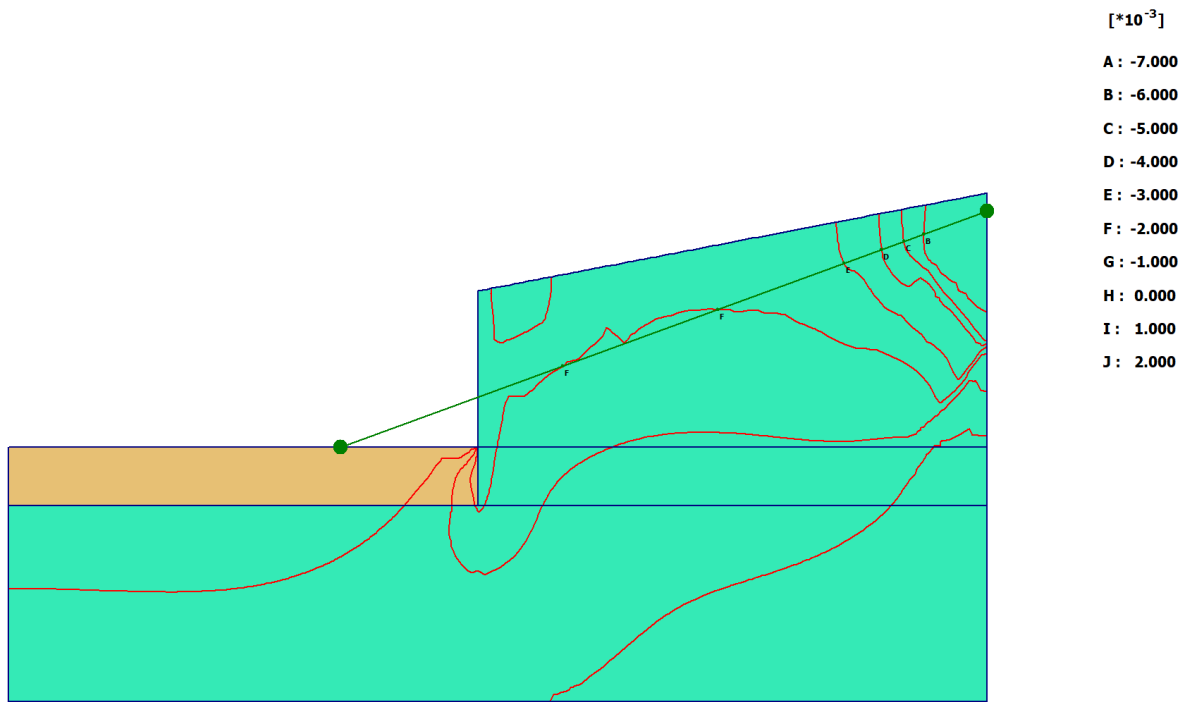
Plot of vertical displacements



**Fig. 1.8 Plot of vertical displacements (arrows)**

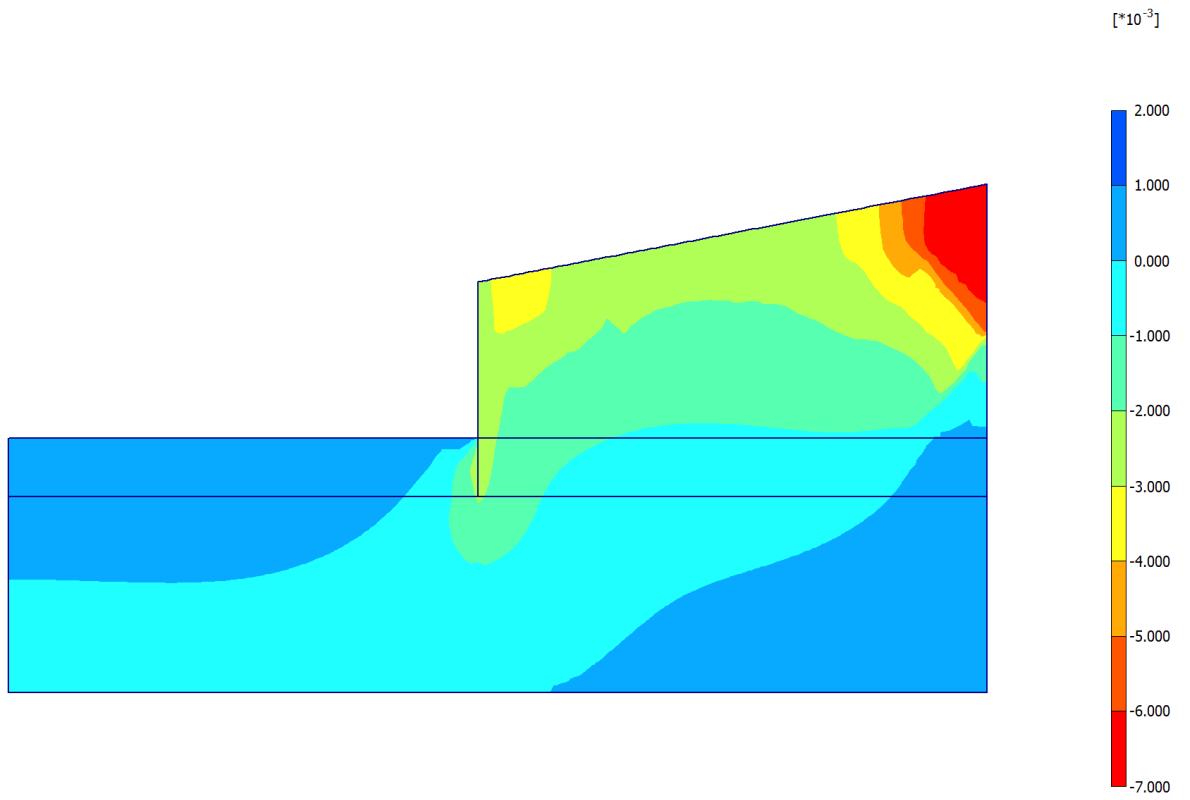
**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**





**Fig. 1.9 Plot of vertical displacements (contour lines)**

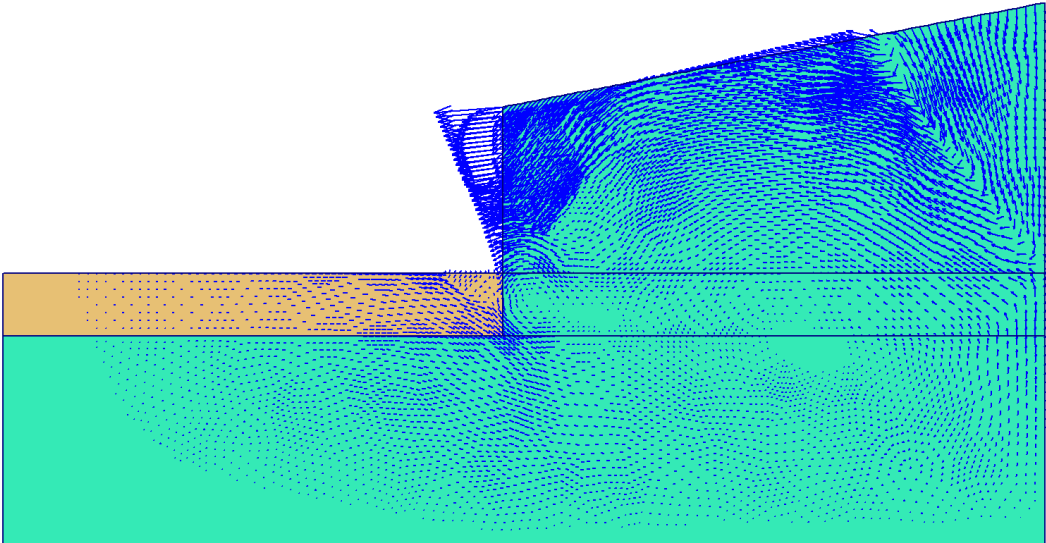
**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**



**Fig. 1.10 Plot of vertical displacements (shadings)**

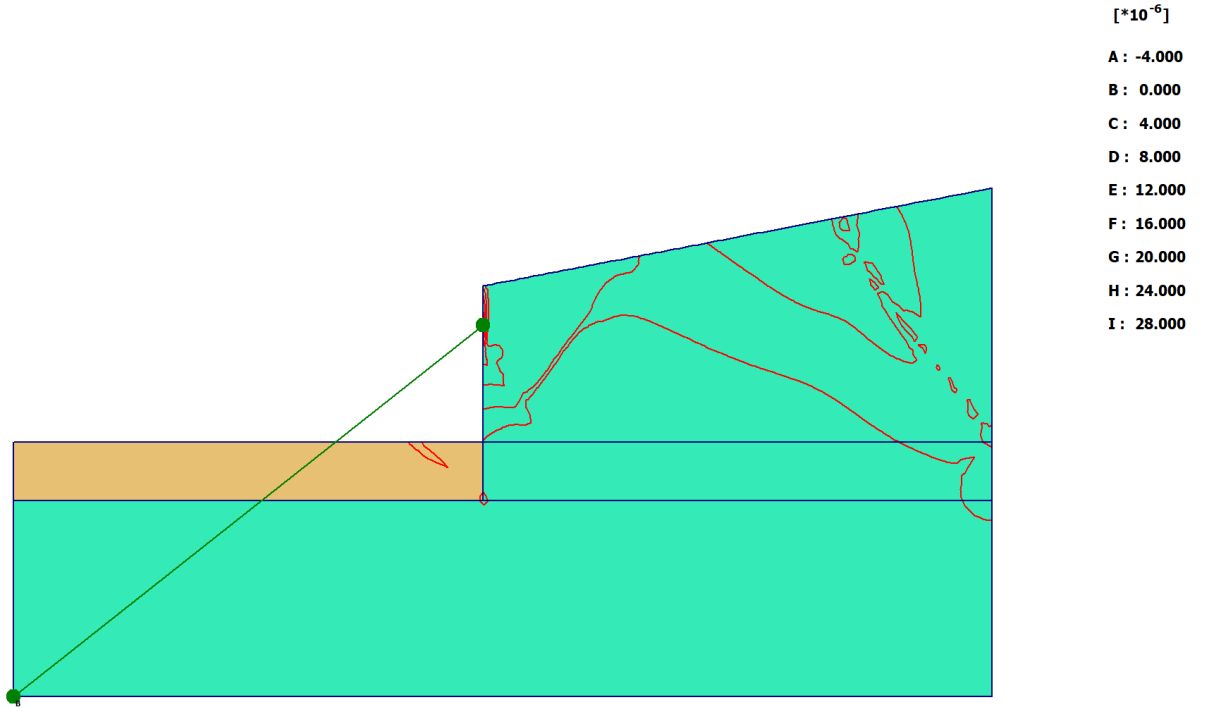
**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**

