



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y**  
**AGRIMENSURA**



**ESTABLECER LA RELACIÓN QUE EXISTE ENTRE EL  
ASENTAMIENTO DE LA SUPERFICIE Y LA CONVERGENCIA  
EN EL TÚNEL TRAMO OLLACHEA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**MARIBEL CONDORI CHECMAPUCO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR**

**PUNO-PERÚ**

**2024**



# MARIBEL CONDORI CHECMAPUCO

## ESTABLECER LA RELACION QUE EXISTE ENTRE EL ASENTAMIENTO DE LA SUPERFICIE Y LA CONVERGENCIA EN...

Universidad Nacional del Altiplano

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

tm:oid::8254:418837405

92 Páginas

Fecha de entrega

26 dic 2024, 9:56 a.m. GMT-6

15,120 Palabras

Fecha de descarga

26 dic 2024, 10:00 a.m. GMT-6

82,390 Caracteres

Nombre de archivo

ESTABLECER LA RELACION QUE EXISTE ENTRE EL ASENTAMIENTO DE LA SUPERFICIE Y LA CONVER.....pdf

Tamaño de archivo

3.0 MB





## 14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



VICTOR C. FLORES FLORES  
ASESOR



INCONDORI A.  
SUB-DIRECTOR INVESTIG.  
EPIT#





## DEDICATORIA

Dedico esta tesis en primer lugar a Dios por que me dio el don de la perseverancia, ya que gracias a él logrado concluir satisfactoriamente mi carrera, a la Universidad Nacional del Altiplano que me abrió sus puertas para realizar mi formación profesional y nos dio la posibilidad de ser mejores personas y buenos profesionales,

A los catedráticos por compartir su conocimiento y ayudarnos a fortalecer nuestras habilidades y conocimientos profesionales y que con el pasar de los años se convirtieron en nuestro modelo profesional,

A mis padres Rosa y Juan, porque ellos me apoyaron en todo momento de mi formación profesional, a mis hermanos Adela, Cesar, Delfina, Wilfredo y Vanesa que me brindaron consejos para ser una mejor persona.

A mi asesor de tesis por ayudarme en el desarrollo de este proyecto de investigación, a mis compañeros de trabajo de operadora sur Perú, por sus consejos y por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente y a desenvolverme mejor en mi ámbito laboral finalmente a todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

**Maribel Condori Checmapuco**



## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sentido agradecimiento a las personas que contribuyeron en la realización de esta tesis.

En primer lugar, a la Universidad Nacional del Altiplano, facultad de ciencias agrarias, escuela profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura por su formación profesional

Así mismo agradezco sinceramente a mi asesor de tesis Msc. Víctor Cipriano Flores Flores, por su orientación, paciencia y apoyo constante a lo largo de todo el proceso de investigación. Sus valiosas sugerencias y comentarios han sido fundamentales para lograr los objetivos propuestos.

De la misma forma al Msc. Edwin Llanque Chayña, por sus consejos, sus conocimientos, orientaciones que inculco en mi un sentido de responsabilidad.

También quiero agradecer al Téc. Lucio Arizabal Dueñas, Téc Lenin Cuzma Serpentegui y al Ing. Jorge Luis Yamo Valladares por su colaboración en la realización de monitoreo de la zona de estudio, lo que permitió obtener datos valiosos para el desarrollo de esta investigación.

**Maribel Condori Checmapuco**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 15**

**ABSTRACT..... 16**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 17**

1.1.1. Problema general ..... 18

1.1.2. Problemas específicos..... 19

**1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 19**

1.2.1. Hipótesis general ..... 19

1.2.2. Hipótesis específicas..... 19

**1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO ..... 19**

**1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 20**

1.4.1. Objetivo general ..... 20

1.4.2. Objetivos específicos ..... 20

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LA LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN ..... 21**

2.1.1. Antecedentes internacionales ..... 21



2.1.2. Antecedentes nacionales.....	24
<b>2.2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>26</b>
2.2.1. Estructura geológica .....	26
2.2.2. Estabilidad en túnel .....	27
2.2.3. Discontinuidad.....	28
2.2.4. Fallas controladas por estructuras.....	30
2.2.5. Fallas controladas por estructuras.....	30
2.2.6. Instrumentos de monitoreo y estabilidad.....	31
2.2.7. Convergencias .....	32
2.2.8. Monitoreo de desplazamiento.....	33
2.2.9. Pernos extensométricos o extensómetros de anclaje y cable bolting inteligente. ....	37
2.2.10. Mecánica de Rocas .....	40
2.2.11. Clasificación geomecánica del macizo rocoso .....	41

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>44</b>
<b>3.3. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>44</b>
<b>3.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>44</b>
<b>3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>44</b>
<b>3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>45</b>
3.6.1. Técnicas de investigación.....	45
3.6.2. Instrumentos de investigación .....	45
<b>3.7. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD .....</b>	<b>45</b>



3.7.1. Validez.....	45
3.7.2. Confiabilidad .....	46
<b>3.8. POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>47</b>
3.8.1. Población .....	47
3.8.2. Muestra .....	47
<b>3.9. VARIABLES.....</b>	<b>48</b>
3.9.1. Conceptualización de la variable 1 .....	48
3.9.2. Conceptualización de la variable 2.....	48
<b>3.10. DISEÑO ESTADÍSTICO .....</b>	<b>49</b>
3.10.1. Hipótesis estadística para el objetivo general.....	49
3.10.2. Hipótesis estadística para los objetivos específicos .....	50
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>4.1. ASENTAMIENTO SUPERFICIAL Y TIPO DE SUELO .....</b>	<b>52</b>
4.1.1. Resultados Estadísticos del objetivo específico 1 .....	58
<b>4.2. RELACIÓN DE SUBSIDENCIA Y CONVERGENCIA .....</b>	<b>58</b>
4.2.1. Resultados Estadísticos del objetivo específico 2 .....	68
<b>4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>69</b>
4.3.1. Contrastación de la hipótesis específicos .....	69
4.3.2. Contrastación de la hipótesis general .....	71
<b>4.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>72</b>
<b>V. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>76</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>77</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>80</b>



**ÁREA:** Topografía, geodesia, cartografía y catastro.

**TEMA:** Establecer la relación que existe entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 27 de diciembre 2024



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Equipamientos utilizados para medir en geotecnia.....	32
<b>Tabla 2</b> Rango del Rho de Spearman.....	46
<b>Tabla 3</b> Indicador AdC de las variables .....	46
<b>Tabla 4</b> Puntos de muestreo geoestadístico y de análisis de relación de las variables ..	47
<b>Tabla 5</b> Operación de la primera variable.....	48
<b>Tabla 6</b> Operación de la segunda variable .....	49
<b>Tabla 7</b> Coordenadas topográficas de los pozos exploratorios.....	53
<b>Tabla 8</b> Análisis granulométrico de las calicatas 01, 02 y 03 .....	54
<b>Tabla 9</b> Características físicas y mecánicas del material de suelo por cada calicata.....	55
<b>Tabla 10</b> Resumen comparativo del tipo de suelo en los asentamientos del túnel de entrada.....	57
<b>Tabla 11</b> Coordenadas topográficas de los puntos de control de subsidencia - túnel central .....	59
<b>Tabla 12</b> Resumen de control de subsidencia - túnel central.....	60
<b>Tabla 13</b> Resumen de control de convergencia - túnel central .....	61
<b>Tabla 14</b> Coordenadas topográficas de los puntos de control de subsidencia - túnel de salida .....	64
<b>Tabla 15</b> Resumen de control de subsidencia - túnel de salida.....	64
<b>Tabla 16</b> Resumen de control de convergencia - túnel de salida.....	66



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Estructura geológica para la estabilidad de un túnel .....	27
<b>Figura 2</b> Escalas desde roca intacta hasta un macizo rocoso .....	28
<b>Figura 3</b> Sobre excavaciones en el túnel.....	30
<b>Figura 4</b> Fallas y comportamiento del macizo rocoso .....	31
<b>Figura 5</b> Extensómetro de cinta para medir convergencias. ....	34
<b>Figura 6</b> Ubicaciones de puntos de convergencias. ....	35
<b>Figura 7</b> Puntos de convergencias vs tiempo.....	35
<b>Figura 8</b> Velocidad de convergencia .....	36
<b>Figura 9</b> Extensómetro de varilla.....	36
<b>Figura 10</b> Extensómetro simple .....	37
<b>Figura 11</b> Extensométricos tipo perno .....	38
<b>Figura 12</b> Imagen cable bolting inteligent o Smart cable .....	38
<b>Figura 13</b> Extensométrico en perno en la corona .....	39
<b>Figura 14</b> Cargas extensómetro .....	40
<b>Figura 15</b> Ubicación del túnel Ollachea .....	43
<b>Figura 16</b> Ubicación de calicatas .....	53
<b>Figura 17</b> Distribución de partículas en las calicatas 01, 02 y 03.....	55
<b>Figura 18</b> Normalidad de los datos geoestadísticos procesados .....	58
<b>Figura 19</b> Normalidad de los datos geoestadísticos procesados .....	58
<b>Figura 20</b> Ubicación de los puntos de monitoreo (MG1, MG2, MG3 y MG4) – túnel central.....	59
<b>Figura 21</b> Resultados de velocidades de convergencia - túnel central .....	62



<b>Figura 22</b> Ubicación de los puntos de monitoreo (PER1, PER2, PER3, PER4, PER5, PER6 y PER7) – túnel de salida .....	63
<b>Figura 23</b> Resultados de velocidades de convergencia - túnel de salida .....	68
<b>Figura 24</b> Normalidad de los datos geoestadísticos procesados .....	68
<b>Figura 25</b> Normalidad de los datos geoestadísticos procesados .....	69
<b>Figura 26</b> Covariance de las variables de relación .....	70
<b>Figura 27</b> Covariance de las variables de relación .....	71
<b>Figura 28</b> Covariance de las variables de relación .....	72



## ACRÓNIMOS

<b>C</b>	: Calicatas
<b>GP</b>	: Grava mal graduada, mezcla de grava o arena con poco o ningún fino.
<b>GC</b>	: Grava arcillosa o mezcla de grava y arena arcillosa.
<b>GM</b>	: Grava limosa.
<b>F</b>	: Fracción del porcentaje que pasa en tamiz N°200.
<b>LL</b>	: Límite líquido
<b>IP</b>	: Índice de plasticidad
<b>N/P</b>	: Acuífero libre.
<b>GSS</b>	: Asentamiento de la superficie del suelo.
<b>AASHTO</b>	: American Association of State Highway and Transportation Officials, o en español, Asociación Estadounidense de funcionarios de Carreteras y Transporte.
<b>SUCS</b>	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
<b>KPa</b>	: Kilo pascal.
<b>CBR</b>	: Ensayo de Relación de Soporte de California.
<b>Mm</b>	: Milímetros.
<b>mm/d</b>	: Milímetros por día.
<b>Cm</b>	: Centímetros



**RMR** : Rock Mass Rating.

**RQD** : Rock Quality Designation.

**Km** : Kilómetros

**AB, BC y AC:** Designación de los pernos de anclaje.

**MTC** : Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

**EG – 2013** : Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras  
2013.

**MG** : Muestra de Galería de Emergencia.

**PER** : Perno

**H<sub>0</sub>** : Hipótesis nula.

**H<sub>1</sub>** : Hipótesis alternativa.

**GI** : Grados de libertad.



## RESUMEN

En el contexto mundial del cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, el de prevenir desastres naturales, como acceder a la comunicación rápida y económica, la investigación tiene como objetivo principal establecer la relación que existe entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea, para lo cual se utilizó fichas técnicas de recolección de datos en donde se estableció coordenadas UTM locales (X,Y) y variando Z en relación a la convergencia, subsidencia, tipo de suelo y asentamiento superficial , utilizando una metodología geoestadística de kriging, se estableció que existe una relación directa entre el asentamiento superficial y la convergencia de manera lineal y positiva.

**Palabras Claves:** Asentamiento, convergencia, subsidencia, túneles y velocidad



## ABSTRACT

In the global context of meeting the sustainable development objectives, that of preventing natural disasters, such as accessing rapid and economical communication, the main objective of the research is to establish the relationship that exists between the settlement of the surface and the convergence in the Ollachea section tunnel, for which technical data collection sheets were used where local UTM coordinates (X,Y) were established and varying Z in relation to convergence, subsidence, soil type and surface settlement, using a geostatistical methodology of kriging, it was established that there is a direct relationship between surface settlement and convergence in a linear and positive manner.

**Keywords:** Settlement, convergence, subsidence, subsidence, tunnelling and velocity



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La geografía variable, las condiciones geológicas complejas y la gestión inadecuada plantean muchos riesgos y dificultades en los procesos de la construcción en túneles, especialmente para los túneles de montaña de meseta (Chen et al., 2019). En relación con el sistema complejo de las cejas de selva en especial cuando existe una precipitación alta.

El asentamiento superficial resultante de las operaciones de excavaciones de túneles es una preocupación crítica en la ingeniería de túneles debido a su impacto potencial en las estructuras adyacentes (Huat et al., 2024). El asentamiento de la superficie del suelo debido a la tunelización puede causar daños a las infraestructuras circundantes (Niu et al., 2024). Asimismo la predicción precisa de la convergencia del túnel juega un papel importante en el diseño y la construcción de túneles, ya que la convergencia excesiva del túnel puede plantear graves problemas de seguridad (Chang et al., 2022).

Con relacion a la convergencia y el asentamiento superficial es un tema que aun no se ha resuelto para diseñar y poder construir tuneles, que estas puedan apoyar en solucionar los problemas de la sociedad (Chang et al., 2022; Chen et al., 2019; Huat et al., 2024; Niu et al., 2024). Desde el año 2012 en el subtramo vial del Km. 231+700 a Km. 232+800, se han producido grandes deslizamientos de material desde la parte superior de la ladera del margen izquierdo, que llegaron a cubrir en diferentes ocasiones toda la calzada llegando inclusive, a cubrir parte del cauce del rio Ollachea.



Dichos eventos se manifestaron extraordinaria en el año 2014, cortando durante varios días el tránsito por la carretera. A lo largo de los años son números los estudios realizados en el sector que desembocaron finalmente en la construcción del túnel tramo Ollachea, de longitud 906 metros, ubicado al lado izquierdo de la carretera actual. El mes de julio del 2020, se inician los trabajos preliminares para la construcción del túnel Ollachea, se inicia con los trabajos de corte de taludes para la generación de los portales, posteriormente se procede con el sostenimiento de los taludes, excavación de encajes para los falsos túneles, logrando excavar los primeros metros del túnel Ollachea durante el mes de noviembre del 2020.

Desde el mes de noviembre del 2020, se inicia la excavación subterránea, por tanto, fue necesario la instalación de las subsidencias de los portales y las secciones de monitoreo para medición de convergencia dentro de los túneles. En la investigación es de vital importancia debido a que tiene por finalidad determinar el asentamiento que sufre en cada uno de los portales durante todo el proceso constructivo del túnel Ollachea, más aún en la etapa de excavación, debido a que estuvieron sometidos a movimientos fuertes ocasionados por las voladuras.