Plot of total increments



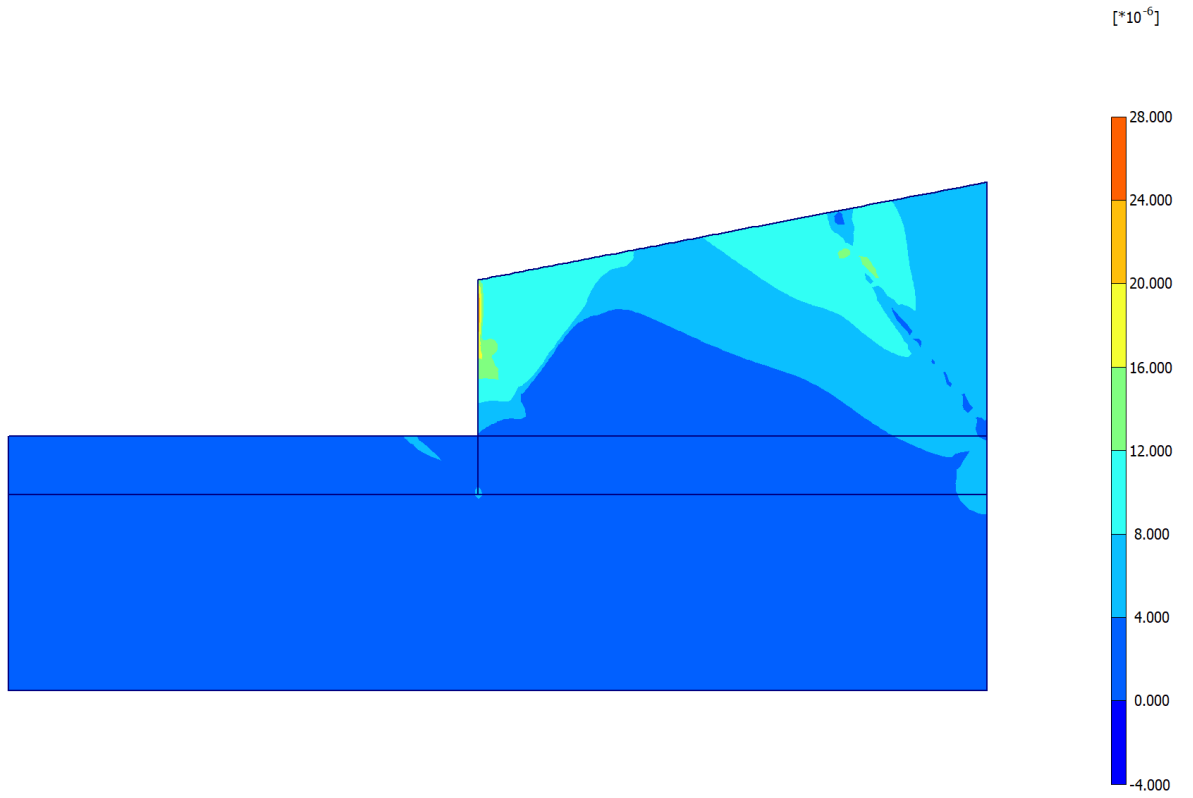
**Fig. 1.11 Plot of total increments (arrows)**

- Step no: 57 - ( Phase: 1 )



**Fig. 1.12 Plot of total increments (contour lines)**

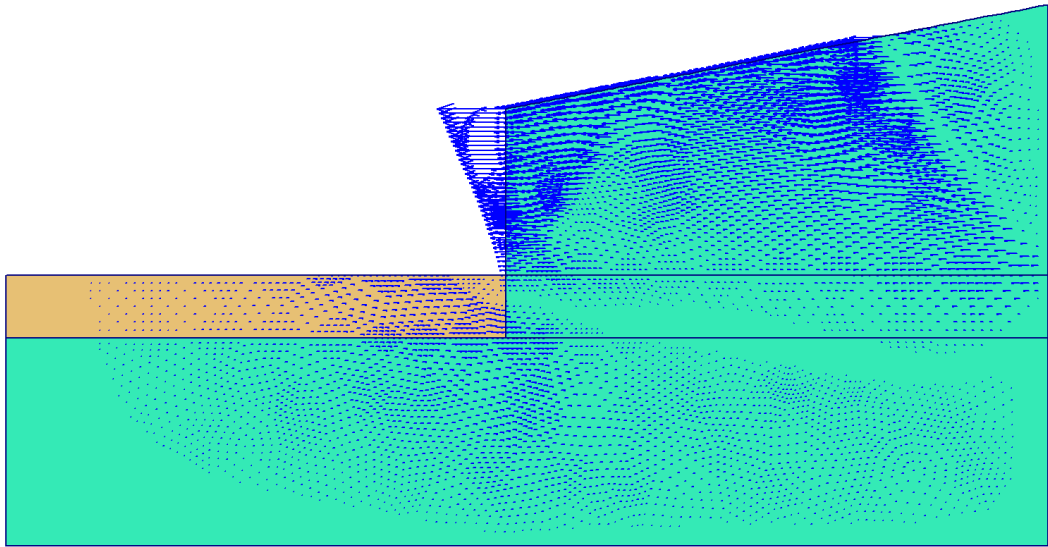
**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**



**Fig. 1.13 Plot of total increments (shadings)**

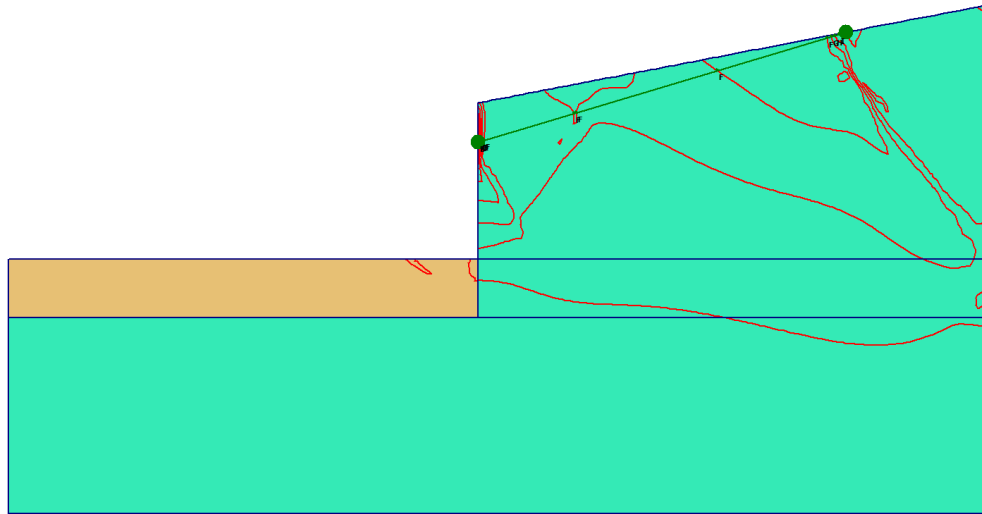
**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**

Plot of horizontal increments



**Fig. 1.14 Plot of horizontal increments (arrows)**

**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**



[\*10<sup>-6</sup>]

A : -28.000

B : -24.000

C : -20.000

D : -16.000

E : -12.000

F : -8.000

G : -4.000

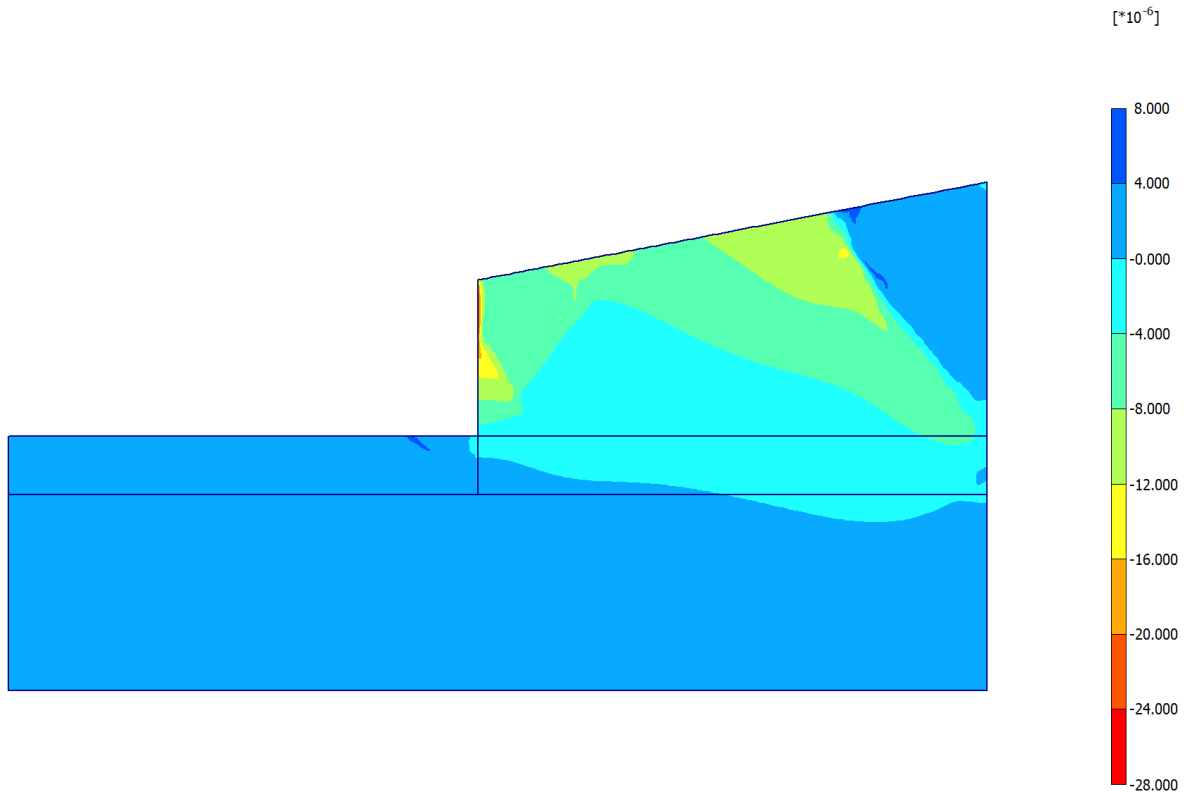
H : -0.000

I : 4.000

J : 8.000

Fig. 1.15 Plot of horizontal increments (contour lines)

- Step no: 57 - ( Phase: 1 )

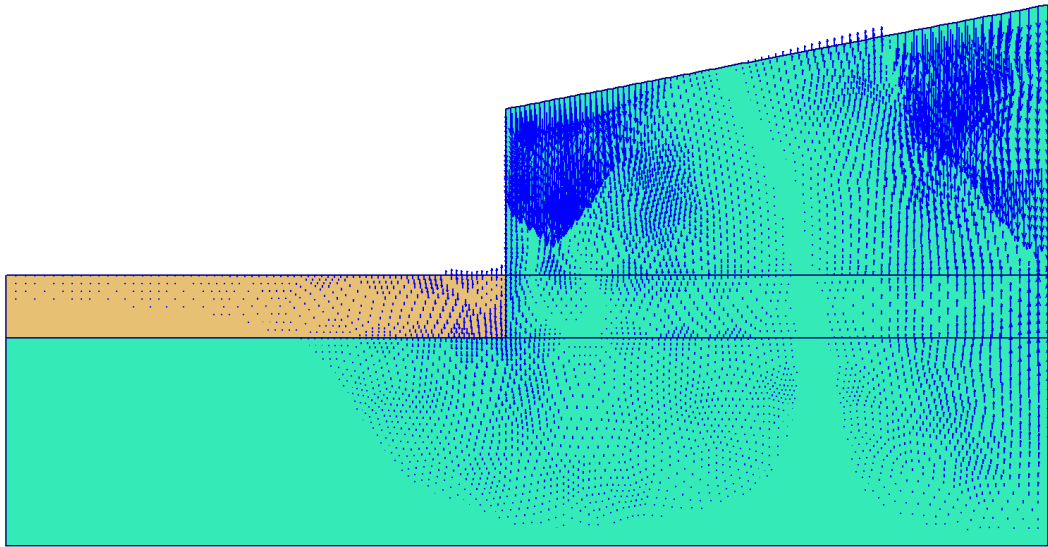


**Fig. 1.16 Plot of horizontal increments (shadings)**

**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**

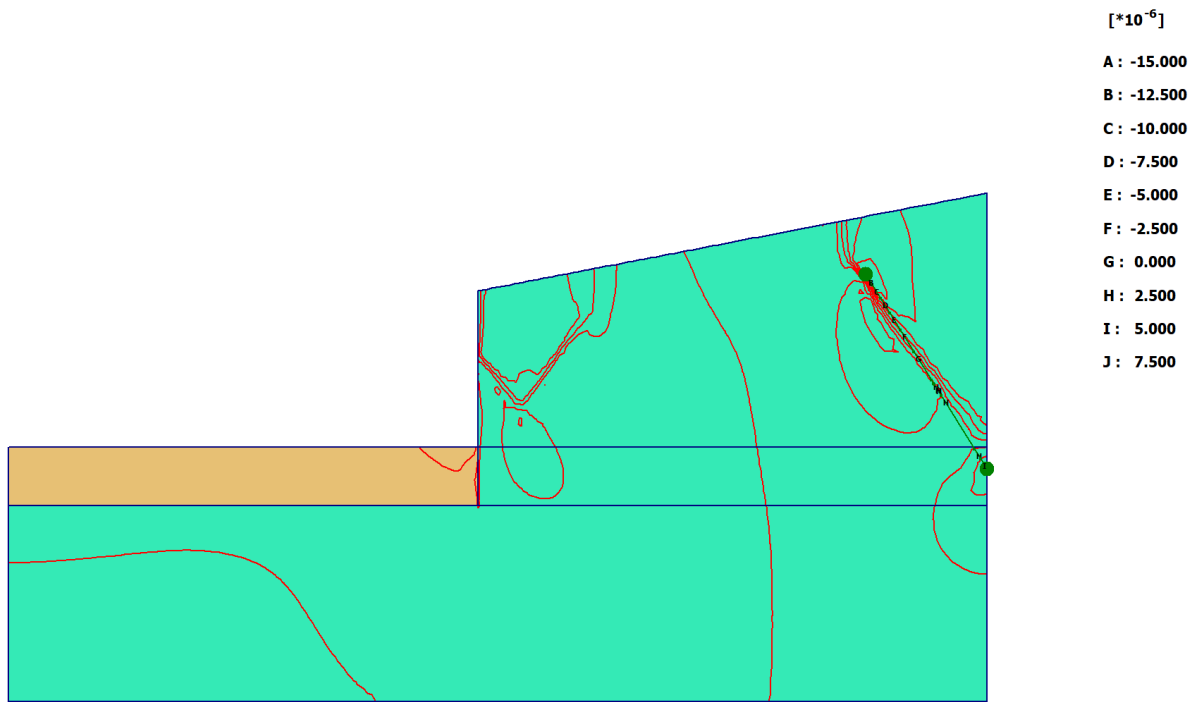


Plot of vertical increments



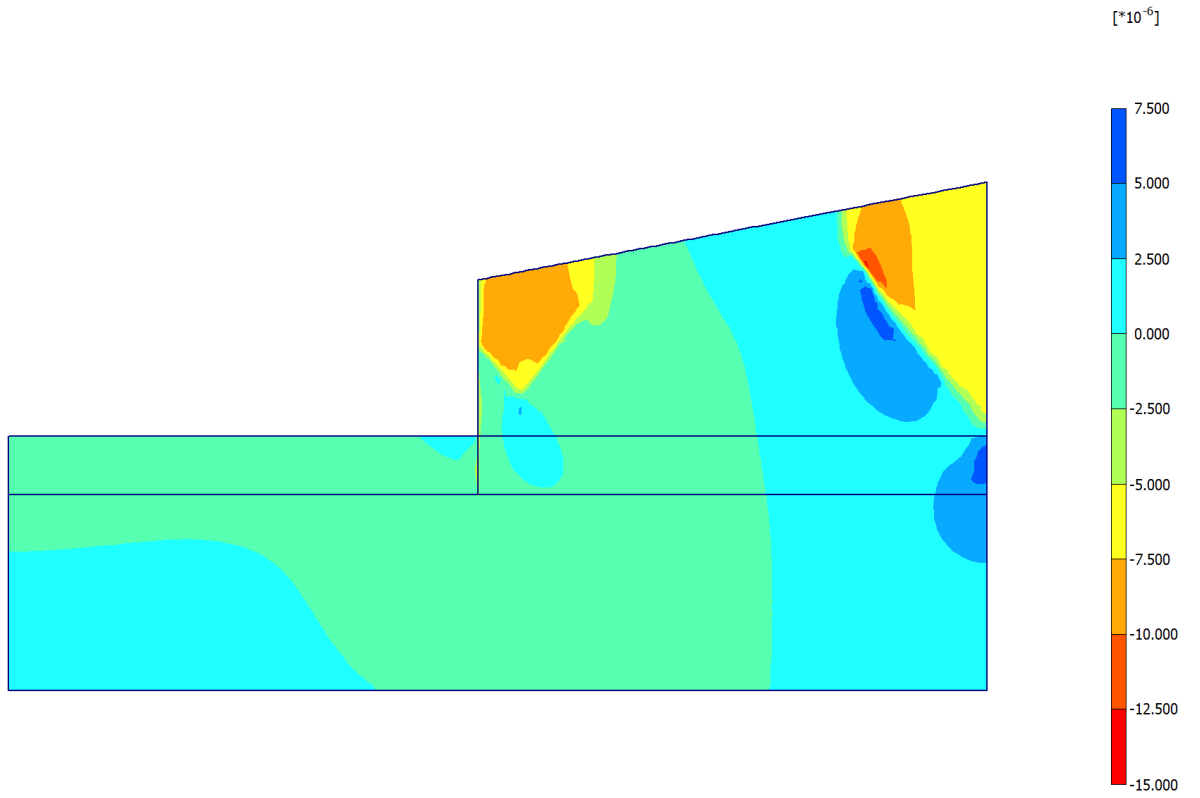
**Fig. 1.17 Plot of vertical increments (arrows)**

**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**



**Fig. 1.18 Plot of vertical increments (contour lines)**

**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**

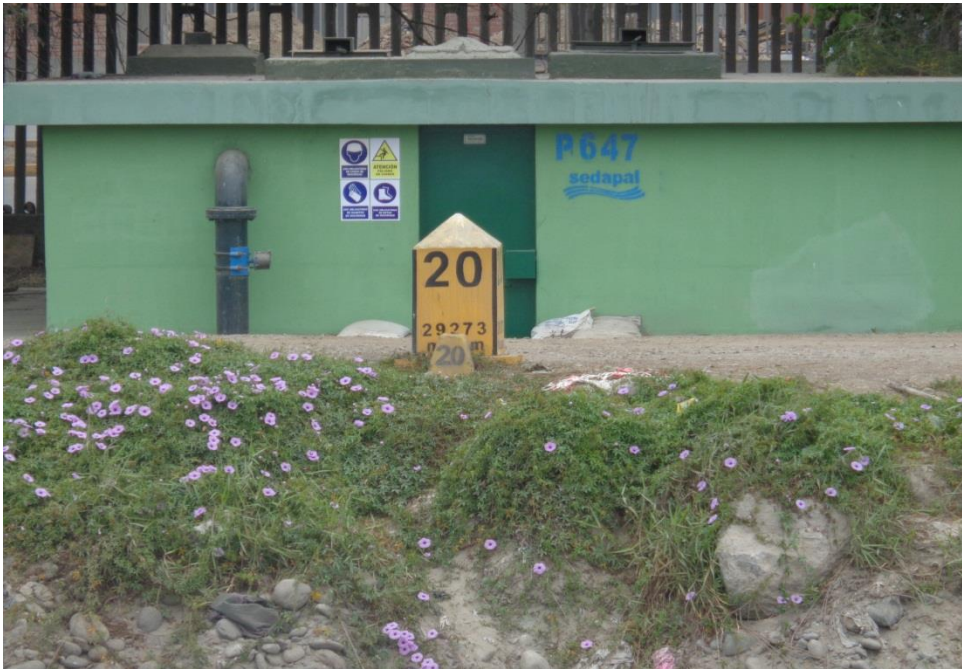


**Fig. 1.19 Plot of vertical increments (shadings)**

**- Step no: 57 - ( Phase: 1 )**

## **ANEXO 2**

### **PANEL FOTOGRÁFICO**











## **ANEXO 3**

### **ENSAYO DE LABORATORIO Y MUESTRA IN SITU**

**LABORATORIO CHUQUI PERÚ**

	<b>INFORME TÉCNICO</b> <b>CHQ-170523-IT-CO-001</b>				<b>Código del Proyecto:</b> 170624			
					<b>Revisión:</b> A			
					<b>Páginas:</b> 22			
<b>Proyecto:</b> "VALORIZACIÓN DE PÉRDIDA O DAÑOS EN LA PANTALLAS PENDIENTES DE REHABILITACIÓN Y/O RECONSTRUCCIÓN"					<b>Especialidad:</b> Concreto			
<b>Título: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE TESTIGO DIAMANTINOS ASTM C 42</b>								
<b>CONTROL DE REVISIONES</b>								
Rev.	Fecha	Elaborado		Revisado		Verificado		Descripción del Cambio
		Iniciales	Firma	Iniciales	Firma	Iniciales	Firma	
A	05/12/2017	DBH		CLL		OLL		Emitido para revisión
B	28/12/2017	DBH		JOV		OLL		
C								
D								



## MULTISERVICIOS CHUQUI PERU E.I.R.L

DIVISION DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO,  
ASFALTO Y ENSAYOS ESPECIALES