Por otro lado, esta investigación permitirá señalar si el asentamiento monitoreado desde la superficie tiene relación directa con las medidas de las secciones de convergencia, asimismo nos ayudara a determinar los criterios de controles de subsidencias superficial y las medidas de las secciones de convergencia en el túnel tramo Ollachea.

### **1.1.1. Problema general**

¿Cuál es la relación que existe entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea?



### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es la relación geoespacial entre el asentamiento superficial y el tipo de suelo en el túnel tramo Ollachea?
- ¿Cuál es la relación geoespacial de la subsidencia superficial y la convergencia en el túnel tramo Ollachea?

## **1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Hipótesis general**

Existe una relación geoespacial directa y significativa entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea

### **1.2.2. Hipótesis específicas**

- Existe una relación geoespacial directa y significativa en el asentamiento superficial y el tipo de suelo en el túnel tramo Ollachea
- Existe una relación geoespacial directa y significativa de la subsidencia superficial y la convergencia en el túnel tramo Ollachea

## **1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

Los impactos en ciencia y tecnología en la implementación de nuevas metodologías de control interno y externo de túneles, con relación al tipo de suelo.

La aplicación de este estudio es mejorar la metodología de control interno y externo de túneles a fin de garantizar los posibles derrumbes en un futuro, ahorrando en grandes movimientos de tierra, como en la restauración de las vías, en la actualidad ocasionan un perjuicio económico a los contratistas.



Con relación a lo social, contribuirá en el diseño de túneles en el aspecto de la aceptación de la infraestructura en la etapa de mantenimiento y operación. Con relación a lo ambiental, contribuirá para evitar daños ambientales en el proceso de derrumbes que causan pérdida de suelos.

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Objetivo general**

Establecer la relación que existe entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Establecer la relación geoespacial entre el asentamiento superficial y el tipo de suelo en el túnel tramo Ollachea
- Establecer la relación geoespacial de la subsidencia superficial y la convergencia en el túnel tramo Ollachea



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Huang et al. (2023) en su artículo de investigación que presenta como **objetivo** complementar los estudios existentes explorando el desarrollo del asentamiento transversal y longitudinal durante las distintas etapas de la excavación de un nuevo segundo túnel que se cruza perpendicularmente.

La **metodología** es de un diseño experimental del tipo aplicada con un enfoque cuantitativo, en donde los **resultados** sugieren que cuanto mayor es la profundidad de la cubierta, más ancho es el canal de asentamiento transversal y más se desplaza la posición de asentamiento máximo hacia la línea central del túnel existente. También es evidente que cuanto menor es la profundidad de la cubierta, mayor es la tasa de aumento del asentamiento.

Otros hallazgos importantes son (i) que los desplazamientos transversales y longitudinales del túnel aumentan con un aumento en las distancias de los pilares cuando se excava primero el túnel superior y viceversa, y (ii) el asentamiento transversal máximo ocurre en la línea central del túnel existente mientras que el asentamiento longitudinal máximo ocurre en y alrededor del frente de excavación. Se **concluye** que a medida que aumenta el diámetro de un túnel, el asentamiento transversal tanto del túnel existente como del túnel de cruce recientemente excavado aumenta independientemente de la secuencia de excavación.

Asimismo Zhou et al. (2023) en su artículo e investigación que tiene como **objetivo** detectar el estado de operación estructural de los túneles de escudo, se propone un método para el monitoreo de convergencia con sensores BOTDA considerando el efecto de aplanamiento en los túneles de escudo.

El **método** empleado es no experimental del tipo aplicado y un enfoque cuantitativo en el que se propone un método para el monitoreo de convergencia. Los **resultados** indican que utilizando la correlación entre la deformación y la convergencia para varias secciones, la convergencia de una sola sección se puede extender a resultados de convergencia de múltiples secciones mediante una red ANN, lo que se verifica a través de simulación numérica y datos medidos reales, asimismo los cambios ambientales o los errores del sensor pueden tener una influencia considerable en la precisión del cálculo debido a que la deformación de convergencia real todavía es pequeña al comienzo de la etapa de monitoreo.

**Concluyendo** que el método propuesto permite una alta precisión y robustez en el control de la convergencia, proporcionando así una base de referencia para futuras operaciones y mantenimiento del túnel.

También Hu et al. (2024) en su artículo de investigación que tiene como **objetivo** investigar el asentamiento del suelo y la deformación del túnel debido a la construcción de túneles de escudo de doble curvatura en suelo blando mediante simulación numérica y monitoreo de campo.

La **metodología** empleada comprende un enfoque cuantitativo de un diseño no experimental del tipo aplicada, en donde los **resultados** indican que el canal de asentamiento produce un desplazamiento hacia el interior del túnel de escudo curvo.

La ubicación del canal de asentamiento y el asentamiento máximo se vieron afectados por el radio de curvatura, pero excepto por la forma y el ancho del canal de asentamiento. La construcción de túneles de escudo de doble curvatura paralelos adyacentes podría aumentar el desplazamiento del canal de asentamiento existente y el asentamiento máximo. **Concluyendo** que se propuso una predicción empírica del canal de asentamiento de la superficie debido a la construcción de túneles de escudo de doble curvatura con los mismos diámetros de túnel en arcilla blanda, que era aplicable a un radio de curvatura menor a 800 m. Finalmente, se propuso un radio mínimo de 600 m de túnel de curvatura en términos de deformación de convergencia permisible del túnel. Con esta investigación se podría proporcionar orientación sobre la evaluación de la seguridad en la construcción de túneles con escudos de doble curvatura.

Finalmente Zhang et al. (2023) en su artículo de investigación que tiene como **objetivo** abordar la cuestión de si es posible reconstruir configuraciones deformadas de anillos de túneles segmentarios a partir de dos mediciones de convergencia. La **metodología** empleada es de diseño no experimental con un enfoque cuantitativo en el que el método propuesto se describe y se aplica a las convergencias horizontales y verticales medidas en el estado final del ensayo. Los **resultados** indican que las convergencias de los anillos de túneles segmentarios están gobernadas por los desplazamientos de los cuerpos rígidos de los tubos, porque sus deformaciones, resultantes de las fuerzas normales y los momentos de flexión, no contribuyen significativamente al estado general de los desplazamientos de los anillos de túneles segmentarios. **Concluyendo** que el enfoque desarrollado constituye un enriquecimiento muy eficaz del conjunto de métodos disponibles para apoyar el proceso de toma de decisiones en materia de



medidas correctivas para revestimientos de túneles segmentados cuya utilidad está en peligro o incluso violada por grandes convergencias.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Bocangelino (2021) en su estudio de control de pernos en minas, se realizó en la unidad minera Monkey Blue, que se encuentra ubicado en el departamento de Apurímac, provincia de Abancay, distrito de Curahuasi.

Este estudio trata del monitoreo de la convergencia con pernos en el control de la estabilidad de taludes, la información trata en esta investigación son las tensiones mecánicas para determinar la estabilidad en la Galería, llegando a la siguiente conclusión que la convergencia llega tener de 23.55 mm, considerado como riesgo medio, realizando la simulación en el software Phase 2.

Sanent (2015) en su estudio de análisis probabilístico de la convergencia de túneles en suelo espacialmente variable, la predicción precisa de la convergencia del túnel es importante para garantizar la estabilidad de las estructuras del túnel.

El análisis de confiabilidad de la convergencia del túnel en suelos espacialmente variables se realizó con base en simulaciones de Monte Carlo. Se demostró que el módulo de Young de los suelos 4 varía espacialmente, se discutió sistemáticamente la influencia del coeficiente de variación, la escala vertical de fluctuación y el tipo de distribución de los suelos en la convergencia del túnel.

A partir de la medición de la media y desviación estándar de la convergencia del túnel, y la probabilidad de superar algunos umbrales, se encontró que el tipo de distribución influyó significativamente en los resultados. Los



resultados fueron acompañados por un análisis detallado de los mecanismos de convergencia de túneles en suelos espacialmente aleatorios.

Satici & Topal (2021) en su investigación de evaluación del espesor de la zona de daño y la convergencia de la pared para túneles excavados en macizos rocosos de ablandamiento por deformación, la convergencia del túnel es un índice importante de la calidad de la construcción y la seguridad de la operación. En el pasado, la mayoría de las investigaciones se centraron en la convergencia lateral del túnel de protección y su efecto sobre la seguridad en el período de operación.

En el documento, al emplear el método de prueba de escaneo láser 3D y la tecnología de identificación de ajuste de elipse de convergencia, la convergencia de espacio completo del túnel de escudo se puede probar y dividir en tres modos típicos: elipse transversal, elipse oblicua y elipse vertical. Sobre la base de una serie de pruebas de campo en tres túneles de gran diámetro en construcción y operación, la distribución espacial y las leyes de desarrollo del ciclo de vida de los tres modos de convergencia típicos anteriores se estudiaron seriamente en primer lugar, los cambios de eje largo, eje corto y ángulo de desviación de los modos de convergencia anteriores se dan.

Mientras tanto, el mecanismo de generación y la causa principal se estudian mediante el análisis de la interacción máquina-estructura, la presión del suelo y la acción de la lechada de relleno durante la construcción del escudo. Se encuentra que, en áreas de suelos blandos, la formación de diferentes modos de convergencia depende principalmente de la condición de carga inicial en la etapa de los segmentos que salen de la cola del escudo, y la siguiente acción de lechada de relleno tendrá poco efecto en la convergencia de la estructura. La siguiente



acción de lechada tendrá poco efecto sobre la convergencia de la estructura, pero más sobre la deformación del suelo circundante. Posteriormente, la convergencia seguirá creciendo con la deformación del eje corto mayor que la del eje largo, y se desarrollará gradualmente hacia la simetría con la consolidación del suelo.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Estructura geológica**

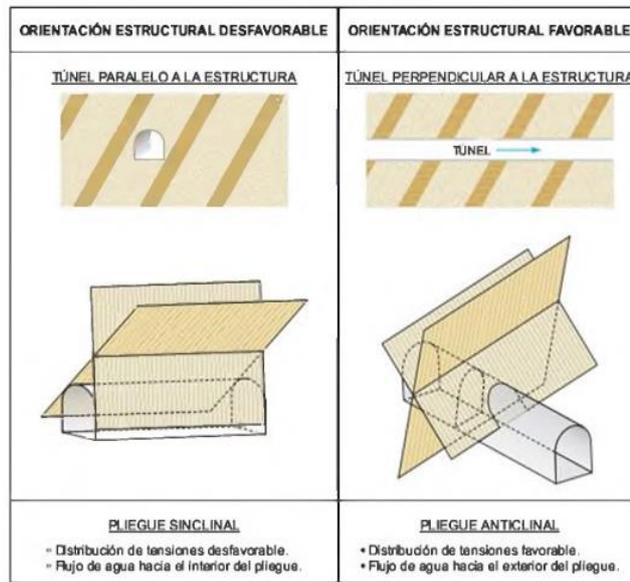
Según González de Vallejo et al. (2004), la conformación geológica es uno de los elementos que más impacta en la estabilidad de una excavación subterránea. En rocas unidas y estratificadas, el rumbo de los estratos determina diversas formas de reacción ante la estabilidad en el túnel, lo que afecta los factores siguientes.

- Buzamiento de la estructura con respecto a la sección del túnel
- Dirección de la estratificación con respecto al eje del túnel
- Tipos de pliegos

La orientación de los estratos paralelos y perpendiculares son factores condicionantes en el comportamiento de la distribución de tensiones frente al comportamiento de estabilidad, tal como se detalla en la siguiente figura:

## Figura 1

### *Estructura geológica para la estabilidad de un túnel*



Nota, la figura fue extraída del libro de González de Vallejo et al. (2004).

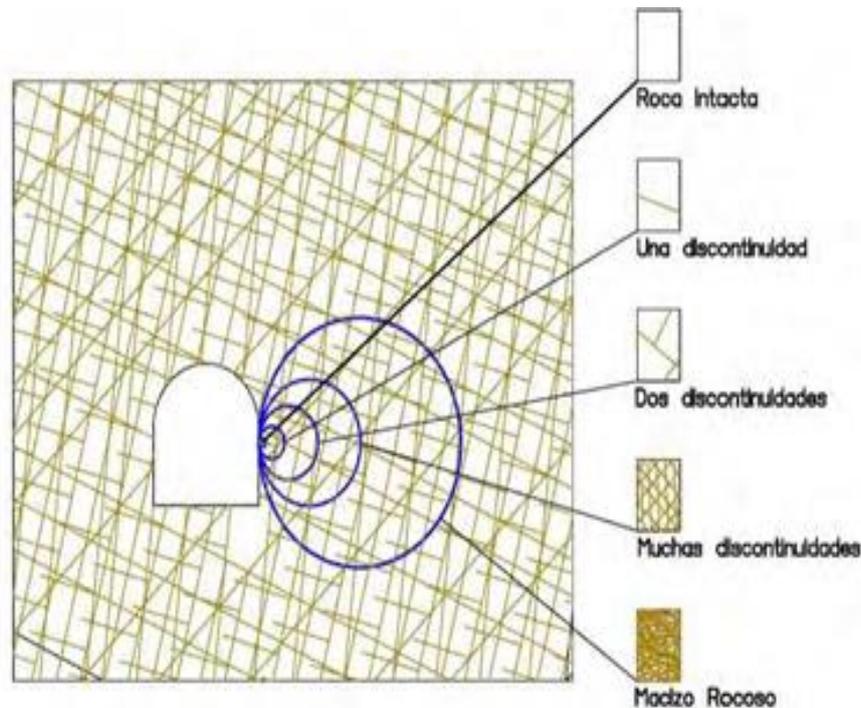
### 2.2.2. Estabilidad en túnel

El macizo rocoso se compone de bloques de matriz rocosa y las discontinuidades que lo afectan, como fallas, uniones, pliegues, estratificación, entre otros. Por lo tanto, los macizos rocosos son discontinuos y heterogéneos, siendo el efecto escala la consecuencia más relevante y que las características de tensión deformación de estos son de origen anisótropa (Bocangelino, 2021).

En gran medida la resistencia de un macizo rocoso depende de la resistencia de una roca intacta, así como también de la distribución de las discontinuidades en toda la matriz rocosa, tal como se detalla en la siguiente figura:

## Figura 2

*Escalas desde roca intacta hasta un macizo rocoso*



*Nota,* la figura fue extraída del libro de González de Vallejo et al. (2004).

### 2.2.3. Discontinuidad

La mayor parte de los inconvenientes de estabilidad se originan cuando la sección del túnel se cruza con los planos de discontinuidad. Se diferencian las discontinuidades de naturaleza sistemática de las de naturaleza singular. Las diaclasas, que son los planos de estratificación y esquistosidad que pertenecen al primer grupo, se encuentran en casi todas las rocas, con una mayor prevalencia en áreas poco profundas, donde los procesos de meteorización y circulación de agua y los rellenos arcillosos son más comunes.