DIRECCIÓN : Av. El Bosque N° 175 Ate - Lima

TELÉFONO : Rpc. 982312807 - #949541422 - #952607243

E - MAIL : chuqi.peru@gmail.com, odiliolaveriano@gmail.com

### Ensayo de resistencia a la compresión simple de Testigo Diamantino ASTM C 42

**Proyecto** : "Valorización de Pérdida o Daños en la Pantallas Pendientes de Rehabilitación y/o Reconstrucción"

**Solicitante** : Trinity Group S.A.C.

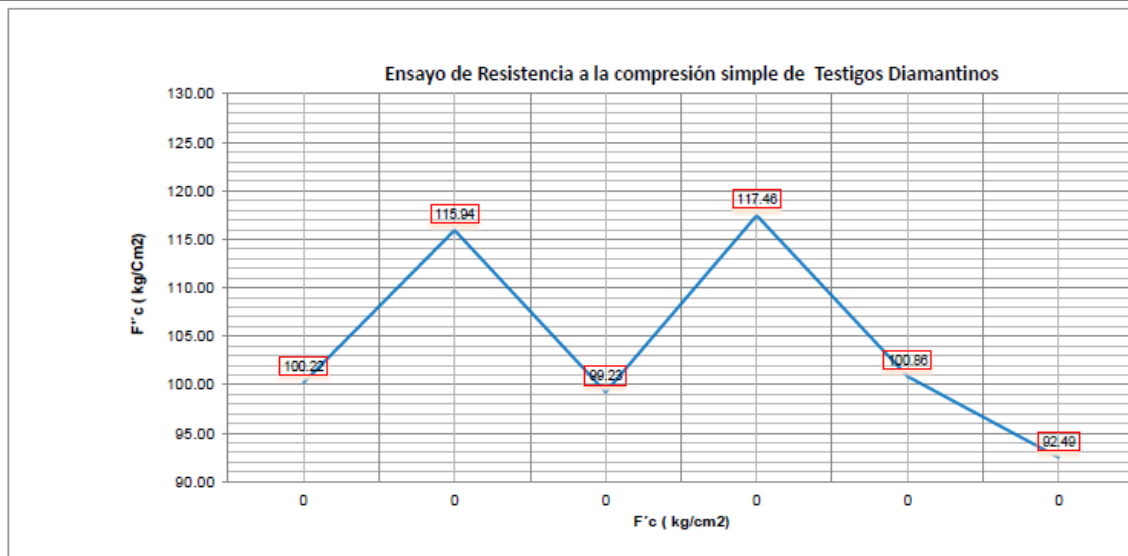
**Ubicación** : Río Rimac - Ate Vitarte

**Fecha de Extracción** : 30 de Noviembre del 2017

**Ensayado Por** : Enrique Cirilo Laveriano López

<b>Equipo de Ensayo</b> :	Prensa Hidráulica	Marca	A&A INSTRUMENTS	Serie	130715	Fecha de Calibración	01 de Noviembre del 2017
---------------------------	-------------------	-------	-----------------	-------	--------	----------------------	--------------------------

Muestra	Descripción	Estructura	Fecha de Vaceado	Fecha de Rotura	Area (Cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Altura de Testigos (cm)	Diámetro (cm)	Relación L/D	Factor de Corrección	Resist. Corregida	Resist. (Promedio)
1	Pantalla N° 03	Pantalla	30/11/2017	03/12/2017	69.40	69.4	7082	102.0	17.50	9.400	1.86	0.99	101.02	100.22
2			30/11/2017	03/12/2017	72.38	71.2	7269	100.4	18.00	9.600	1.88	0.99	99.43	
3	Pantalla N° 05	Pantalla	30/11/2017	03/12/2017	75.43	85.4	8714	115.5	16.90	9.800	1.72	0.98	113.22	115.94
4			30/11/2017	03/12/2017	75.43	88.6	9041	119.9	18.40	9.800	1.88	0.99	118.66	
5	Pantalla N° 10	Pantalla	30/11/2017	03/12/2017	76.98	70.1	7153	92.9	16.40	9.900	1.66	0.97	90.14	99.23
6			30/11/2017	03/12/2017	72.38	78.4	8000	110.5	17.40	9.600	1.81	0.98	108.31	
7	Pantalla N° 14	Pantalla	30/11/2017	03/12/2017	73.90	88.4	9020	122.1	19.20	9.700	1.98	1.00	122.07	117.46
8			30/11/2017	03/12/2017	70.88	78.4	8000	112.9	18.40	9.500	1.94	1.00	112.86	
9	Pantalla N° 19	Pantalla	30/11/2017	03/12/2017	69.40	65.4	6673	96.2	16.90	9.400	1.80	0.99	95.20	100.86
10			30/11/2017	03/12/2017	66.48	70.1	7153	107.6	17.40	9.200	1.89	0.99	106.53	
11	Pantalla N° 24	Pantalla	30/11/2017	03/12/2017	76.98	68.7	7010	91.1	18.90	9.900	1.91	0.99	90.16	92.49
12			30/11/2017	03/12/2017	75.43	70.1	7153	94.8	19.20	9.800	1.96	1.00	94.83	



**Observación** : De acuerdo a la información recibida del Cliente la resistencia del diseño base de Kg/CM<sup>2</sup> es 350

Elaborado Por:

Aprobado Por :

TEC: Laveriano Lopez Enrique

Nombre / Función:

Firma:

Firma:

DAVID JOSEP BRUNA LAVERIANO  
INGENIERO CIVIL  
R.F.C. CIP N° 105881



## MULTISERVICIOS CHUQUI PERU E.I.R.L.

DIVISIÓN DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO,  
ASFALTO Y EN SAYOS ESPECIALES

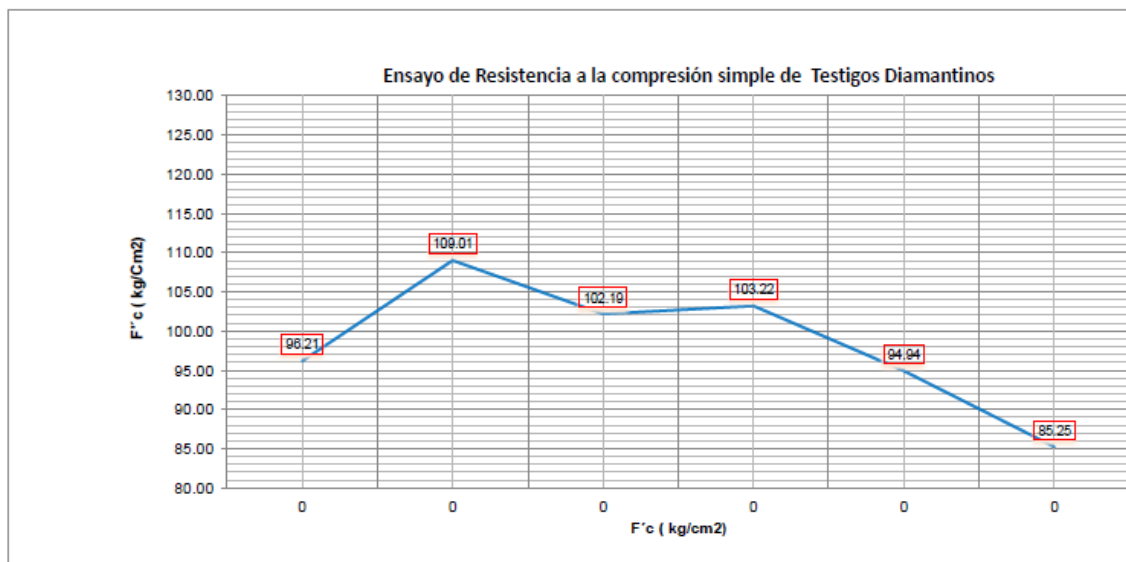
DIRECCIÓN : Av. El Bosque N° 175 Ate - Lima  
TELÉFONO : Rpc. 982312807 - #949541422 - #952607243  
E - MAIL : chuqui.peru@gmail.com, odliolaveriano@gmail.com

### Ensayo de resistencia a la compresión simple de Testigo Diamantinos ASTM C 42

Proyecto : "Valorización de Pérdida o Daños en la Pantallas Pendientes de Rehabilitación y/o Reconstrucción"  
Solicitante : Trinity Group S.A.C.  
Ubicación : Río Rimac - Ate Vitarte  
Fecha de Extracción : 30 de Noviembre del 2017  
Ensayado Por : Enrique Cirilo Laveriano López

Equipo de Ensayo :	Prensa Hidráulica	Marca	A&A INSTRUMENTS	Serie	130715	Fecha de Calibración	11 de Noviembre del 2017
--------------------	-------------------	-------	-----------------	-------	--------	----------------------	--------------------------

Muestra	Descripción	Estructura	Fecha de Vaceado	Fecha de Rotura	Area (Cm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Carga (Kg)	Resist. (Kg/cm <sup>2</sup> )	Altura de Testigos (cm)	Diámetro (cm)	Relación L/D	Factor de Corrección	Resist. Corregida	Resist. (Promedio)
13	Pantalla N° 29	Pantalla	01/12/2017	03/12/2017	75.43	72.4	7388	97.9	17.20	9.800	1.76	0.98	95.98	96.21
14			01/12/2017	03/12/2017	72.38	69.8	7122	98.4	17.40	9.600	1.81	0.98	96.43	
15	Pantalla N° 34	Pantalla	01/12/2017	03/12/2017	73.90	81.2	8286	112.1	18.20	9.700	1.88	1.00	112.12	109.01
16			01/12/2017	03/12/2017	76.98	80.7	8235	107.0	18.40	9.900	1.86	0.99	105.91	
17	Pantalla N° 39	Pantalla	01/12/2017	03/12/2017	75.43	75.4	7694	102.0	17.90	9.800	1.83	0.99	100.98	102.19
18			01/12/2017	03/12/2017	75.43	77.2	7878	104.4	17.90	9.800	1.83	0.99	103.39	
19	Pantalla N° 44	Pantalla	01/12/2017	03/12/2017	73.90	81.7	8337	112.8	16.90	9.700	1.74	0.98	110.56	103.22
20			01/12/2017	03/12/2017	72.38	69.4	7082	97.8	17.00	9.600	1.77	0.98	95.88	
21	Pantalla N° 54	Pantalla	01/12/2017	03/12/2017	75.43	70.1	7153	94.8	18.10	9.800	1.85	0.99	93.88	94.94
22			01/12/2017	03/12/2017	72.38	68.1	6949	96.0	18.70	9.600	1.95	1.00	96.00	
23	Pantalla N° 60	Pantalla	01/12/2017	03/12/2017	78.54	62.4	6367	81.1	19.20	10.000	1.92	0.99	80.26	85.25
24			01/12/2017	03/12/2017	75.43	66.7	6806	90.2	19.10	9.800	1.95	1.00	90.23	



Observación : De acuerdo a la información recibida del Cliente la resistencia del diseño base de Kg/CM2 es 350

Elaborado Por:

TEC: Celso Laveriano Lopez

Firma:

Aprobado Por :

Nombre / Función:

Firma:

DAVID JOSEPH BRAVA LAVERIANO  
INGENIERO CIVIL  
R.F.G. D.P.N° 109991

**ANEXO - FOTOS DIAMANTINA**

**PANTALLA N° 03**



**PANTALLA N° 05**



PANTALLA N° 10



PANTALLA N° 14



PANTALLA N° 19



PANTALLA N° 24



PANTALLA N° 29



PANTALLA N° 34







## MULTISERVICIOS CHUQUI PERU E.I.R.L

DIVISION DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO,  
ASfalto Y ENSAYOS ESPECIALES

DIRECCIÓN : Av. El Bosque N° 175 Ate - Lima  
TELÉFONO : Rpc 982312807 - #949541422 - #952607243  
E - MAIL : chuqi.peru@gmail.com, odliolaveriano@gmail.com