No obstante, las discontinuidades más relevantes en términos de estabilidad son de naturaleza singular, como las fallas; cuando estas estructuras han sido sometidas a fracturas y deformaciones a lo largo de su historia geológica,



su resistencia es muy limitada. En cambio, las fallas pueden generar tensiones tectónicas significativas (González de Vallejo et al., 2004).

Según González de Vallejo et al. (2004) menciona que la investigación de las fallas y otras singulares discontinuidades es uno de los elementos geológicos de mayor relevancia en un túnel. para tal estudio es necesario realizar un estudio. Conocer la estructura tectónica regional y local.

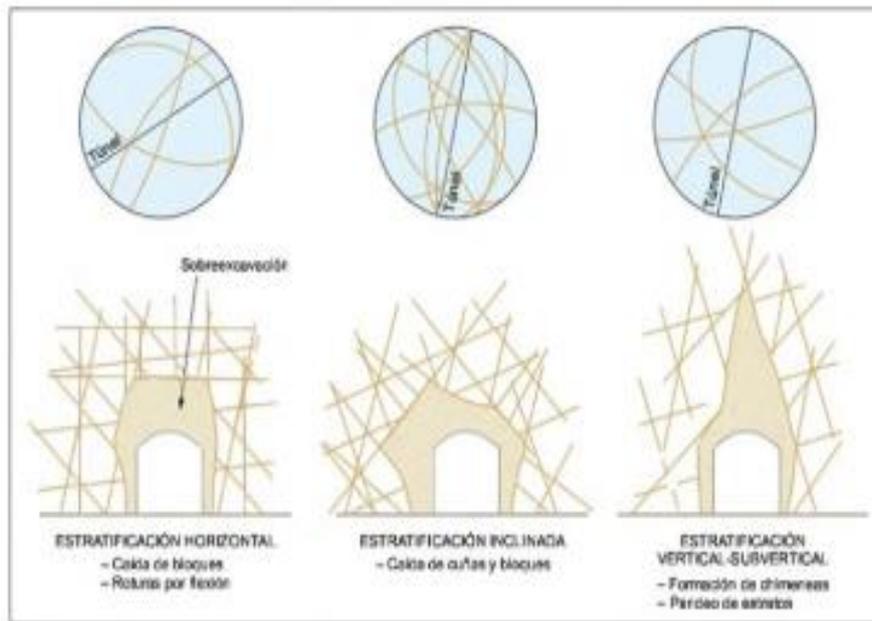
- Cartografía geológica y análisis estructural.
- Identificación de fallas y su clasificación en función del origen, edad, tipo y geometría.
- Identificación de rellenos de falla, su resistencia y expansividad.
- Conocer la transmisibilidad hidráulica.
- Estudios sobre las implicaciones tensionales y sobre sismicidad.

La importancia de analizar minuciosamente las discontinuidades y o fallas son de los más importantes, debido a que estos datos ayudan a conocer la estructura tectónica, la transitabilidad hidráulica, identificación de los diques, posibles desprendimientos de bloques, entre otros.

En la primera parte de la figura 3, se muestra sobre excavación producida por la estratificación horizontal lo que trae consigo la caída de bloques, en la segunda parte de la figura 3 se muestra una estratificación inclinada que trae como consecuencia la caída de cuñas y bloques de las misma forma en la tercera parte de la figura 3, se muestra una estratificación vertical y sub vertical lo que podría traer como consecuencia la formación de chimeneas o pandeo de estratos, tal como se detalla en la siguiente figura:

### Figura 3

*Sobre excavaciones en el túnel*



*Nota,* la figura fue extraída del libro de González de Vallejo et al. (2004).

#### 2.2.4. Fallas controladas por estructuras

La estabilidad de cualquier explotación minera subterránea se ve primordialmente afectada por el macizo rocoso, las estructuras y los esfuerzos existentes, de modo que cada uno, de manera individual o en conjunto, puede establecer las condiciones de estabilidad (Huat et al., 2024).

#### 2.2.5. Fallas controladas por estructuras

Una excavación minera a poca profundidad está influenciada principalmente por los sistemas estructurales del macizo rocoso, conforme el minado se intensifica.

**Figura 4**

*Fallas y comportamiento del macizo rocoso*

	Masivo (RMR>75)	Moderadamente fracturada (50>RMR<75)	Altamente fracturada (RMR<50)
Esfuerzos in situ bajos	 Respuesta elástica lineal	 Deslizamiento o caída de bloques y cuñas	 Desplazamiento de bloques de la superficie de la excavación
Esfuerzos in situ intermedios	 Falla rígida adyacente al contorno de la excavación	 Falla rígida localizada de roca intacta y movimiento de bloques	 Falla rígida de roca intacta y desplazamiento a lo largo de las discontinuidades
Esfuerzos in situ altos	 Falla rígida alrededor de la excavación	 Falla rígida de roca intacta alrededor de la excavación y movimiento de bloques	 Roca deformable, comportamiento plástico

*Nota*, en la figura se observa las fallas y el comportamiento del macizo rocoso son dependientes de los planos de discontinuidad, heterogeneidad, fallas superficiales resistencia de la matriz rocosa.

Cuando se lleva a cabo una excavación, se crea una superficie abierta, donde se presentan bloques o cuñas, que se definen como un volumen de roca que tiene la capacidad de deslizarse sobre una superficie o caer debido a su propio peso (Niu et al., 2024), los esfuerzos provocados en las excavaciones se incrementan significativamente, provocando la aparición de áreas de fallo debido a esfuerzos excesivos.

### 2.2.6. Instrumentos de monitoreo y estabilidad

Según Bocangelino (2021) seguimiento operativo habitual en una operación minera subterránea puede clasificarse en dos categorías principales:

- Supervisión de desplazamientos: a nivel superficial y dentro del macizo rocoso.
- Supervisión de los esfuerzos y la presión en los poros.

En las minas en funcionamiento, es necesario incluir la recolección de información derivada de las inspecciones mineras y de los programas de seguimiento en la metodología de control del macizo rocoso y evaluación del riesgo, que se elaboró durante la fase de diseño de la explotación (Yao et al., 2025).

### 2.2.7. Convergencias

La convergencia de túneles de protección es un indicador crucial para la evaluación de la seguridad de las estructuras de soporte de túneles y un punto clave en las inspecciones rutinarias de túneles. Debido a las limitaciones en eficiencia y costo, los métodos de medición avanzados tradicionales y existentes son inadecuados para las demandas de alta intensidad de las tareas de topografía de túneles (Yao et al., 2025).

**Tabla 1**

*Equipamientos utilizados para medir en geotecnia*

VARIABLE	EQUIPO
Desplazamiento Superficial	Estación total Equipo laser 3D Hitos de nivelación / prisma GPS clinómetros Fisurómetros (Crackmeters) distanciómetro extensómetro <ul style="list-style-type: none"><li>• Cinta de convergencia</li><li>• Extensómetro de vara telescópica</li></ul>
Desplazamiento en el interior del macizo.	extensómetros <ul style="list-style-type: none"><li>• Extensómetros de varilla</li><li>• Pernos extensómetros</li></ul>

---

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cables bolt extensométrico (Smart cable)</li></ul>
	Sistema de monitoreo de convergencias Cables TDR Indinómetros (fijos y portátiles) Columna inclino extensométricas Celdas de presión Celdas de presión en taladros Sistemas de micro sismicidad Piezómetro de tubo abierto o de Casagrande. Piezómetro de cuerda vibrante
Esfuerzos	
Presión de poros y niveles de agua	

---

### 2.2.8. Monitoreo de desplazamiento

La cinta extensométrica evalúa las variaciones en la longitud entre dos puntos situados en el entorno de la excavación u otras áreas de relevancia. La evaluación de la convergencia, especialmente en sitios críticos donde se anticipan grandes movimientos, proporciona información útil acerca de la demanda. La cinta extensométrica es una cinta de acero inoxidable métrica con orificios de alta precisión y dos ganchos en cada extremo. La cinta incluye un mecanismo de tensión y un reloj de comparación (Yao et al., 2025)

Para llevar a cabo las mediciones, se colocan dos pares de pernos, uno con un anillo en su extremo y el otro fijado con cemento a los hastiales del túnel. Después se sitúa la cinta y se ajusta, determinándose la separación entre los puntos tomados en cuenta tal como se detalla en la siguiente figura (Huaman et al., 2015).

### Figura 5

*Extensómetro de cinta para medir convergencias.*

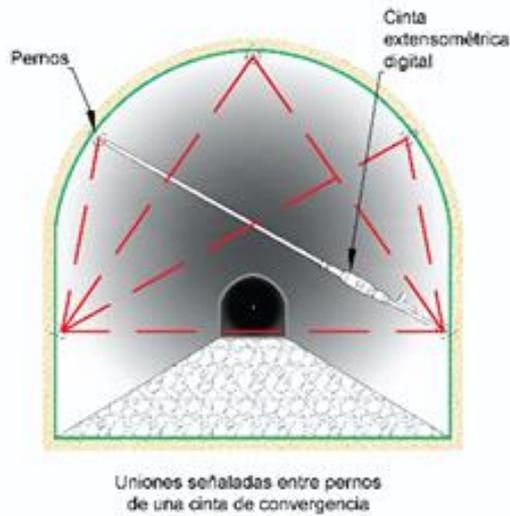


*Nota,* La ubicación de los puntos de convergencia se sitúa de acuerdo al tipo de suelo o resistencia de la roca en zonas en la que las secciones excavadas se cierran durante los días posteriores a la excavación, la distribución de estos pernos de convergencia se realiza.

La medición parte a partir del punto medio (Eje) de la sección del túnel, seguidamente pasan a los hastiales de la sección del túnel, de esta manera se obtienen datos de convergencia que ayudan a determinar si el túnel está sufriendo algún cambio post excavación del tramo en ejecución. Las mediciones se realizan todos los días en las tres primeras semanas de excavación de ese tramo, durante un mes, seguidamente las mediciones posteriores son cada quincena o cada fin de mes de acuerdo con el comportamiento del del macizo rocoso y suelo.

## Figura 6

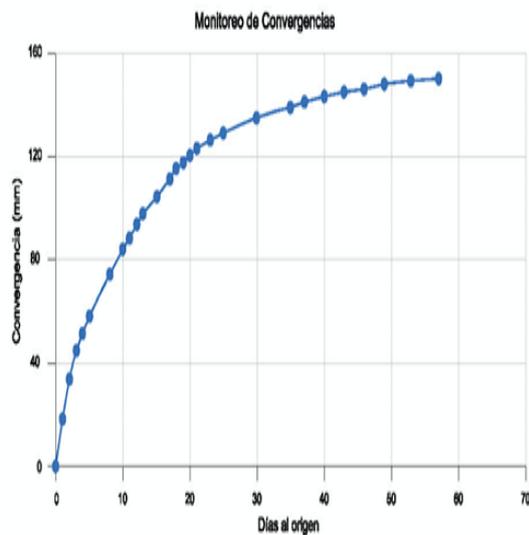
*Ubicaciones de puntos de convergencias.*



*Nota,* Las mediciones realizadas con la cinta extensométrica se realizan en milímetros y posteriormente se realiza una diferencia de lecturas para cada estación (o pares de puntos) con el fin de determinar la magnitud del movimiento.

## Figura 7

*Puntos de convergencias vs tiempo*



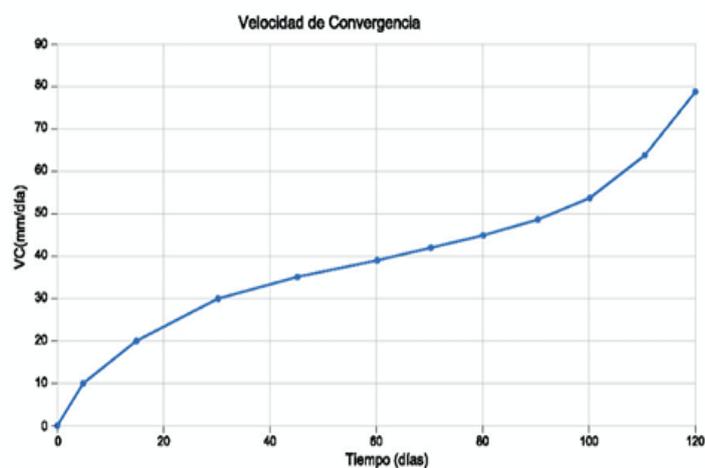
*Nota,* es necesario considerar la temperatura del entorno donde se realizó la medición, para así aplicar la fórmula de corrección especificada en el manual de usuario de los dispositivos.

Otra forma de ilustrar los hallazgos es empleando el gráfico de la velocidad de convergencia (mm/día) frente al tiempo, se muestra que a partir del día 90, la

inclinación de la curva se incrementa progresivamente, lo que señala situaciones de riesgo que requieren frenar el progreso del frente para fortalecer su sustentabilidad. La rapidez de convergencia es un indicador más exacto ya que alerta sobre la probabilidad de que la excavación se derrumbe, tal como se detalla en la siguiente figura:

**Figura 8**

*Velocidad de convergencia*



*Nota.* Los extensómetros registran el incremento o reducción de la longitud de un sistema de sensores que vinculan diversos puntos ubicados dentro de una perforación con una distancia de separación determinada. Esta herramienta facilita la identificación de las áreas comprimidas, áreas activas y niveles de debilidad.

**Figura 9**

*Extensómetro de varilla*



*Nota,* extraído del libro de Huaman et al. (2015)

## Figura 10

### *Extensómetro simple*



*Nota*, extraído del libro de Huaman et al. (2015)

### **2.2.9. Pernos extensométricos o extensómetros de anclaje y cable bolting inteligente.**

El perno extensométrico es la mezcla de un dispositivo de sujeción y un instrumento de medición. Además de funcionar como un perno de sujeción, también facilita la supervisión de deformaciones hasta en cuatro posiciones a lo largo del perno en los lugares donde se encuentran conectados los extensómetros.

### Figura 11

#### *Extensométricos tipo perno*



*Nota,* Los pernos extensométricos son muy diferentes a los pernos de sostenimiento puesto que estos pernos de extensómetros son instalados a una profundidad de 50 cm y solo cumplen de medición exclusiva de convergencia y durante todo el proceso de ejecución estos pernos no deben ser retirados del frente de trabajo ya que periódicamente se toman lecturas de convergencia.

### Figura 12

#### *Imagen cable bolting inteligente o Smart cable*



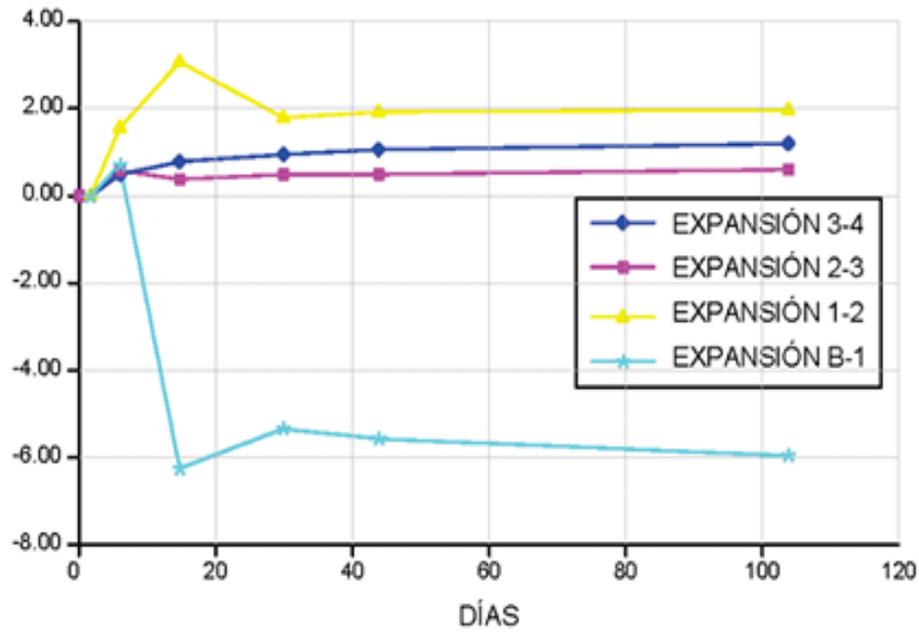
*Nota,* de forma parecida, existen los cables bolting inteligentes, también conocidos como "smart cable".

Que fusionan las propiedades de un cable bolt de 7 hebras con un extensómetro pequeño de seis puntos. La deformación del cable se establece

mediante el extensómetro, lo que facilita el cálculo de la variación de longitud entre los distintos puntos de sujeción.

**Figura 13**

Extensométrico en perno en la corona

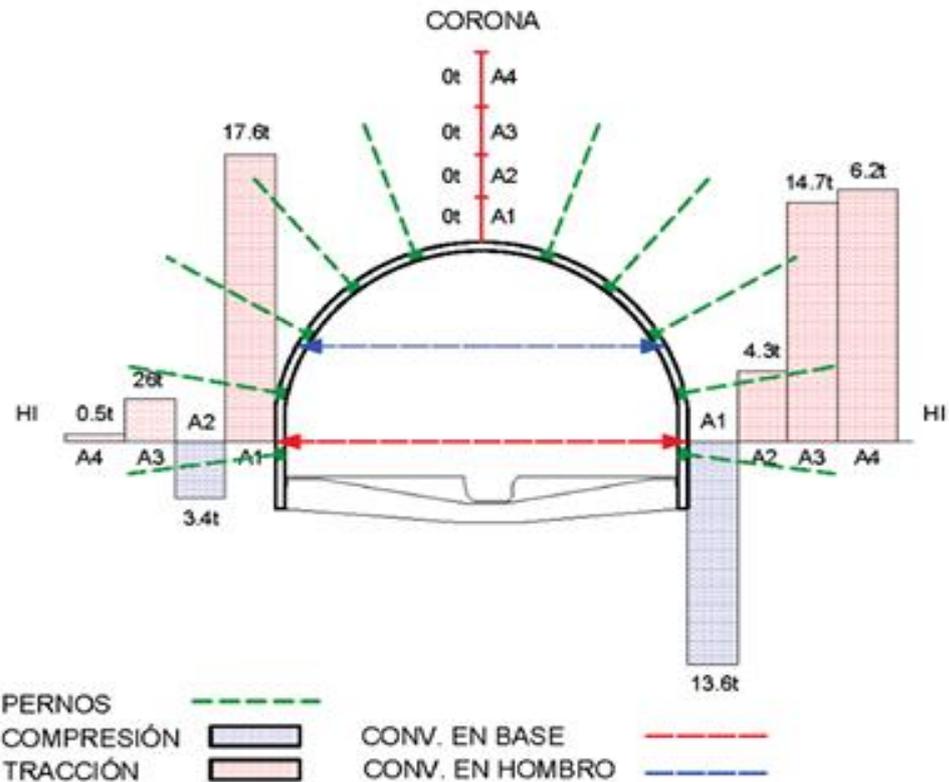


*Nota*, se muestran las medidas obtenidas por pernos extensométricos de 4 puntos de medida, colocados en la corona de una galería con profundidades de 0.5 m, 1.5 m, 3.0 m y 5.0 m, donde se habían instalado pernos y concreto lanzado como sustentación. La línea celeste se corresponde con el anclaje con una profundidad de 0.5 m. El índice negativo -6 mm/m señala que esta región está en estado de compresión.

Se muestran las zonas de tracción y compresión representadas por las barras de color rojo, cuando una de ellas se somete a tracción se genera el incremento de su longitud y reduce la sección transversal, en referente a la compresión ocurre todo lo contrarios, estas deformaciones generalmente se presentan en los hastiales de una sección, generalmente en la bóveda se presenta compresión y en la contra bóveda se presenta tracción, como se puede ver en la siguiente figura.

**Figura 14**

*Cargas extensómetro*



*Nota, extraído del libro de Huaman et al. (2015)*

### 2.2.10. Mecánica de Rocas

La mecánica de rocas se encarga del análisis teórico y práctico de las características y conductas mecánicas de los materiales rocosos, así como de su reacción frente a las fuerzas ejercidas en su ambiente físico. La evolución de la mecánica de rocas se da como resultado del uso del medio geológico para proyectos de ingeniería superficiales y subterráneas; durante la etapa de perforaciones en la búsqueda de recursos de valor económico; para la creación de medidas de sustentabilidad en excavaciones subterráneas; entre otros en la creación de grandes metros, plantas hidroeléctricas, presas y otras labores de ingeniería (Yao et al., 2025)

El macizo rocoso comprende los bloques de matriz rocosa y las variadas discontinuidades que inciden en el medio rocoso. En términos mecánicos, los grandes rocosos son medios discontinuos, anisótropos y diversos. Esencialmente, pueden ser vistas como una resistencia a la tracción inexistente.

- anisotropía. La existencia de planos debilidad de dirección preferentes (estratificación, laminación, foliación, familias de diaclasas tectónicas) sugiere distintas características y comportamientos mecánicos dependiendo de la dirección tomada en cuenta.
- También, la dirección de los esfuerzos aplicados al material pedregoso podría sugerir una anisotropía vinculada al estado de tensión del macizo.
- Discontinuidad. La existencia de discontinuidades (áreas de estratificación, uniones, fallas, diques, entre otros) interrumpe la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques de roca, otorgándole al macizo un comportamiento geomecánica e hidráulico discontinuo.
- Heterogeneidad. Se refiere a las áreas con distinta litología, nivel de cambio o meteorización, contenido de agua, entre otros. Pueden tener atributos muy diversos.

### **2.2.11. Clasificación geomecánica del macizo rocoso**

Para la categorización geomecánica del macizo rocoso, en las exploraciones subterráneas y en los distintos grados de evolución de la mina Aguada; se ha realizado una evaluación basada en los parámetros establecidos por Bieniawski (1976), también llamado RMR, para el procedimiento consta los siguientes parámetros (Satici & Topal, 2021).

- Resistencia a la compresión uniaxial del material rocoso



- Índice de calidad de roca RQD
- Espaciamiento de las juntas
- Estado de las fisuras
- Condiciones hidrogeológicas de las aguas subterráneas
- Corrección por la orientación de las discontinuidades

**Asentamiento:** Las cargas transmitidas por la cimentación al suelo da lugar a su deformación y esta se traduce en asentamientos, desplazamientos horizontales y giros de la estructura que, si resultan excesivos, podrán originar fisuras, agrietamientos, u otras patologías (Huaman et al., 2015)

**Subsidencia:** El término genérico de subsidencia hace referencia al hundimiento paulatino de la corteza terrestre, continental o submarina. La subsidencia terrestre, en la cual se centra el presente trabajo, es un fenómeno que implica el asentamiento de la superficie terrestre en un área extensa debido a varios factores, que pueden ser naturales o causados por el impacto de una gran variedad de actividades humanas (Huaman et al., 2015).

**Túneles:** Los túneles son un tipo de infraestructura subterránea que busca conectar dos puntos externos atravesando superficies planas, accidentes montañosos e incluso mares. Los primeros, como el de Eupalino, datan del siglo VI a.C. y cuenta con 1.036 metros de longitud. Sin embargo, el arte de horadar la tierra buscando el mejor camino ha ido evolucionando gracias a la investigación (Huaman et al., 2015)

**Velocidad:** La tasa de convergencia es una constante que mide qué tan rápido disminuye el error en función del orden. Por ejemplo, si la tasa de convergencia es 0,1, entonces el error se reduce en un factor de 0,1 para cada orden de convergencia.(Huaman et al., 2015).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La investigación, se desarrolló en el corredor vial interoceánico sur, Perú – Brasil tramo 4 Azángaro – puente Inambari, km 231+700 al km 232+800 del departamento de Puno, provincia de Carabaya, distrito de Ollachea.

#### Figura 15

*Ubicación del túnel Ollachea*



*Nota.* Ubicación de la unidad de estudio, extraído en fecha 01 de enero del 2024 de Google Earth, sus coordenadas son 340806.35E, 8474017.8 N , y cota de 2715.488



### **3.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación es de enfoque cuantitativa por la utilización de variables cuantitativas entre el asentamiento y convergencia de la variación de datos geoespaciales en el túnel de Ollachea (Huaman et al. 2021).

### **3.3. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación es Básica por utilizar la geoestadística y métodos básicos para determinar la relación de ambas variables estudiadas y Aplicada porque dichos datos son aplicados a ver la estabilidad geomecánica del túnel (Vara, 2012).

### **3.4. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

Según el nivel de investigación es correlacional, porque se buscó la relación de ambos variables de estudio, conforme a Hernández (2019) indica en buscar la relación de las variables, para luego llegar a lo explicativo del fenómeno del asentamiento y seguridad en túneles.

### **3.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño de investigación es no experimental tomando en consideración varios puntos de las características del túnel, en función de sus características geotécnicas y el asentamiento diferencial en cada punto (Hernandez, 2019), Las misma que no se alteraron o se varió los datos obtenidos en el campo, se utilizó exclusivamente para correlacionar las variables.



## **3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN**

### **3.6.1. Técnicas de investigación**

La técnica de investigación fue la observación directa mediante instrumentos de control (Cisneros et al. 2022), de datos realizados en campo en función de los protocolos establecidos por la empresa como las características establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y bases de la geomecánica de túneles.

### **3.6.2. Instrumentos de investigación**

El instrumento de recolección de datos fue la ficha de recolección (Acosta, 2023), en función a los protocolos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones y la teoría básicas de la geomecánica de túneles, en relación a los desplazamiento en dirección X, Y e Z, siendo X Coordenadas UTM, Y Coordenadas UTM, Z está en función al tipo de suelo (01,2,3), asentamiento, subsidencia y convergencia.

## **3.7. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD**

### **3.7.1. Validez**

Se realizó la utilización de métodos validados, como son los protocolos de recolección de datos, que fueron establecidos por el Ministerio de Transportes y comunicaciones, estos pueden variar en función a la experticia del operador o recolector de datos por lo que el instrumento de recolección de datos fue sometido a la fiabilidad del instrumento (Villasis et al. 2018).

Para validar el instrumento, se realizó con la prueba estadística de Alpha de Cronbach, utilizando el paquete estadístico SPSS Educacional.

**Tabla 2**

*Rango del Rho de Spearman*

<b>Rango</b>	<b>Relación</b>	<b>Correlación</b>
$\rho = 0$	No existe	Nula
$0.00 < \rho \leq 0.20$	Poca intensa	Pequeña
$0.20 < \rho \leq 0.40$	Apreciable	Baja
$0.40 < \rho \leq 0.60$	Considerable	Regular
$0.60 < \rho \leq 0.80$	Intensa	Alta
$0.80 < \rho \leq 1.00$	Demasiado Intensa	Muy Alta

*Nota*, Planteado y propuesto por Spearman (1904), tomando dicha escala se tomo la relacion de ambas variables.

### 3.7.2. Confiabilidad

La confiabilidad se demostró con el uso del paquete SPSS versión 24.0, tomando el instrumento del coeficiente estadista de Alpha de Cronbach (AdC), determinado la confiabilidad de los registros de ambas variables.

**Tabla 3**

*Indicador AdC de las variables*

<b>Estadísticos de fiabilidad</b>	
<b>Análisis/variable</b>	<b>Prueba AdC</b>
Variable 1: Asentamiento	0.845
<b>Análisis/variable</b>	<b>Prueba AdC</b>
Variable 2: Convergencia	0.812

*Nota*, En ambas pruebas de las dos variables el instrumento de recoleccion de datos la ficha de recoelccion cumple con lo establecido dando asi la validez y la confiabilidad del instrumento.

### 3.8. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.8.1. Población

La población estudiada fue el tramo del túnel en Ollachea, tomando en consideración como unidad de estudio del tramo 231+709.340 a 232+585 (Robles, 2019).

#### 3.8.2. Muestra

El muestreo se realizó en forma no aleatoria, por lo que estableció los siguientes puntos (Hernández & Carpio, 2019).

**Tabla 4**

*Puntos de muestreo geoestadístico y de análisis de relación de las variables*

Nombre	X	Y	Z	OBSERVACIÓN
PER-1	340805.09	8474029.44	2717.09	TS
PER-2	340805.16	8474024.01	2717.49	TS
PER-3	340807.95	8474037.80	2711.52	TS
PER-4	340806.35	8474017.80	2715.49	TS
PER-5	340806.35	8474037.82	2715.50	TS
PER-6	340807.47	8474021.66	2713.52	TS
PER-7	340804.25	8474023.22	2719.18	TS
MG1	340805.31	8474002.05	2726.90	TC
MG2	340805.58	8474005.18	2725.53	TC
MG3	340805.42	8474008.87	2724.37	TC
MG4	340805.95	8474011.97	2724.39	TC
R01	340791.93	8473992.35	2723.15	RE
R02	340808.72	8474055.94	2747.18	RE
R03	340818.96	8474027.02	2721.11	RE

*Nota*, TS es tunel de salida, TC tunel central, RE relleno, son puntos observados para la recolección de datos, según el instrumento de recolección de los datos.

De los puntos antes mencionado se extrae, el asentamiento superficial, el tipo de suelo, la subcendencia superficial, y la convergencia que sufre el túnel en su desarrollo de su ejecución.

### 3.9. VARIABLES

Se identifico dos variables, la variable 01 Asentamiento de la superficie, y la variable 02 la convergencia, y esta la vez se tiene sus respectivas dimensiones.