<b>Cliente</b>	"Valorización de Pérdida o Daños en la Pantallas Pendientes de Rehabilitación y/o Reconstrucción"				
<b>Fecha de Ensayo</b>	27/12/2017				
<b>Solicitante:</b>	Trinity Group S.A.C.				
<b>Ubicación:</b>	Rio Rimac - Ate Vitarte				
<b>Resistencia Nominal</b>	f <sub>c</sub> 140 kg/cm <sup>2</sup>				
<b>Esclerómetro</b>	ZC3-A Concrete Testing Hammer				
<b>Estructura :</b>	Pantalla n° 49,54,60				
	ELEMENTO				
	Pantalla N°49	Pantalla N°54	Pantalla N°60		
<b>Fecha de vaciado</b>					
<b>Edad (días)</b>					
<b>Rebote N°</b>	$\alpha = \text{°}$	$\alpha = \text{°}$	$\alpha = \text{°}$		
1	22	20	24		
2	21	23	25		
3	22	24	23		
4	23	25	21		
5	<del>26</del>	<del>27</del>	<del>28</del>		
6	<del>26</del>	<del>28</del>	<del>30</del>		
7	21	23	23		
8	22	23	25		
9	24	21	24		
10	21	26	26		
11	23	24	28		
12	<del>18</del>	<del>20</del>	<del>20</del>		
13	22	24	25		
14	<del>18</del>	<del>21</del>	<del>21</del>		
<b>Promedio<sup>(1)</sup></b>	22.1	23.3	24.4		
<b>Dev. Estan.<sup>(1)</sup></b>	1.0	1.8	1.9		
<b>f<sub>c</sub><sub>cubos</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	110.0	120.0	130.0		
<b>f<sub>c</sub> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	88.5	102.0	110.5		

**Notas:**

- Según la norma ASTM C-805 se deben tomar 10 valores de lectura del rebote representativos, es decir que ninguno de los valores debe variar en más de 6 unidades del promedio y la desviación estándar no debe exceder de 2.5 unidades. En campo se tomarán 14 lecturas del rebote, de las cuales se descartarán los dos valores más altos y los dos más bajos y con los que quedan se calculará el promedio y la desviación estándar.
- Este valor es el de la resistencia leída en la escala del esclerómetro tomada del gráfico del valor de  $\alpha$  correspondiente y está referido a la resistencia a compresión en cubos de concreto.
- Este valor corresponde a la resistencia a la compresión del concreto referida al ensayo en cilindros estándar o el f<sub>c</sub> que comúnmente se utiliza.  
El factor de correlación de especímenes cúbicos a cilíndricos es de 0.85 (según ACI 506R-90).

**Elaborado Por:**

TEC: Laberiano Lopez Celso

**Revisado Por:**

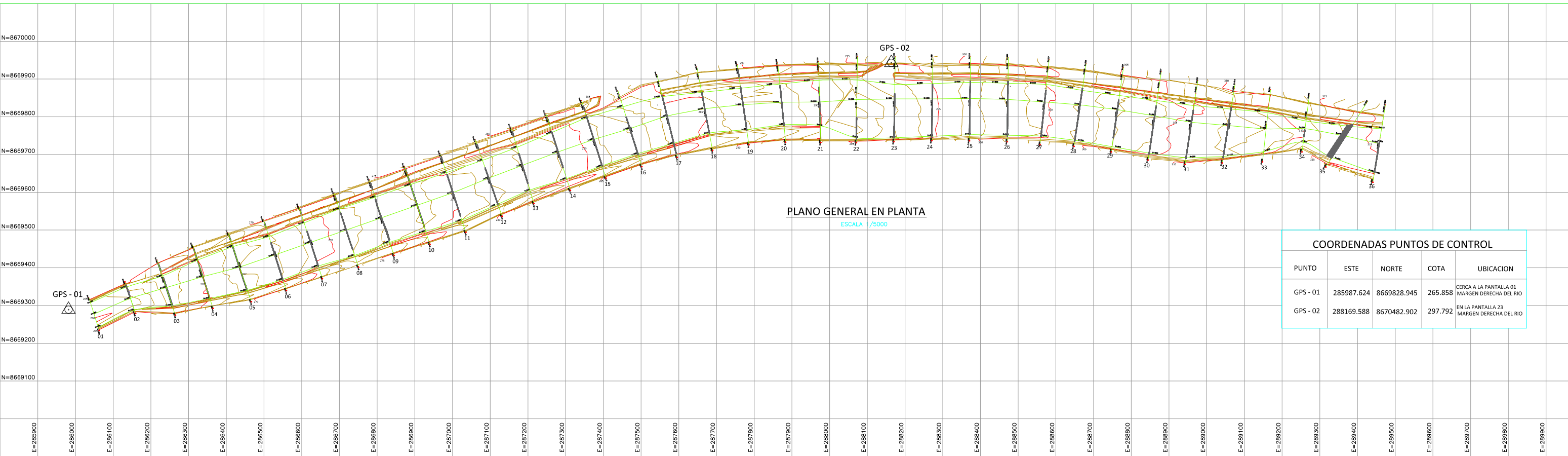
Nombre/Función

DAVID JOSEPH BRAVALHERMOZA  
INGENIERO CIVIL  
R.F.C. CIP N° 100591

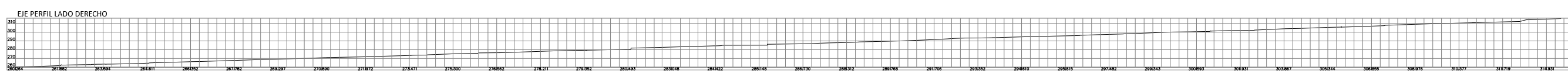
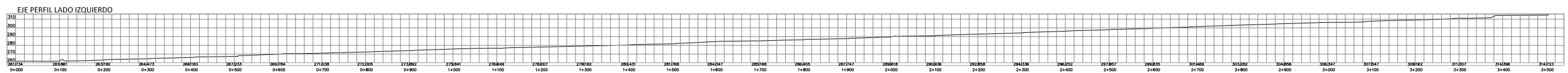
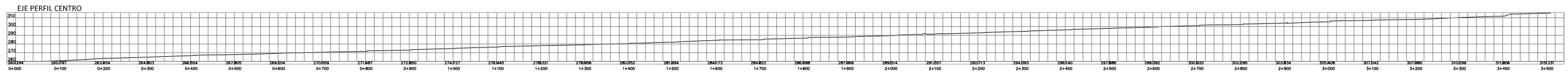
# LABORATORIO CHUQUI PERÚ



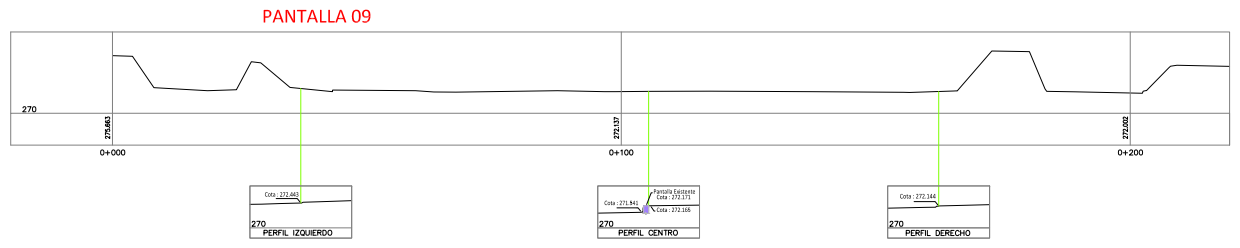
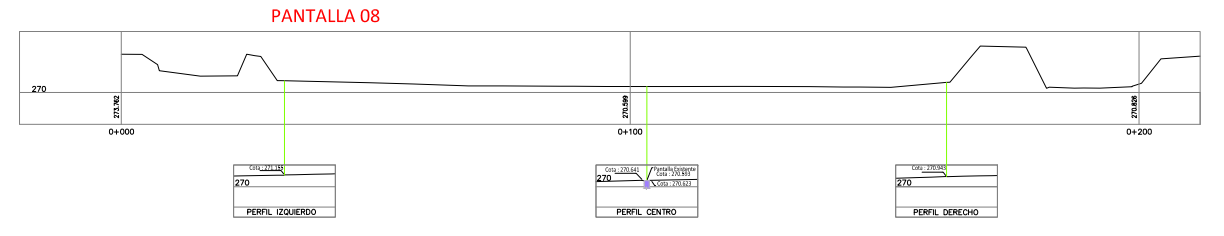
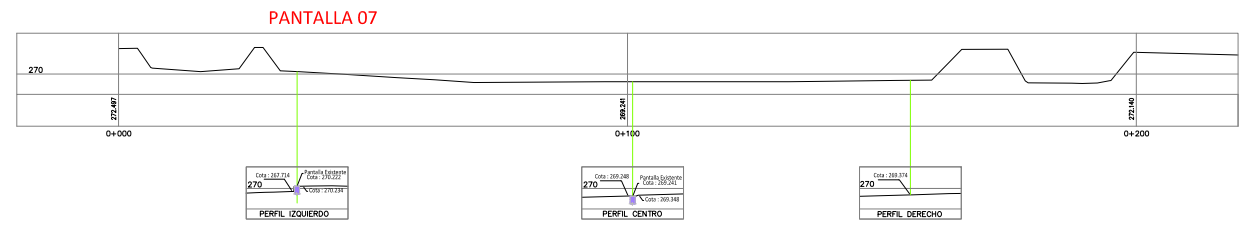
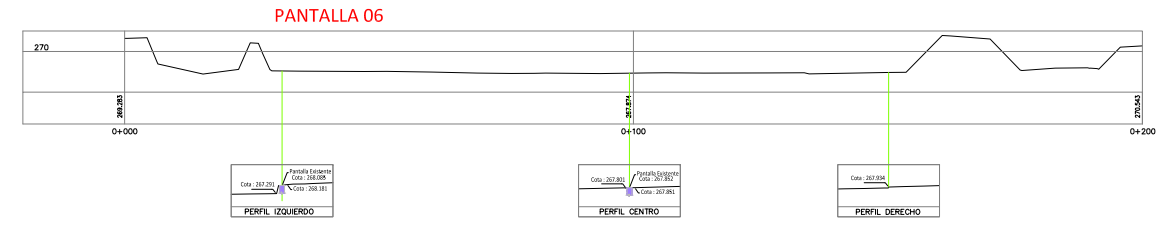
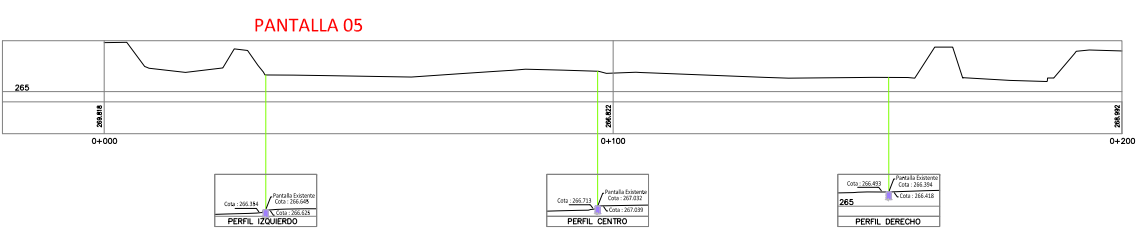
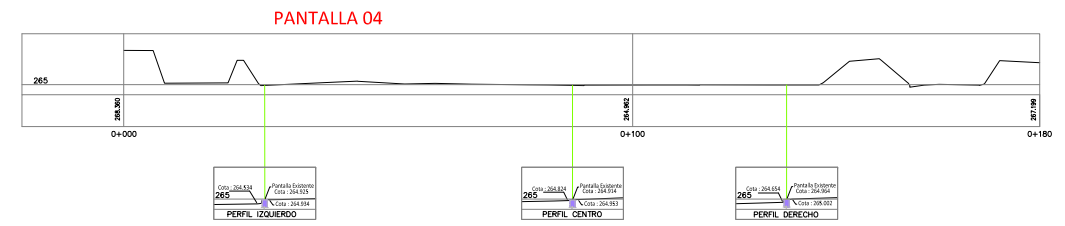
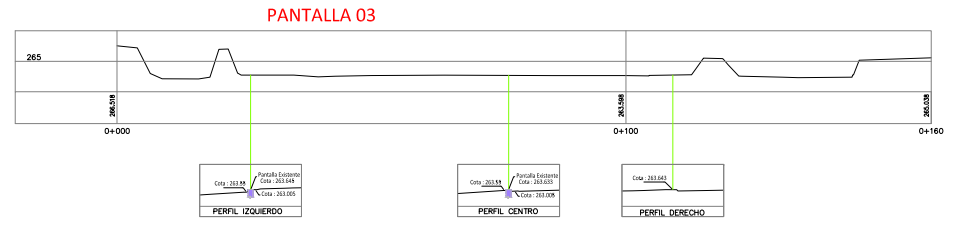
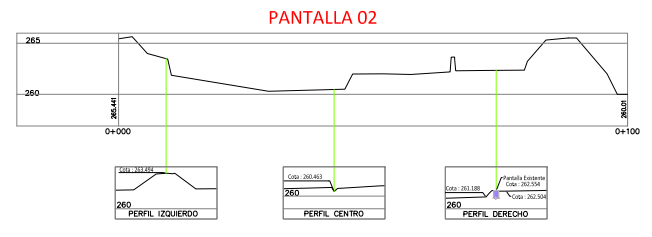
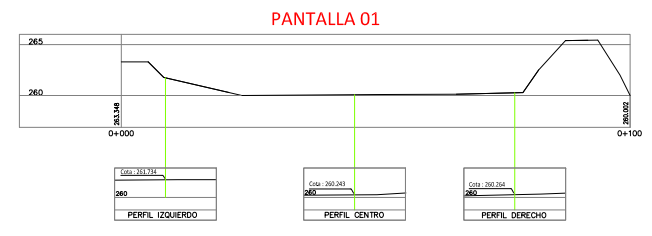
**ANEXO 4**  
**PLANOS**