#### 3.9.1. Conceptualización de la variable 1

El asentamiento de la superficie del suelo (GSS) debido a la tunelización puede causar daños a las infraestructuras circundantes. Se han propuesto muchos métodos para evaluar el asentamiento del suelo inducido por la tunelización, incluidos métodos empíricos, analíticos, numéricos y de inteligencia artificial (Hu et al., 2024). El GSS inducido por la tunelización está influenciado principalmente por tres factores, incluidas las propiedades del suelo, la geometría del túnel y el método de excavación y soporte (Huang et al., 2023).

**Tabla 5**

*Operación de la primera variable*

Variable	Dimensión	Indicador	Categoría	Escala de Medición de las variables
Primero	Subsidencia Superficial	Desplazamiento en X	Coordenadas UTM E	Nominal
		Desplazamiento en Y	Coordenadas UTM N	Nominal
		Desplazamiento en Z	Desplazamiento en Z	Nominal

*Nota*, para poder operacionalizar la variable se tomó en consideración que el asentamiento superficial del túnel será determinado mediante el uso de nivel topográfico o estación total debidamente calibrados, en donde los datos adquiridos serán las subsidencias por la excavación del túnel, es decir los valores resultantes serán los desplazamientos en “x,y,z”

#### 3.9.2. Conceptualización de la variable 2

La convergencia de túneles de protección es un indicador crucial para la evaluación de la seguridad de las estructuras de soporte de túneles y un punto

clave en las inspecciones rutinarias de túneles. Debido a las limitaciones en eficiencia y costo, los métodos de medición avanzados tradicionales y existentes son inadecuados para las demandas de alta intensidad de las tareas de topografía de túneles (Zhang et al., 2023)

**Tabla 6**

*Operación de la segunda variable*

Variable	Dimensión	Indicador	Categoría	Escala de Medición de las variables
Segundo	Tipo de suelo	Tipo 1	SUCS	Nominal
		Tipo 2	SUCS	Nominal
		Tipo3	SUCS	Nominal

*Nota,* La convergencia será determinada en campo mediante el uso del extensómetro para diversos segmentos, medidas tomadas al extender el instrumento y colocarlas en pernos anclados en la superficie y los extremos del túnel, finalmente se tomarán las medidas que marca el instrumento.

### 3.10. DISEÑO ESTADÍSTICO

#### 3.10.1. Hipótesis estadística para el objetivo general

##### Planteamiento de la hipótesis general:

Existe una relación geoespacial directa y significativa entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea

##### Prueba geoestadística

$H_0$  = No existe relación geoespacial directa y significativa entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea.

Estimación de P *Sig.* > 0.05, Covariante no lineal

$H_1$  = Existe relación geoespacial directa y significativa entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea.



Estimación de P  $Sig < 0.05$ , Covariance lineal

### **3.10.2. Hipótesis estadística para los objetivos específicos**

#### **Planteamiento de la hipótesis específico 1:**

Existe una relación geoespacial directa y significativa en el asentamiento superficial y el tipo de suelo en el túnel tramo Ollachea

#### **Prueba geoestadística**

$H_0$  = No existe una relación geoespacial directa y significativa en el asentamiento superficial y el tipo de suelo en el túnel tramo Ollachea.

Estimación de P  $Sig. > 0.05$ , Covariance no lineal

$H_1$  = Existe una relación geoespacial directa y significativa en el asentamiento superficial y el tipo de suelo en el túnel tramo Ollachea.

Estimación de P  $Sig < 0.05$ , Covariance lineal

#### **Planteamiento de la hipótesis específico 1:**

Existe una relación geoespacial directa y significativa de la subsidencia superficial y la convergencia en el túnel tramo Ollachea

#### **Prueba geoestadística**

$H_0$  = No existe una relación geoespacial directa y significativa de la subsidencia superficial y la convergencia en el túnel tramo Ollachea.

Estimación de P  $Sig. > 0.05$ , Covariance no lineal



$H_1$  = Existe una relación geoespacial directa y significativa de la subsidencia superficial y la convergencia en el túnel tramo Ollachea.

Estimación de P  $Sig < 0.05$ , Covariance lineal



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente apartado, se exponen los resultados obtenidos tras el análisis de los datos relacionados con el asentamiento de la superficie y la convergencia del túnel en el tramo Ollachea. Estos resultados se alinean con los objetivos planteados en esta investigación, que buscaban establecer y cuantificar la relación existente entre ambos fenómenos geotécnicos mediante la aplicación de modelos de regresión estadística.

El análisis de los datos recogidos, provenientes de mediciones sistemáticas en puntos estratégicos del túnel y la superficie adyacente, nos ha permitido identificar los patrones de comportamiento del asentamiento en función de la convergencia del túnel. Adicionalmente, se ha incorporado en los análisis variables como la profundidad del túnel, el tipo de suelo y las condiciones geotécnicas locales, con el fin de garantizar un enfoque integral que contemple la influencia de estos factores en la relación entre asentamiento y convergencia.

#### **4.1. ASENTAMIENTO SUPERFICIAL Y TIPO DE SUELO**

En cumplimiento del primer objetivo específico, se presentan los valores resultantes de asentamiento superficial y el tipo de suelo en el túnel tramo Ollachea. La investigación se ha centrado en identificar los patrones de asentamiento que se manifiestan en la superficie, en respuesta a las características geotécnicas y estructurales del terreno subyacente.

A través de mediciones sistemáticas del asentamiento en diferentes puntos de la superficie y estudios del tipo de suelo en el área de influencia del túnel, se ha logrado recolectar información relevante sobre la estabilidad del terreno.

Los tipos de suelos identificados incluyen principalmente materiales de origen sedimentario, lo que ha permitido establecer una correlación inicial entre la composición del suelo y los niveles de deformación superficial observados.

### Figura 16

Ubicación de calicatas



*Nota*, en la figura se muestran las ubicaciones de las calicatas exploradas mecánicamente en el sector de estudio, aproximadamente en el túnel de entrada a lo largo del talud.

### Tabla 7

*Coordenadas topográficas de los pozos exploratorios*

Calicata	Este	Norte	Prof. (m)	Tipo de excavación	Nivel freático	Tipo de depósito
C-01	340274	8473368	1.10	Mecánico	N/P	Terraza aluvial
C-02	340294	8473438	4.50	Mecánico	N/P	Coluvial
C-03	340249	8473459	7.50	Mecánico	N/P	Coluvial

*Nota*, se detallan tanto las coordenadas como los aspectos generales de cada una de las calicatas, la calicata 01 presenta un tipo de depósito de terraza aluvial que indica un suelo tipo GM con gravas subangulares a sub redondeadas con diámetros medios de 5 a 10 cm y con un máximo de 30 cm.



La materia orgánica se observa a los primeros 20 cm , la calicata 03 y 04 presentan un tipo de depósito coluvial que indica un tipo de suelo GM – GC con material de cantos sub angulosos de pizarras heterométricas y mal seleccionadas con un diámetro medio de 15 a 30 cm y un máximo de 90 cm. La profundidad de excavación es variada por el tipo de formación existente. En las tres calicatas no se presentó el nivel freático.

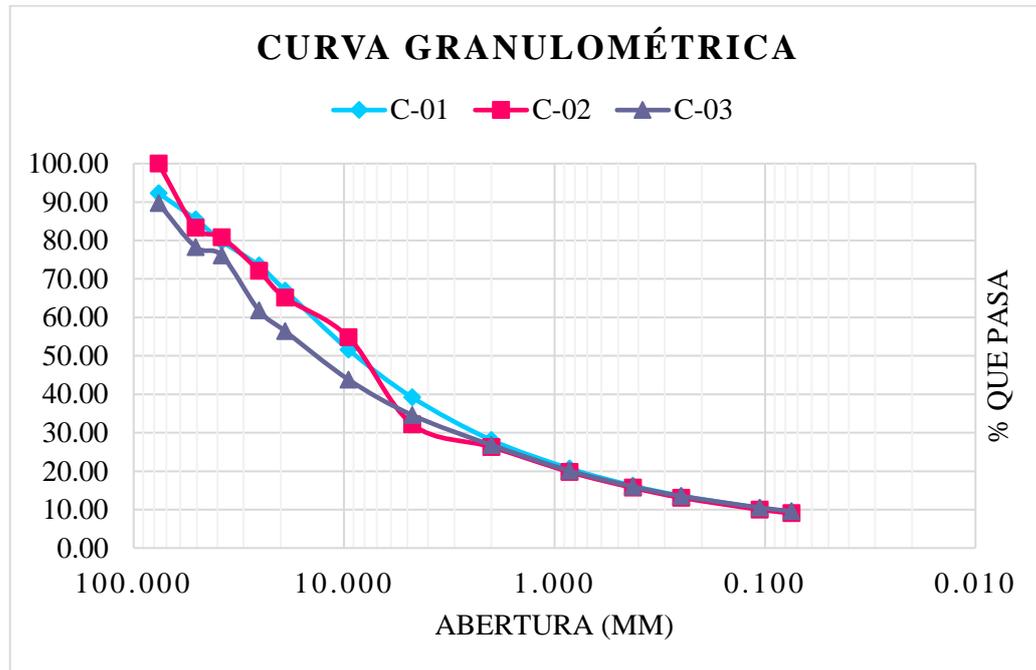
**Tabla 8**

*Análisis granulométrico de las calicatas 01, 02 y 03*

Tamiz	Abertura (mm)	% pasa (C-01)	% pasa (C-02)	% pasa (C-03)
3"	76.200	92.30	100.00	89.70
2"	50.800	85.50	83.30	78.30
1 1/2"	38.100	79.80	80.80	76.10
1"	25.400	73.50	72.10	61.80
3/4"	19.050	67.00	65.10	56.40
3/8"	9.525	51.60	54.80	43.80
N° 4	4.750	39.20	32.20	34.60
N° 10	2.000	28.10	26.30	26.80
N° 20	0.850	20.70	19.80	20.10
N° 40	0.425	16.20	15.70	16.00
N° 60	0.250	13.60	13.10	13.50
N° 140	0.106	10.40	10.00	10.50
N° 200	0.075	9.40	9.10	9.60

**Figura 17**

*Distribución de partículas en las calicatas 01, 02 y 03*



*Nota*, En la tabla 8 y figura 17 se detallan los valores resultantes del ensayo de granulometría por tamizado realizada conforme a la normativa MTC – 107, se observa distribuciones ligeramente diferentes entre las tres calicatas ensayadas, lo que afirma sus diversos tipos de depósitos y características.

**Tabla 9**

*Características físicas y mecánicas del material de suelo por cada calicata*

Características	Calicata 01	Calicata 02	Calicata 03
Límite líquido	21%	27%	26%
Límite plástico	15%	17%	20%
Índice plasticidad	6%	10%	6%
Clasificación SUCS	GP GC	GP GC	GP GC
Clasificación AASHTO	A-1-a(0)	A-1-a(0)	A-1-a(0)
Cohesión (kPa)	.....	.....	18.9
Ángulo de fricción	.....	.....	37.2
Densidad máxima	2.29	2.16	2.27
Humedad óptima	5.80%	7.70%	7%
CBR al 98%	55%	42%	37%
CBR al 95%	32%	34%	30%

En la tabla 9 se detallan los valores resultantes de las características físicas y mecánicas del material de suelo extraído en cada una de las calicatas, se tiene un índice



de plasticidad por debajo del 11 y 10% establecido por la normativa peruana indicando un adecuado material para su uso, Respecto al uso del suelo como terreno de fundación presenta buenas condiciones para su utilización ya que tienen Índices de grupo cercanos a cero, lo que quiere decir que están dentro de la categoría de suelos muy buenos y valores de CBR, al 95% de la máxima densidad seca, superior a 30% que corresponden a subrasantes excelentes.

En la tabla 10 se detallan los resultados comparativos del tipo de suelo con las subsidencias en el túnel de entrada, donde se realizaron pruebas de laboratorio para conocer el tipo de suelo existente y conocer el efecto que éstas tienen en las diversas variaciones de desplazamientos tanto en el eje x, y, z. se observa que en los controles del mes de agosto del 2020 no se presentó asentamientos en la superficie del túnel, en el mes de enero del 2021 el desplazamiento se evidenció en el eje “z” desde -0.009 hasta -0.002, el cual fue mínimo y en el mes de junio del 2021 se evidenció desplazamientos en el eje “z” desde -0.560 hasta -0.044 siendo un desplazamiento mínimo lo que estima un terreno estable, asimismo el tipo de suelo presenta buenas características mecánicas y físicas que afectan al poco desplazamiento de la superficie.

**Tabla 10**

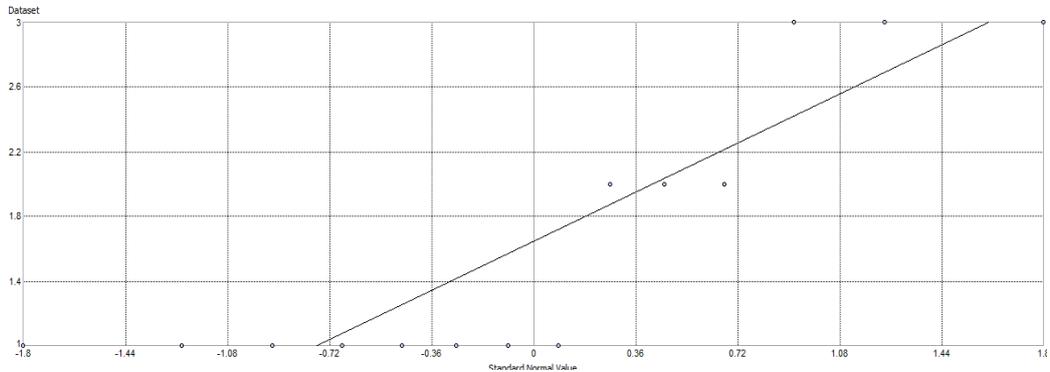
*Resumen comparativo del tipo de suelo en los asentamientos del túnel de entrada*

Control de subsidencia - túnel de entrada				Características físicas y mecánicas de suelos				
Mediciones	Punto	Fecha de medida	$\Delta x$ (mm)	$\Delta y$ (mm)	$\Delta z$ (mm)	Calicata 01	Calicata 02	Calicata 03
Primera medida	MO-T1	1/08/2020	0.000	0.000	0.000			
	MO-T2	1/08/2020	0.000	0.000	0.000			
	MO-T3	1/08/2020	0.000	0.000	0.000			
	MO-T4	1/08/2020	0.000	0.000	0.000			
	MO-T5	1/08/2020	0.000	0.000	0.000			
	MO-T6	1/08/2020	0.000	0.000	0.000	LL: 21%	LL: 27%	LL: 26%
	MO-T7	1/08/2020	0.000	0.000	0.000	LP: 15%	LP: 17%	LP: 20%
Segunda medida	MO-T1	5/01/2021	0.000	0.000	-0.005	IP: 6%	IP: 10%	IP: 6%
	MO-T2	5/01/2021	0.000	0.000	-0.009	SUCS: GP-GC	SUCS: GP-GC	SUCS: GP-GC
	MO-T3	5/01/2021	0.000	0.000	-0.002	AASHTO: A-1-a(0)	AASHTO: A-1-a(0)	AASHTO: A-1-a(0)
	MO-T4	5/01/2021	0.000	0.000	-0.002	Cohesión: -	Cohesión: -	Cohesión: 18.9 kPa
	MO-T5	5/01/2021	0.000	0.000	-0.003	Angulo de fricción: -	Angulo de fricción: -	Angulo de fricción: 37.2°
	MO-T6	5/01/2021	0.000	0.000	-0.003	MDS: 2.29 gr/cm <sup>3</sup>	MDS: 2.16 gr/cm <sup>3</sup>	MDS: 2.27 gr/cm <sup>3</sup>
	MO-T7	5/01/2021	0.000	0.000	-0.004	OCH: 5.8%	OCH: 7.7%	OCH: 7%
Tercera medida	MO-T1	2/06/2021	0.000	0.000	-0.052	CBR 95%: 32%	CBR 95%: 34%	CBR 95%: 30%
	MO-T2	2/06/2021	0.000	0.000	-0.560			
	MO-T3	2/06/2021	0.000	0.000	-0.044			
	MO-T4	2/06/2021	0.000	0.000	-0.060			
	MO-T5	2/06/2021	0.000	0.000	-0.064			
	MO-T6	2/06/2021	0.000	0.000	-0.061			
	MO-T7	2/06/2021	0.000	0.000	-0.044			

#### 4.1.1. Resultados Estadísticos del objetivo específico 1

##### Figura 18

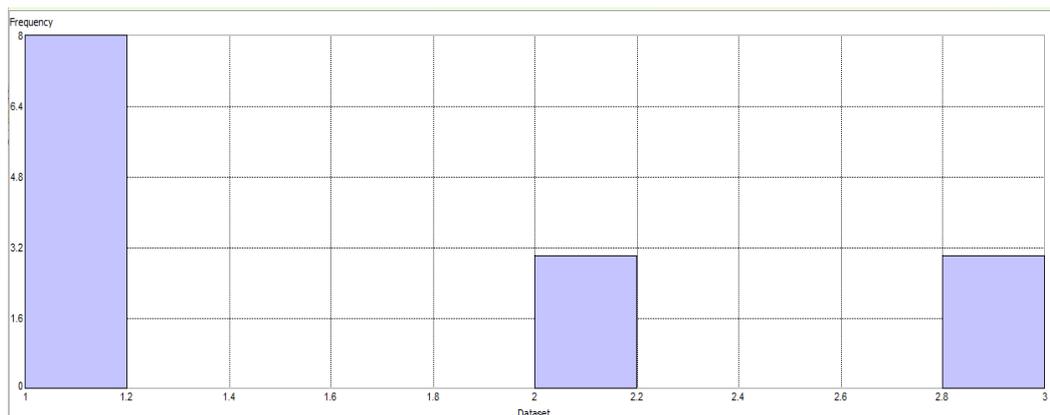
*Normalidad de los datos geoestadísticos procesados*



*Nota*, en la figura anterior se determina que la relación es lineal, por lo que establece la normalidad de los datos geoestadístico analizados con la metodología kringing.

##### Figura 19

*Normalidad de los datos geoestadísticos procesados*



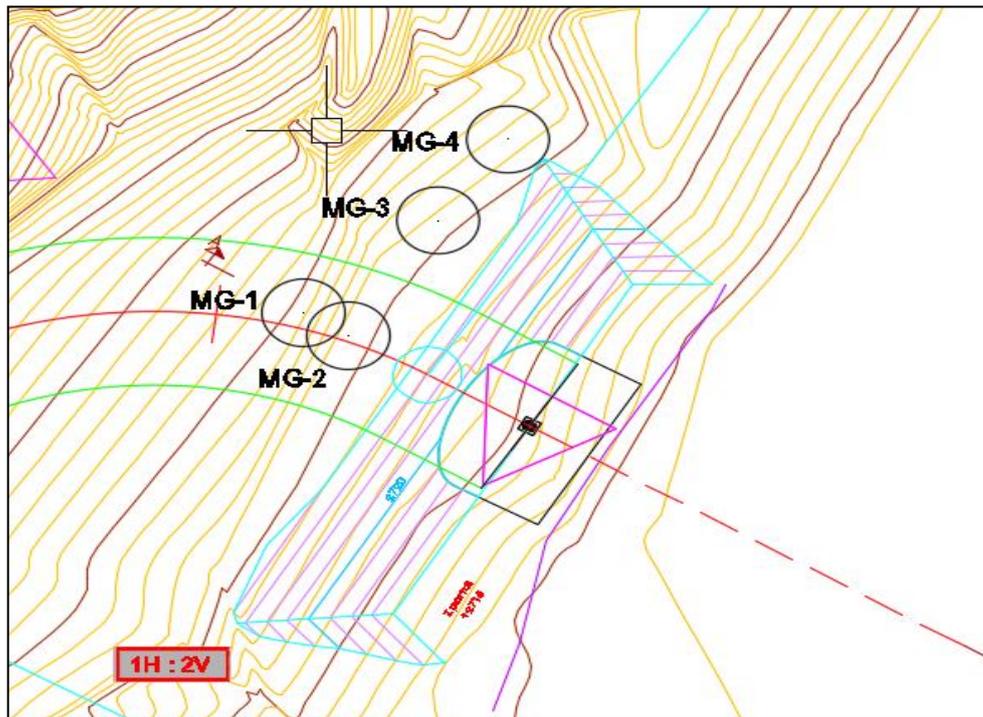
*Nota*, en la figura anterior se estableció tres tipos de suelos, la misma que tiene una desviación estándar de 0.8419, y una kurtosis de 1.915, una mediana de 1, la misma que es el resultado para el uso de la metodología geoestadística del kringing.

## 4.2. RELACIÓN DE SUBSIDENCIA Y CONVERGENCIA

En cumplimiento del segundo objetivo específico en la que menciona establecer una relación del control de subsidencias superficial con las medidas de convergencias en el interior del túnel tramo Ollachea.

**Figura 20**

*Ubicación de los puntos de monitoreo (MG1, MG2, MG3 y MG4) – túnel central*



*Nota,* En la figura se presenta un plano detallado de los puntos de control para estimar la subsidencia en la superficie del túnel central, se observan cuatro puntos en donde se controló la subsidencia mediante un nivel topográfico. En la tabla 11 se muestran las coordenadas topográficas y la altitud por cada punto especificado en el túnel central detallado gráficamente en la figura anterior.

**Tabla 11**

*Coordenadas topográficas de los puntos de control de subsidencia - túnel central*

Coordenadas topográficas - túnel central		
Progresiva	Punto	Cota
232+115	MG1	2726.898
232+170	MG2	2725.525
232+200	MG3	2724.374
232+220	MG4	2724.393

**Tabla 12***Resumen de control de subsidencia - túnel central*

Control de subsidencia - túnel central					
Mediciones	Punto	Fecha de medida	$\Delta x$ (mm)	$\Delta y$ (mm)	$\Delta z$ (mm)
Primera medida	MG1	5/01/2021	0.000	0.000	-0.016
	MG2	5/01/2021	0.000	0.000	-0.014
	MG3	5/01/2021	0.000	0.000	0.003
	MG4	5/01/2021	0.000	0.000	0.003
Segunda medida	MG1	7/08/2021	0.000	0.000	-0.002
	MG2	7/08/2021	0.000	0.000	0.003
	MG3	7/08/2021	0.000	0.000	0.016
	MG4	7/08/2021	0.000	0.000	0.015
Tercera medida	MG1	18/03/2022	0.000	0.000	0.001
	MG2	18/03/2022	0.000	0.000	0.007
	MG3	18/03/2022	0.000	0.000	0.018
	MG4	18/03/2022	0.000	0.000	0.020

*Nota*, en la tabla se presentan los valores resultantes de las mediciones en tres etapas en la superficie del túnel Ollachea, específicamente en el tramo del túnel central, los controles realizados en la primera medida presentan en el punto MG1 una deflexión en “x, y, z” de 0.000, 0.000 y -0.002 considerada una subsidencia estable, en el punto MG2 una deflexión de 0.000, 0.000 y 0.003 considerada una subsidencia estable, en el punto MG3 se presentan deflexiones de 0.000, 0.000 y 0.016

También considerada estable y finalmente en el punto MG4 las deflexiones fueron de 0.000, 0.000 y 0.015 de igual manera considerada una subsidencia estable, los controles realizados en la segunda etapa las mediciones presentan en el punto MG1.

Una deflexión en “x, y, z” de 0.000, 0.000 y 0.001 considerada una subsidencia estable, en el punto MG2 una deflexión de 0.000, 0.000 y 0.007 considerada una subsidencia estable, en el punto MG3 se presentan deflexiones de 0.000, 0.000 y 0.018

En otro punto también considerada estable y finalmente en el punto MG4 las deflexiones fueron de 0.000, 0.000 y 0.020 de igual manera considerada una subsidencia estable, los controles realizados en la tercera etapa de la medición presentan en el punto MG1 una deflexión en “x, y, z” de 0.000, 0.000 y 0.001 considerada una subsidencia

estable, en el punto MG2 una deflexión de 0.000, 0.000 y 0.007 considerada una subsidencia estable, en el punto MG3 se presentan deflexiones de 0.000, 0.000 y 0.018 también considerada estable y finalmente en el punto MG4 las deflexiones fueron de 0.000, 0.000 y 0.020 de igual manera considerada una subsidencia estable

**Tabla 13**

Resumen de control de convergencia - túnel central

Control de convergencias - túnel central					
Mediciones	Punto	Fecha de medida	Convergencia AB (mm)	Convergencia BC (mm)	Convergencia AC (mm)
Primera medida	232+115	16/11/2021	-0.370	0.760	-0.120
	232+170	7/12/2021	0.070	0.220	0.060
	232+200	5/12/2021	-0.190	0.020	-0.070
	232+220	5/12/2021	0.000	0.000	0.000
Segunda medida	232+115	4/02/2022	0.150	0.320	-0.190
	232+170	8/02/2022	-0.530	-0.310	0.040
	232+200	8/02/2022	0.150	0.250	0.000
	232+220	8/02/2022	-0.760	0.660	0.980
Tercera medida	232+115	11/03/2022	0.320	-0.370	-0.290
	232+170	11/03/2022	-0.150	0.240	0.630
	232+200	11/03/2022	-0.040	-0.080	-0.170
	232+220	11/03/2022	0.170	0.030	0.040

En la tabla se detallan los resultantes de las tres etapas de mediciones en el interior del túnel Ollachea, específicamente en el tramo del túnel central, los controles realizados en la primera etapa presentan en el punto de la progresiva 232+115 una convergencia en “AB, BC, AC” de -0.370, 0.760 y -0.120 considerada estable.

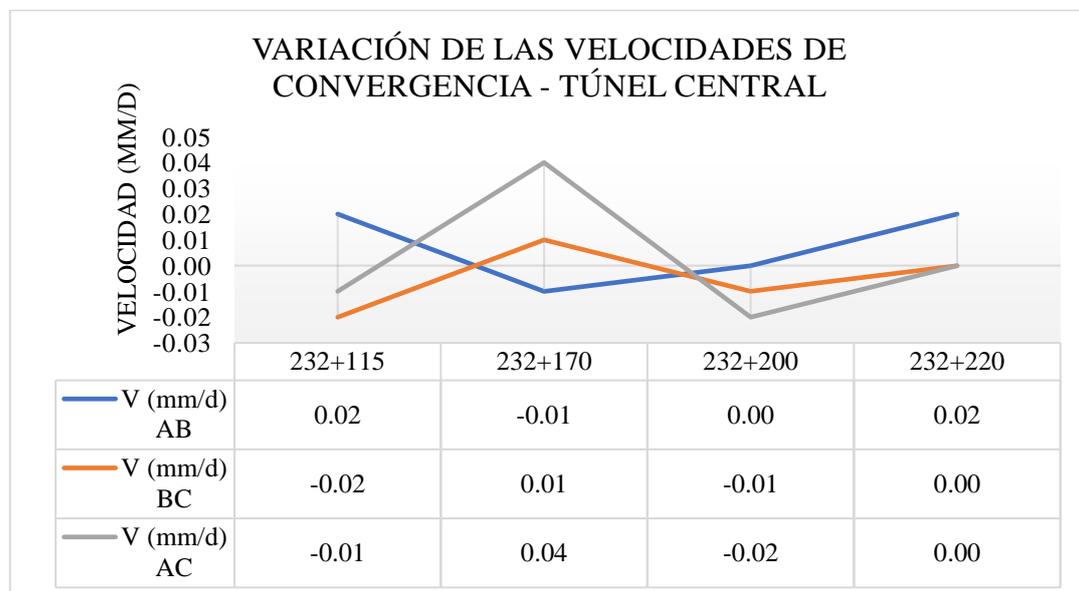
En el punto de la progresiva 232+170 se presenta una convergencia de 0.070, 0.220 y 0.060 considerada estable, en el punto de la progresiva 232+200 las convergencias fueron de -0.190, 0.020 y -0.070 considerada estable y finalmente en el punto de la progresiva 232+220 se presentan convergencias de 0.000, 0.000 y 0.000 considerada también estable, los controles realizados en la segunda etapa presentan en el punto de la progresiva 232+115 una convergencia en “AB, BC, AC” de 0.150, 0.320 y -

0.190 considerada estable, en el punto de la progresiva 232+170 se presenta una convergencia de -0.530, -0.310 y 0.040 considerada estable,

En el punto de la progresiva 232+200 las convergencias fueron de 0.150, 0.250 y 0.000 considerada estable y finalmente en el punto de la progresiva 232+220 se presentan convergencias de -0.760, 0.660 y 0.980 considerada también estable y los controles realizados en la tercera etapa el mismo día presentan en el punto de la progresiva 232+115 una convergencia en “AB, BC, AC” de 0.320, -0.370 y -0.290 considerada estable, en el punto de la progresiva 232+170 se presenta una convergencia de -0.150, 0.240 y 0.630 considerada estable, en el punto de la progresiva 232+200 las convergencias fueron de -0.040, -0.080 y -0.170 considerada estable y finalmente en el punto de la progresiva 232+220 se presentan convergencias de 0.170, 0.030 y 0.040 considerada también estable.