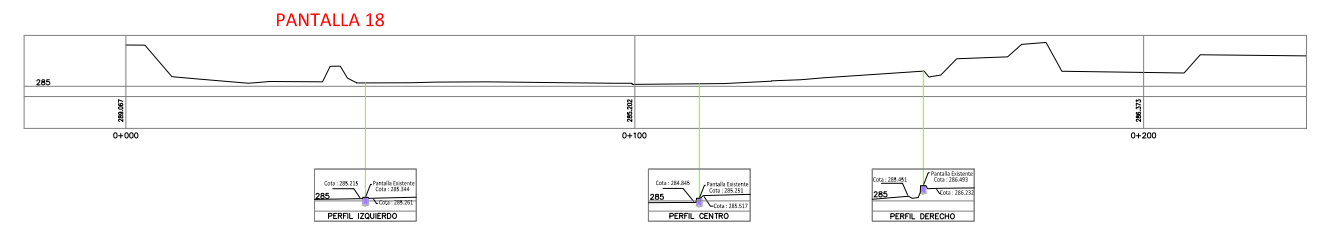
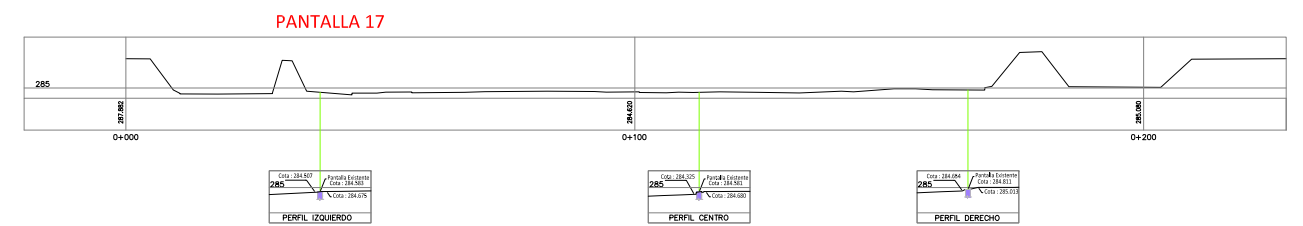
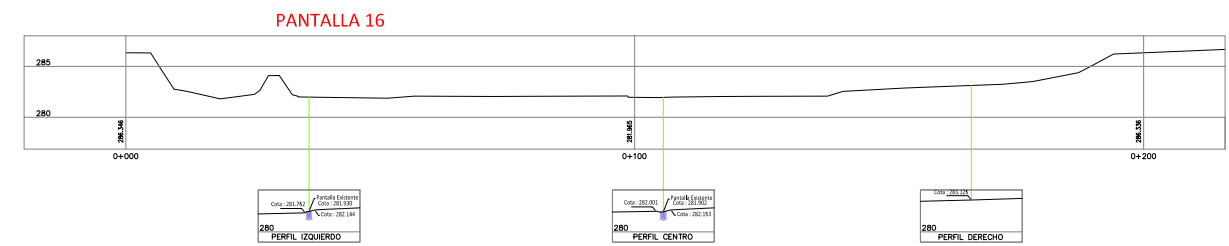
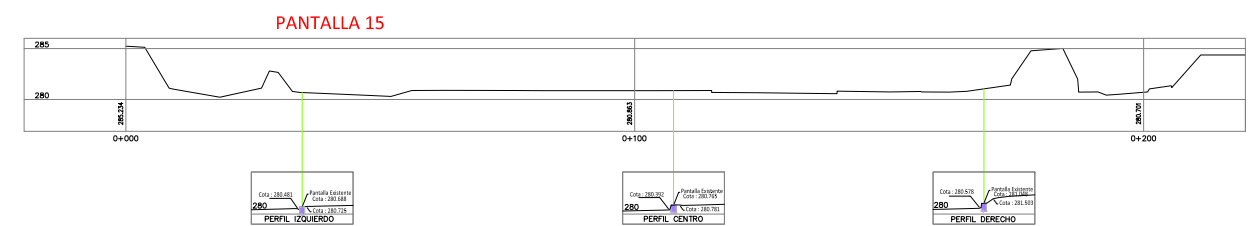
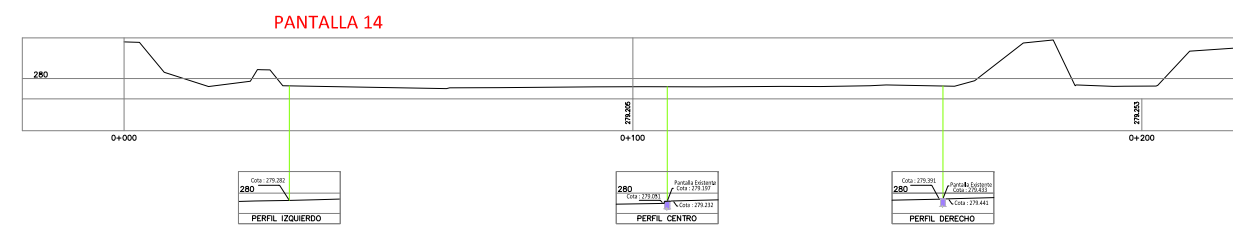
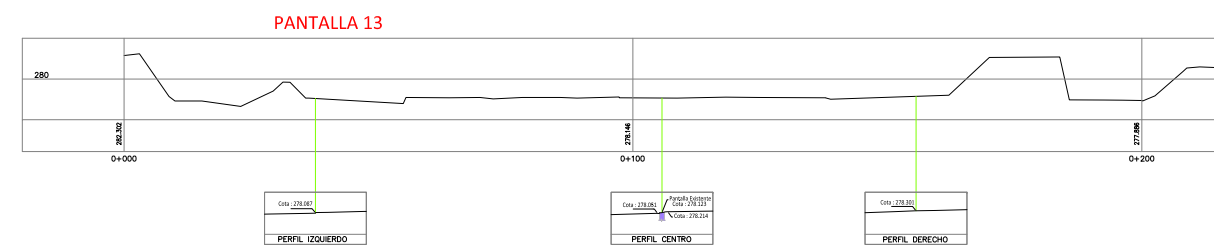
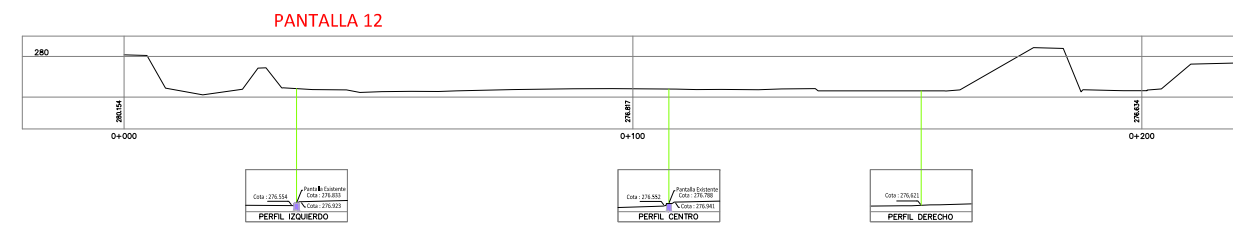
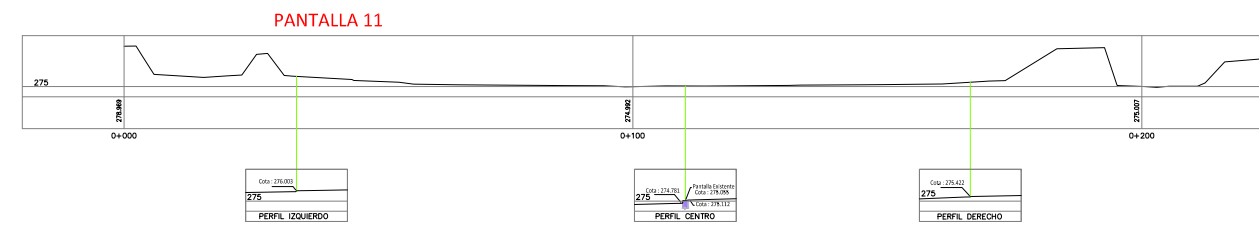
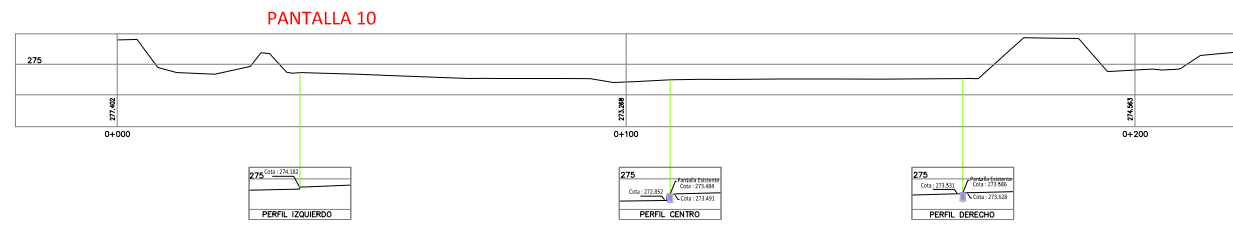
COORDENADAS PUNTOS DE CONTROL				
PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	UBICACION
GPS - 01	285987.624	8669828.945	265.858	CERCA A LA PANTALLA 01 MARGEN DERECHA DEL RIO
GPS - 02	288169.588	8670482.902	297.792	EN LA PANTALLA 23 MARGEN DERECHA DEL RIO