### Figura 21

Resultados de velocidades de convergencia - túnel central



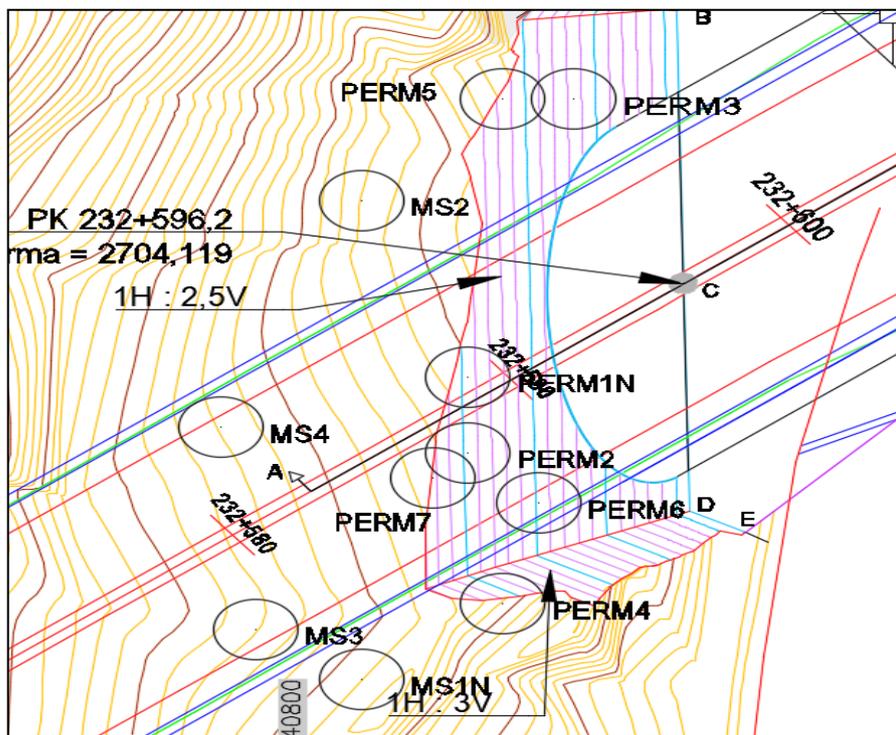
*Nota,* En la figura se muestran los resultados de las velocidades de convergencia en el túnel central que varía entre -0.02 y 0.04 mm/d, lo que indica que las deformaciones son relativamente lentas y, en la mayoría de los casos, se encuentran dentro de rangos controlados.

La velocidad de deformación va disminuyendo a medida se avanza con la excavación desde la progresiva 232+115 hasta la progresiva 232+220, ya que la velocidad de convergencia es baja, sugiere un control efectivo del soporte instalado en función del tipo de suelo y roca encontrados.

En la siguiente figura se presenta un plano detallado de los puntos de control en pernos para estimar la subsidencia en la superficie del túnel de salida, se observan siete puntos en donde se controló la subsidencia mediante una estación total. En la tabla 10 se muestran las coordenadas topográficas y la altitud por cada punto especificado en el túnel de salida detallado gráficamente en la figura anterior.

### Figura 22

*Ubicación de los puntos de monitoreo (PER1, PER2, PER3, PER4, PER5, PER6 y PER7) – túnel de salida*



**Tabla 14**

*Coordenadas topográficas de los puntos de control de subsidencia - túnel de salida*

Coordenadas topográficas - túnel de salida				
Progresiva	Punto	Este	Norte	Cota
232+585	PER-1	340805.085	8474029.440	2717.088
232+570	PER-2	340805.157	8474024.011	2717.487
232+555	PER-3	340807.947	8474037.800	2711.519
232+540	PER-4	340806.352	8474017.802	2715.488
232+525	PER-5	340806.349	8474037.816	2715.495
232+505	PER-6	340807.472	8474021.661	2713.517
232+455	PER-7	340804.251	8474023.220	2719.1779

**Tabla 15**

*Resumen de control de subsidencia - túnel de salida*

Control de subsidencia - túnel de salida					
Mediciones	Punto	Fecha de medida	$\Delta x$ (mm)	$\Delta y$ (mm)	$\Delta z$ (mm)
Primera medida	PER-1	6/01/2021	0.008	0.003	-0.001
	PER-2	6/01/2021	-0.005	-0.002	-0.002
	PER-3	6/01/2021	-0.005	-0.001	-0.001
	PER-4	6/01/2021	0.017	0.014	-0.002
	PER-5	6/01/2021	0.015	0.006	-0.001
	PER-6	6/01/2021	0.000	0.001	-0.001
	PER-7	6/01/2021	0.004	0.011	0.000
Segunda medida	PER-1	7/08/2021	0.007	0.003	-0.003
	PER-2	7/08/2021	-0.042	-0.021	-0.003
	PER-3	7/08/2021	-0.001	0.002	-0.002
	PER-4	7/08/2021	0.035	0.036	-0.001
	PER-5	7/08/2021	-0.011	-0.008	-0.004
	PER-6	7/08/2021	0.002	0.001	-0.002
	PER-7	7/08/2021	0.004	0.013	0.000
Tercera medida	PER-1	18/03/2022	-0.003	0.003	-0.002
	PER-2	18/03/2022	-0.002	-0.002	0.004
	PER-3	18/03/2022	-0.001	0.002	0.000
	PER-4	18/03/2022	-0.005	-0.004	0.002
	PER-5	18/03/2022	-0.001	-0.003	-0.004
	PER-6	18/03/2022	0.002	0.001	-0.002
	PER-7	18/03/2022	0.001	0.004	0.000

*Nota*, en la tabla se presentan los valores resultantes de las mediciones en tres etapas en la superficie del túnel Ollachea, específicamente en el tramo del túnel de salida, los controles realizados en la primera etapa presentan en el punto PER1 una deflexión en “x, y, z” de 0.008, 0.003 y -0.001 considerada una subsidencia estable, en el punto PER2 una deflexión de -0.005, -0.002 y -0.002 considerada una subsidencia estable.



En el punto PER3 se presentan deflexiones de -0.005, -0.001 y -0.001 también considerada estable, en el punto PER4 las deflexiones fueron de 0.017, 0.014 y -0.002 de igual manera considerada una subsidencia estable, en el punto PER5 deflexiones de 0.015, 0.006 y --0.001 considerada una subsidencia estable.

En el punto PER6 las deflexiones fueron de 0.000, 0.001 y -0.001 de subsidencia estable y finalmente en el punto PER7 las deflexiones resultantes fueron de 0.004, 0.0011 y 0.000 considerada una subsidencia estable, los controles realizados en la segunda etapa presentan en el punto PER1 una deflexión en “x, y, z” de 0.007, 0.003 y -0.003 considerada una subsidencia estable, en el punto PER2 una deflexión de -0.042, -0.021 y 0.003 considerada una subsidencia estable, en el punto PER3 se presentan deflexiones de -0.001, 0.002 y -0.002 también considerada estable.

En el punto PER4 las deflexiones fueron de 0.035, 0.036 y -0.001 de igual manera considerada una subsidencia estable, en el punto PER5 deflexiones de -0.011, -0.008 y -0.004 considerada una subsidencia estable, en el punto PER6 las deflexiones fueron de 0.002, 0.001 y -0.002 de subsidencia estable y finalmente en el punto PER7 las deflexiones resultantes fueron de 0.004, 0.013 y 0.000 considerada una subsidencia estable y los controles realizados en la tercera etapa presentan en el punto PER1 una deflexión en “x, y, z” de -0.003, 0.003 y -0.002 considerada una subsidencia estable

En el punto PER2 una deflexión de -0.002, -0.002 y 0.004 considerada una subsidencia estable, en el punto PER3 se presentan deflexiones de -0.001, 0.002 y 0.000 también considerada estable, en el punto PER4 las deflexiones fueron de -0.005, -0.004 y 0.002 de igual manera considerada una subsidencia estable, en el punto PER5 deflexiones de -0.001, -0.003 y -0.004 considerada una subsidencia estable, en el punto PER6 las deflexiones fueron de 0.002, 0.001 y -0.002 de subsidencia estable y finalmente

en el punto PER7 las deflexiones resultantes fueron de 0.001, 0.004 y 0.000 considerada una subsidencia estable.

**Tabla 16**

*Resumen de control de convergencia - túnel de salida*

Control de convergencias - túnel de salida					
Mediciones	Punto	Fecha de medida	Convergencia AB (mm)	Convergencia BC (mm)	Convergencia AC (mm)
Primera medida	232+585	21/05/2021	0.180	0.120	0.080
	232+570	21/05/2021	0.050	0.010	-0.070
	232+555	21/05/2021	-0.030	0.010	-0.050
	232+540	20/05/2021	-0.040	-0.210	-0.390
	232+525	31/05/2021	0.000	0.000	0.000
	232+505	31/05/2021	0.150	0.430	0.070
	232+455	31/05/2021	0.000	0.000	0.000
Segunda medida	232+585	7/08/2021	-0.040	0.120	0.080
	232+570	7/08/2021	-0.010	-0.010	0.052
	232+555	6/08/2021	-0.040	0.050	-0.015
	232+540	6/08/2021	-0.040	-0.020	0.043
	232+525	6/08/2021	0.160	0.400	-0.060
	232+505	6/08/2021	0.300	0.200	0.280
	232+455	6/08/2021	0.030	0.040	0.290
Tercera medida	232+585	9/03/2022	0.550	0.150	0.320
	232+570	9/03/2022	0.500	0.360	0.120
	232+555	9/03/2022	0.010	0.150	0.000
	232+540	9/03/2022	0.040	0.040	0.040
	232+525	9/03/2022	0.010	0.010	-0.020
	232+505	9/03/2022	0.030	0.030	0.040
	232+455	9/03/2022	0.000	0.020	0.080

*Nota*, en la tabla se detallan los resultantes de las mediciones en tres etapas en el interior del túnel Ollachea, específicamente en el tramo del túnel de salida, los controles realizados en la primera etapa presentan en el punto de la progresiva 232+585 una convergencia en “AB, BC, AC” de 0.180, 0.120 y 0.080 considerada estable, en el punto de la progresiva 232+570 se presenta una convergencia de 0.050, 0.010 y -0.070 considerada estable, en el punto de la progresiva 232+555 las convergencias fueron de -0.030, 0.010 y -0.050 considerada estable.

En la progresiva 232+540 se presentan convergencias de -0.040, -0.210 y -0.390 considerada estable, en la progresiva de 232+525 las convergencias son 0.000, 0.000 y 0.000, en las progresiva de 232+505 las convergencias son 0.150, 0.430 y 0.070



considerada estable y finalmente en la progresiva de 232+455 se presentan convergencias de 0.000, 0.000 y 0.000 considerada estable.

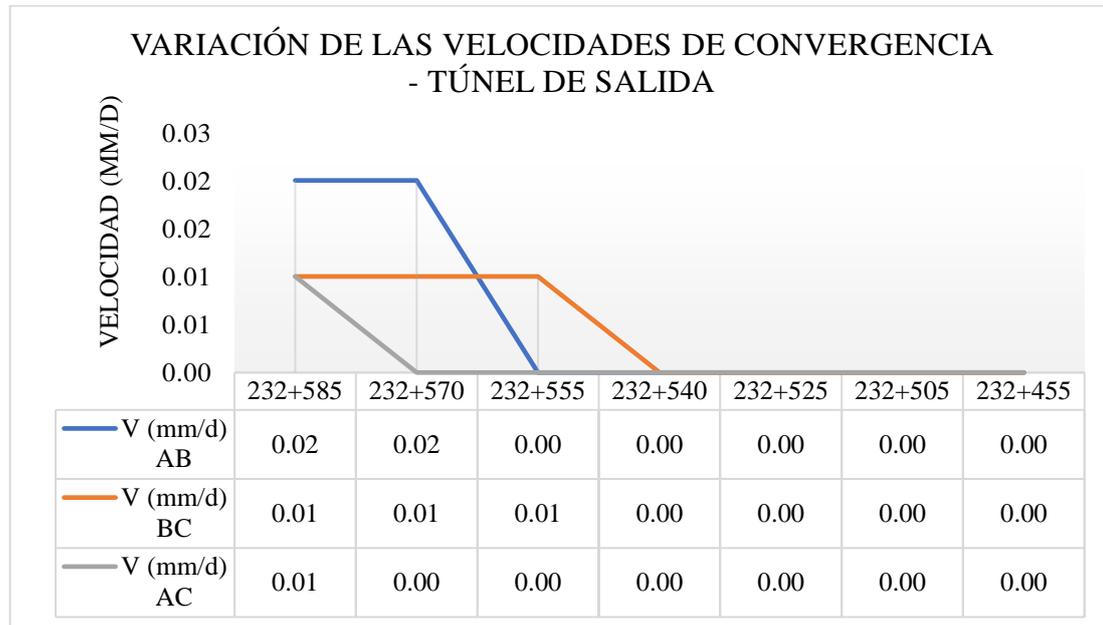
Los controles realizados en la segunda etapa presentan en el punto de la progresiva 232+585 una convergencia en “AB, BC, AC” de -0.040, 0.120 y 0.080 considerada estable, en el punto de la progresiva 232+570 se presenta una convergencia de -0.010, -0.010 y 0.052 considerada estable.

En el punto de la progresiva 232+555 las convergencias fueron de -0.040, 0.050 y -0.015 considerada estable, en la progresiva 232+540 se presentan convergencias de -0.040, -0.020 y 0.043 considerada estable, en la progresiva de 232+525 las convergencias son 0.160, 0.400 y -0.060, en las progresiva de 232+505 las convergencias son 0.300, 0.200 y 0.280 considerada estable y finalmente en la progresiva de 232+455 se presentan convergencias de 0.030, 0.040 y 0.290 considerada estable y los controles realizados en la tercera etapa presentan en el punto de la progresiva 232+585 una convergencia en “AB, BC, AC” de 0.550, 0.150 y 0.320 considerada estable.

En el punto de la progresiva 232+570 se presenta una convergencia de 0.500, 0.360 y 0.120 considerada estable, en el punto de la progresiva 232+555 las convergencias fueron de 0.010, 0.150 y 0.000 considerada estable, en la progresiva 232+540 se presentan convergencias de 0.040, 0.040 y 0.040 considerada estable, en la progresiva de 232+525 las convergencias son 0.010, 0.010 y -0.020, en las progresiva de 232+505 las convergencias son 0.030, 0.030 y 0.040 considerada estable y finalmente en la progresiva de 232+455 se presentan convergencias de 0.000, 0.020 y 0.080 considerada estable.