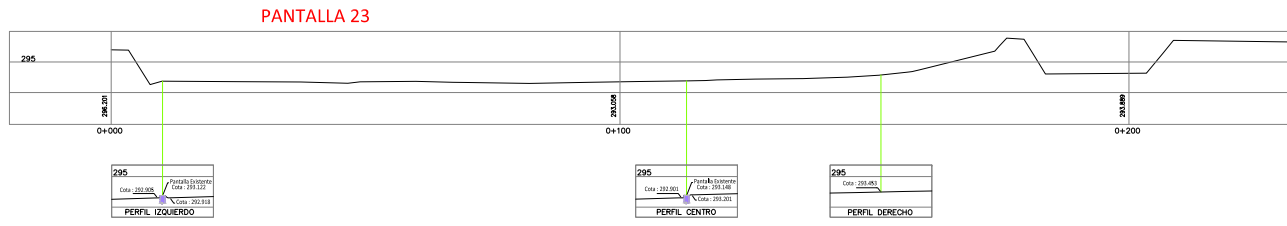
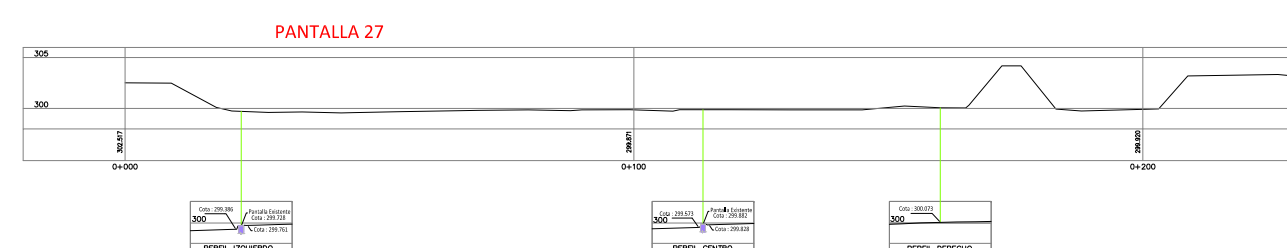
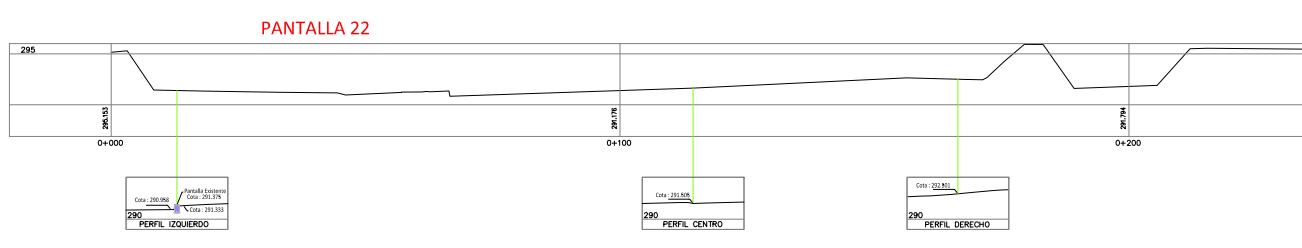
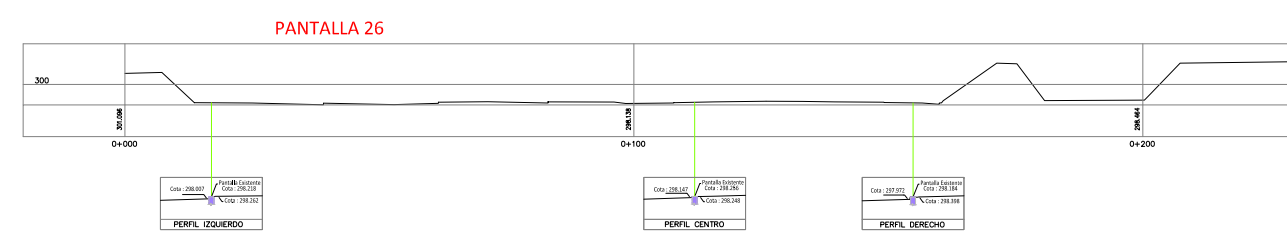
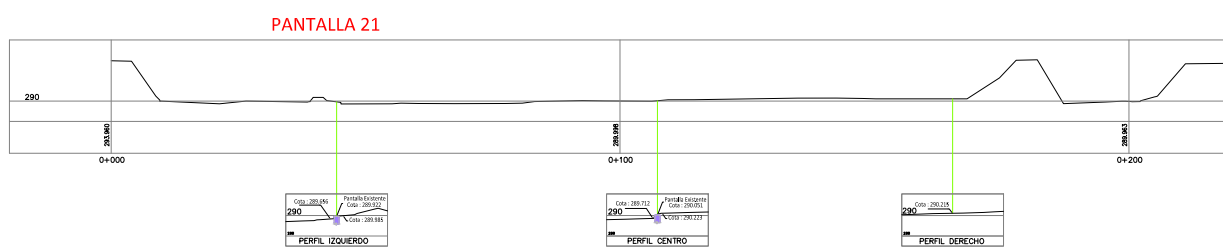
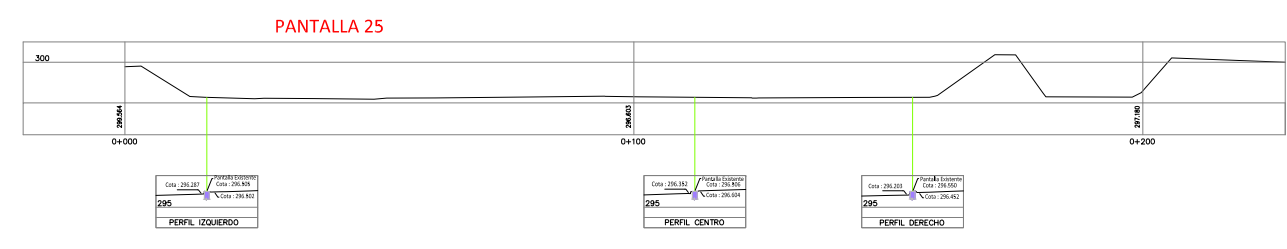
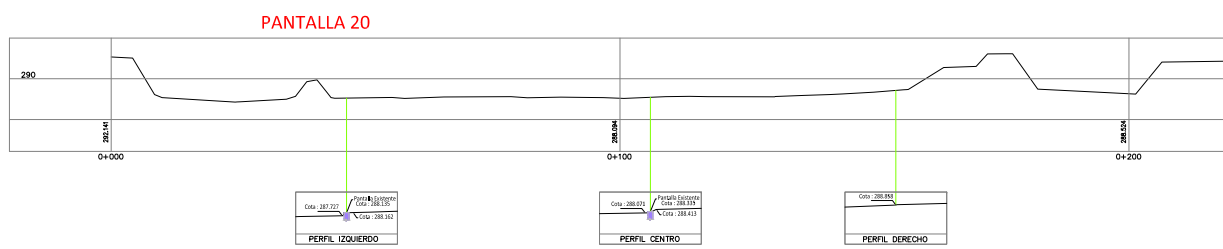
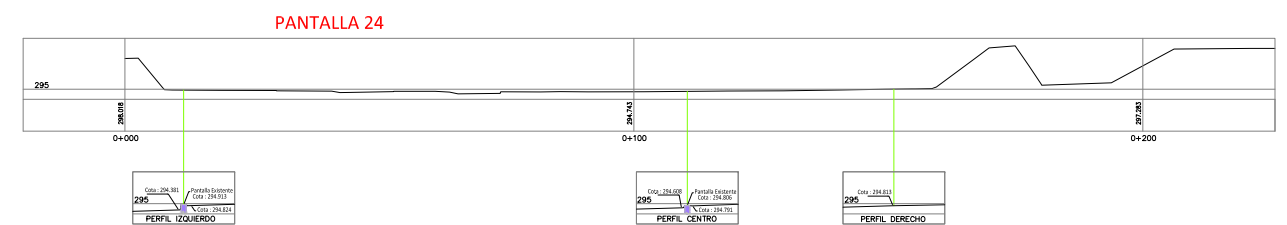
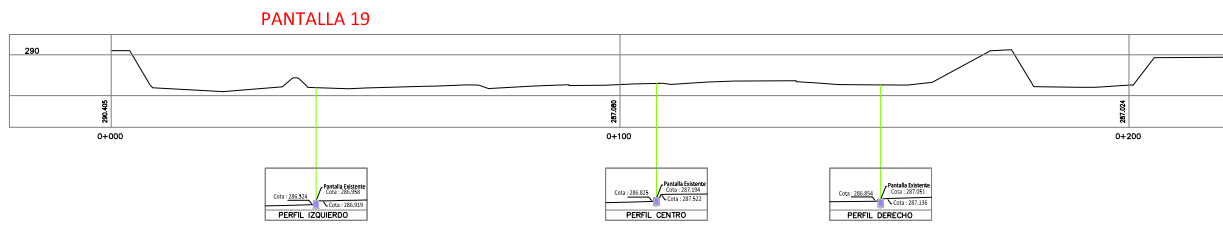
<b>Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima</b>		
Proyectista:		
Proyecto:		Districto: El Agustino
<b>"Valorización de Pérdidas o Daños en las Pantallas Pendientes de Rehabilitación y/o Reconstrucción"</b>		Provincia: Lima
		Departamento: Lima
		Dibujó: Abel Melgar P.
		Escala: 1/5000
Plano:		Profesional Responsable: Ing. José Oropeza V. - CIP N° 17839
Planta y Perfil de Pantallas		Lugar: Planta La Atarjea - Río Rímac
		Fecha: Diciembre 2017
		<b>01</b>
		Total de Planos: 01/05



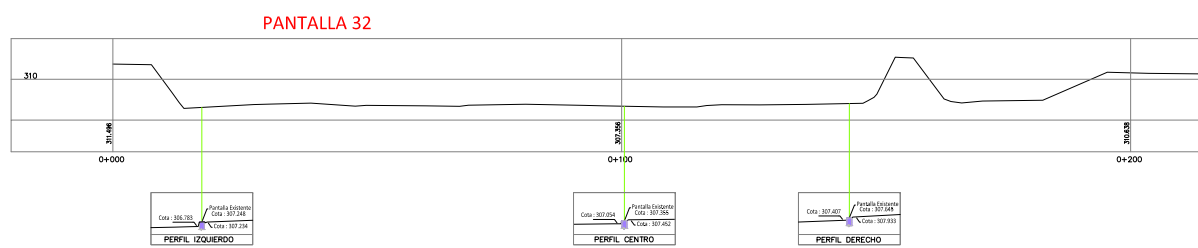
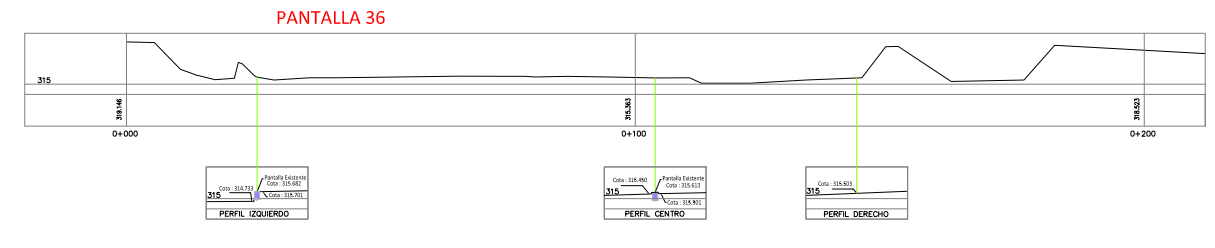
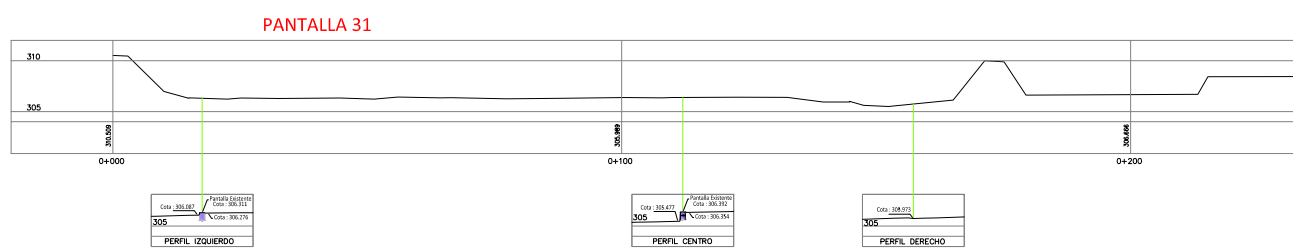
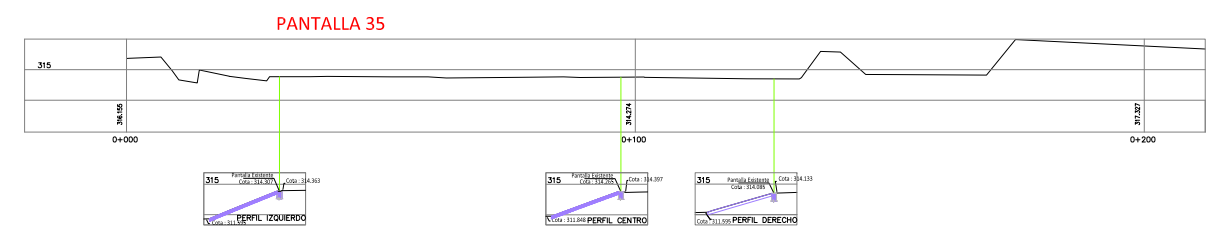
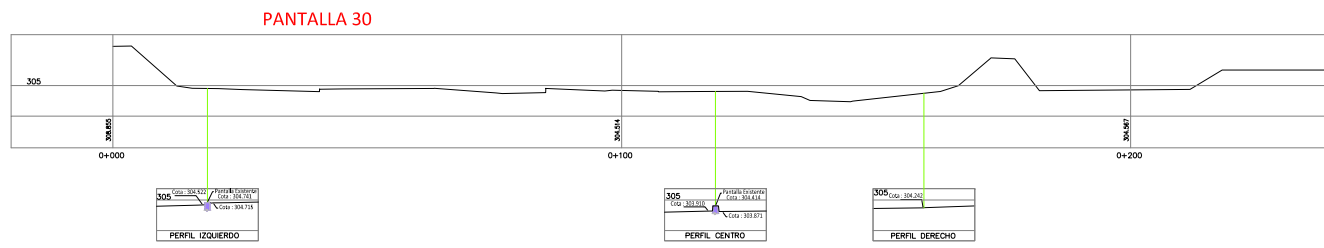
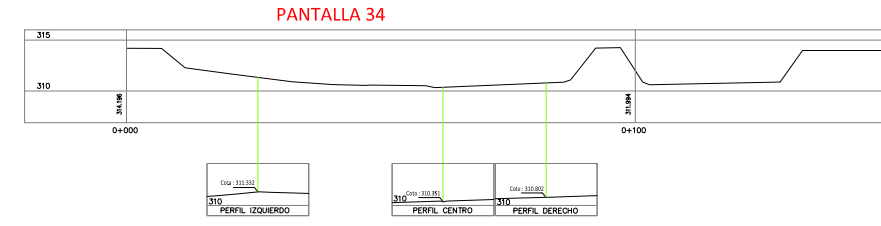
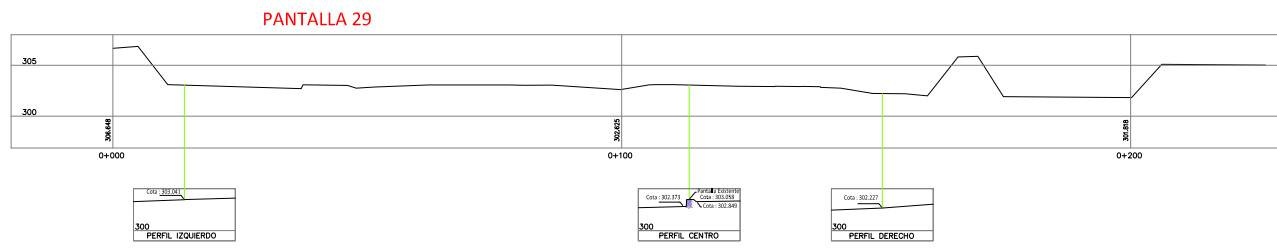
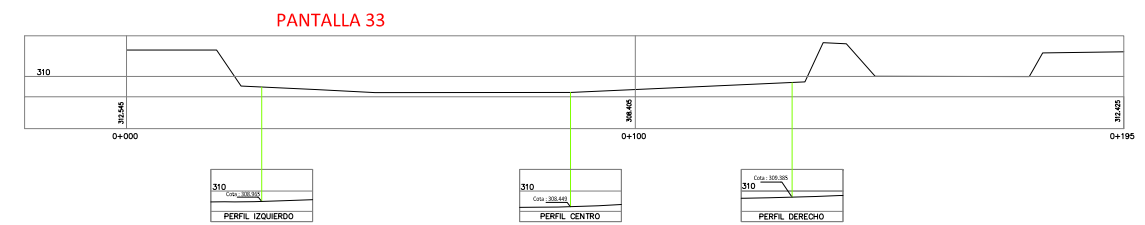
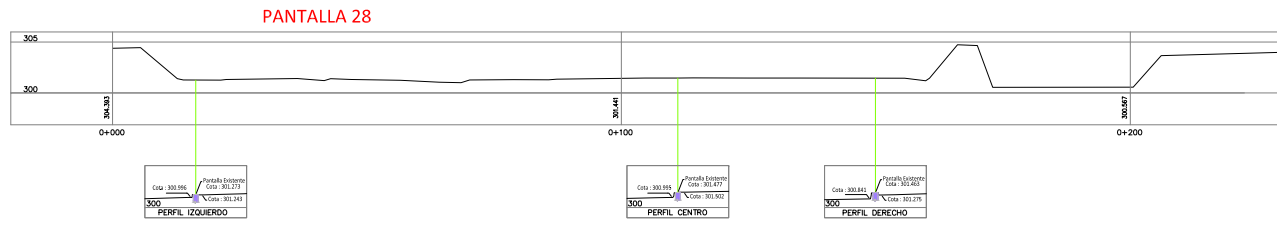
Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima			
Proyectorista:			
Proyecto:	Districto:	El Agustino	Plano N°:
<b>"Valorización de Pérdidas o Daños en las Pantallas Pendientes de Rehabilitación y/o Reconstrucción"</b>	Provincia:	Lima	<b>02</b>
	Departamento:	Lima	
	Dibujo:	Abel Melgar P.	
	Escala:	1/750	
Plano:	Profesional Responsable:	Ing. : José Oropeza V. - CIP N° 17839	
Secciones de Pantallas (1 - 9)		Lugar:	Planta La Atarjea - Río Rímac
		Fecha:	Diciembre 2017
			Total de Planos: 02/05



Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima		
Proyectista:		
Proyecto:	Districto: El Agustino	Plano N°:
<b>"Valorización de Pérdidas o Daños en las Pantallas Pendientes de Rehabilitación y/o Reconstrucción"</b>	Provincia: Lima	<b>03</b>
	Departamento: Lima	
	Dibujos: Abel Melgar P.	
	Escala: 1/750	
Plano:	Profesional Responsable: Ing. : José Oropeza V. - CIP N° 17839	Total de Planos: 03/05
Secciones de Pantallas (10 - 18)	Lugar: Planta La Atarjea - Río Rímac	
	Fecha: Diciembre 2017	



Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima			
Proyectista:			
Proyecto:	Districto:	El Agustino	Plano N°:
<b>"Valorización de Pérdidas o Daños en las Pantallas Pendientes de Rehabilitación y/o Reconstrucción"</b>	Provincia:	Lima	<b>04</b>
	Departamento:	Lima	
	Dibujo:	Abel Melgar P.	
	Escala:	1/750	
	Profesional Responsable:	Ing. : José Oropeza V. - CIP N° 17839	
Plano:	Secciones de Pantallas (19 - 27)		Total de Planos:
	Lugar:	Planta La Atarjea - Río Rímac	04/05
	Fecha:	Diciembre 2017	



<b>Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima</b>			
Proyectista:			
Proyecto:	Distrito:	El Agustino	Plano N°:
<b>"Valorización de Pérdidas o Daños en las Pantallas Pendientes de Rehabilitación y/o Reconstrucción"</b>	Provincia:	Lima	<b>05</b>
	Departamento:	Lima	
	Dibujó:	Abel Melgar P.	
	Escala:	1/750	
	Plano:	Secciones de Pantallas (28 - 36)	
Profesional Responsable:	Ing. : José Oropeza V. - CIP N° 17839	Total de Planos:	05/05
Lugar:	Planta La Atarjea - Río Rímac	Fecha:	Diciembre 2017