**Figura 23**

*Resultados de velocidades de convergencia - túnel de salida*

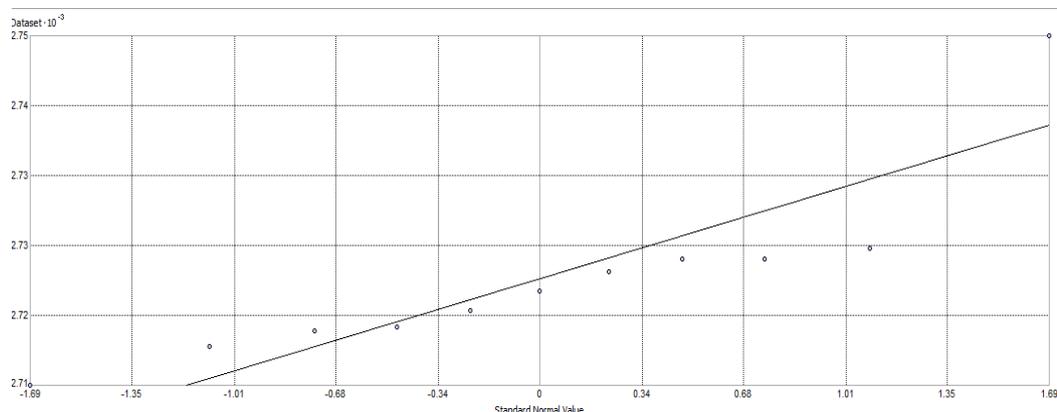


*Nota*, en la figura se muestran los resultados de las velocidades de convergencia en el túnel de salida que varía entre 0.00 y 0.02 mm/d, lo que indica que las deformaciones son relativamente lentas y, en la mayoría de los casos, se encuentran dentro de rangos controlados. La velocidad de deformación se incrementa a medida se avanza con la excavación desde la progresiva 232+455 hasta la progresiva 232+585, ya que la velocidad de convergencia se incrementa se sugiere un control efectivo del soporte a instalar en función del tipo de suelo y roca encontrados especialmente cuando la progresiva avanza.

#### 4.2.1. Resultados Estadísticos del objetivo específico 2

**Figura 24**

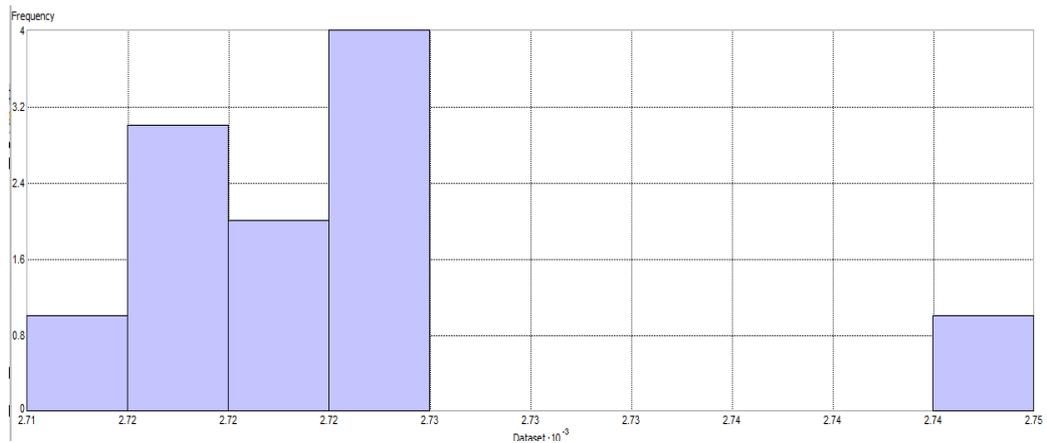
*Normalidad de los datos geoestadísticos procesados*



*Nota*, en la figura anterior se determina que la relación es lineal, por lo que establece la normalidad de los datos geoestadístico-analizados con la metodología krining.

**Figura 25**

*Normalidad de los datos geoestadísticos procesados*



*Nota*, en la figura anterior se estableció tres tipos de suelos, la misma que tiene una desviación estándar de 9.2911, y una kurtosis de 5.8273, una mediana de 2717.2, la misma que es el resultado para el uso de la metodología geoestadística del kringing.

## 4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

### 4.3.1. Contrastación de la hipótesis específicos

#### Planteamiento de la hipótesis específico 1:

Existe una relación geoespacial directa y significativa en el asentamiento superficial y el tipo de suelo en el túnel tramo Ollachea

#### Prueba geoestadística

$H_0$  = No existe una relación geoespacial directa y significativa en el asentamiento superficial y el tipo de suelo en el túnel tramo Ollachea.

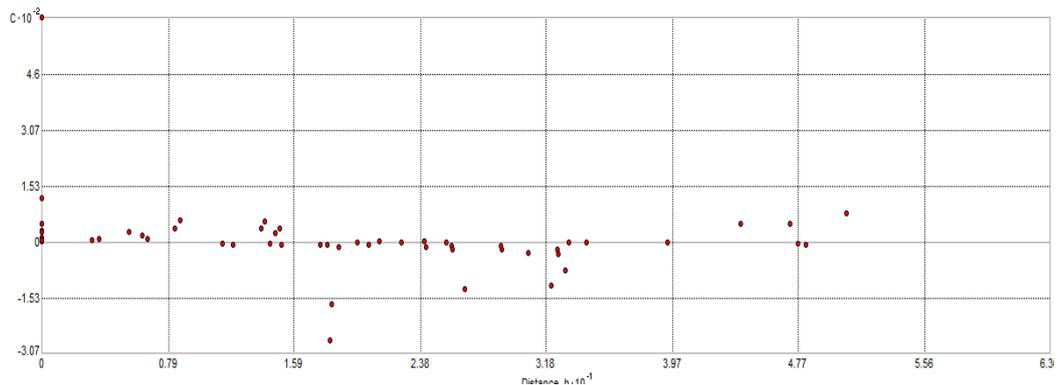
Estimación de P *Sig.* > 0.05, Covariance no lineal

$H_1$  = Existe una relación geoespacial directa y significativa en el asentamiento superficial y el tipo de suelo en el túnel tramo Ollachea.

Estimación de P *Sig.* < 0.05, Covariance lineal.

## Figura 26

### *Covariante de las variables de relación*



*Nota*, la relación de ambas variables en relación a las covariante es lineal, por tal razón existe una relación entre ambas dimensiones de la variable del objetivo específico 1.

Se acepta la hipótesis alterna, por lo que se puede afirmar que Existe una relación geoespacial directa y significativa en el asentamiento superficial y el tipo de suelo en el túnel tramo Ollachea

### **Planteamiento de la hipótesis específico 2:**

Existe una relación geoespacial directa y significativa de la subsidencia superficial y la convergencia en el túnel tramo Ollachea

### **Prueba geoestadística**

$H_0$  = No existe una relación geoespacial directa y significativa de la subsidencia superficial y la convergencia en el túnel tramo Ollachea.

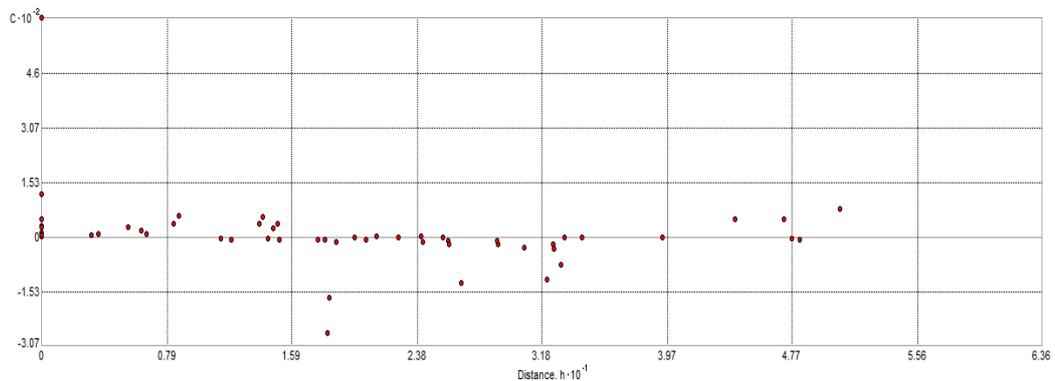
Estimación de P *Sig.* > 0.05, Covariance no lineal

$H_1$  = Existe una relación geoespacial directa y significativa de la subsidencia superficial y la convergencia en el túnel tramo Ollachea.

Estimación de P *Sig.* < 0.05, Covariance lineal

**Figura 27**

*Covariante de las variables de relación*



*Nota*, la relación de ambas variables en relación a las covariante es lineal, por tal razón existe una relación entre ambas dimensiones de la variable del objetivo específico 2.

Se acepta la hipótesis alterna, por lo que se puede afirmar que Existe una relación geoespacial directa y significativa de la subsidencia superficial y la convergencia en el túnel tramo Ollachea.

#### **4.3.2. Contrastación de la hipótesis general**

##### **Planteamiento de la hipótesis general:**

Existe una relación geoespacial directa y significativa entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea

##### **Prueba geoestadística**

$H_0$  = No existe relación geoespacial directa y significativa entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea.

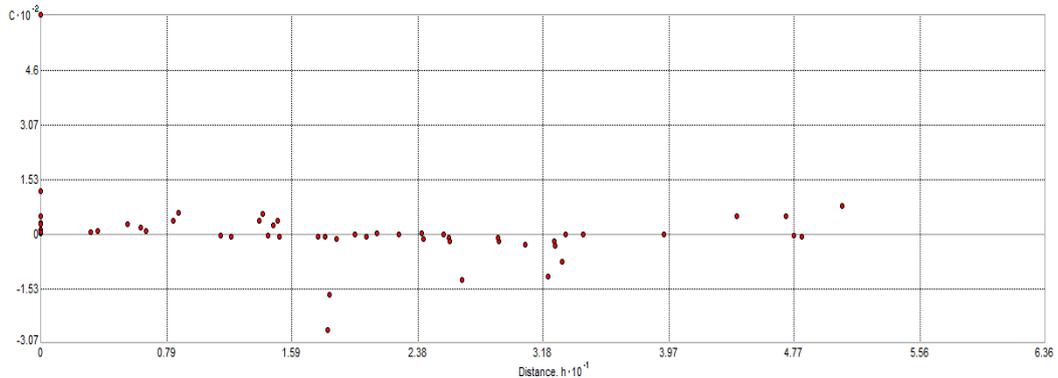
Estimación de P *Sig.* > 0.05, Covariance no lineal

$H_1$  = Existe relación geoespacial directa y significativa entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea.

Estimación de P *Sig.* < 0.05, Covariance lineal

**Figura 28**

Covariante de las variables de relación



*Nota*, la relación de ambas variables en relación a las covariante es lineal, por tal razón existe una relación entre ambas dimensiones de la variable del objetivo general.

Se acepta la hipótesis alterna, por lo que se puede afirmar que Existe una relación geoespacial directa y significativa entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea.

#### 4.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

**OE1:** Establecer la relación geoespacial entre el asentamiento superficial y el tipo de suelo en el túnel tramo Ollachea

La relacion geoespacial entre el asentamiento superficial y el tipo de suelo en el tunel Ollachea si existe dicha relacion, lo mismo que establece dicha relacion según Islam & Iskander (2024) en su artículo menciona que cuanto mayor es la profundidad de la cubierta, más ancho es el canal de asentamiento transversal y más se desplaza la posición de asentamiento máximo hacia la línea central del túnel existente, es decir que a medida que aumenta el diámetro de un túnel, el asentamiento transversal tanto del túnel existente como del túnel de cruce recientemente excavado aumenta independientemente de la secuencia de excavación.



Como también respalda dicha afirmación, Hu et al. (2024) también indica que el asentamiento produce un desplazamiento hacia el interior del túnel de escudo curvo y que la evaluación de la seguridad en la construcción de túneles con escudos de doble curvatura. En la investigación los desplazamientos tanto en “x,y,z” son mínimas, ya que el tipo de suelo que se encuentra es adecuado y con una capacidad de resistencia elevada, por lo que el asentamiento fue estable, también se debe a las dimensiones del túnel que no exceden lo propuesto para evitar fallas, tal como lo mencionan los autores que a mayor dimensión los asentamientos superficiales incrementan teniendo la necesidad de utilizar sostenimientos más efectivos.

Zhou, Liu, & Li (2023), establece que es necesario llevar un control sobre la convergencia en los túneles y tiene una relación entre las variables del asentamiento superficial y el tipo de suelo que está relacionado directamente, tal como se muestra en los resultados de la investigación.

**OE2:** Establecer la relación geoespacial de la subsidencia superficial y la convergencia en el túnel tramo Ollachea

Conforme a la teoría geomecánica en el proceso constructivo se tiene una relación entre la subsidencia superficial y la convergencia, la misma que confirma Chen et al., (2019); Huat et al. (2024); y Niu et al. (2024) en sus investigaciones indica que los cambios ambientales o los errores del sensor pueden tener una influencia considerable en la precisión del cálculo de convergencia real que todavía es mínima al comienzo de la etapa de monitoreo.

El otro autor Zhang et al. (2023) menciona que a grandes convergencias es indispensable tomar decisiones en materia de medidas correctivas para revestimientos de túneles segmentados cuya utilidad está en peligro, por tal razón confirma dicha



conclusión de la investigación que existe dicha relación, se tiene los controles de convergencia no solo se debe confiar en el punto de control externo, como el control interno. Con relación a los asentamientos y deslizamientos tiene una relación directa con el control de convergencia y la subsidencia superficial tal como lo afirma Bocangelino (2021); y Sanent (2015) en su estudio de control de pernos en minas.

El otro punto Satici & Topal (2021) el autor lo relaciona en relación de la subsidencia superficial y convergencia, la misma que menciona que en áreas de suelos blandos existe una relación en ambos puntos y medidas de control. Concluyendo en su investigación que la formación de diferentes modos de convergencia depende principalmente de la condición de carga inicial en la etapa de los segmentos que salen de la cola del escudo, además que la relación de acoplamiento obvia entre la convergencia y el asentamiento longitudinal puede encontrarse después de la operación a largo plazo de las pruebas lo que confirma esta investigación.

**OG:** Establecer la relación que existe entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea.

También Hu et al. (2024) estableció que existe una relación directa de asentamiento de la superficie y la convergencia en las medidas de control, coincidiendo con la investigación realizada. El otro punto según el autor Bocangelino (2021); y Sanent (2015) analizaron también la relación de convergencia con relación al asentamiento superficial si existe dicha relación, tal como se estableció en esta investigación mediante el equipo de extensómetro.

Zhou et al. (2023) sostiene que la relación es directa como longitudinal de las deformaciones de las coordenadas en las direcciones X, Y, y Z, en la investigación que los resultados de cada uno de los resultados de convergencias y velocidades que depende



directamente de la corteza terrestre que está por encima del túnel, la misma que se puede observar el asentamiento en la superficie superior del túnel.

El otro autor Satici & Topal (2021) estableció la relación entre las variables de estudio, tal como se afirmó, pero sin embargo dichas variables varían en función de las características geomecánicas del túnel, con relación al sistema que lo contenga y los elementos internos y externos de cada punto de control y análisis de las fallas geológicas que puedan apreciar según Hu et al. (2024).



## V. CONCLUSIÓN

**PRIMERA:** Se estableció que existe una relación geoespacial directa y significativa entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea, determinado por la metodología geoestadística de covariante lineal.

**SEGUNDA:** Existe una relación geoespacial directa y significativa en el asentamiento superficial y el tipo de suelo en el túnel tramo Ollachea, de covariante lineal entre la variable y la dimensión, con una desviación estándar de 0.8419, y una Kurtosis de 1.915, una mediana de 1, la misma que es el resultado para el uso de la metodología geoestadística del kriging

**TERCERA:** Existe una relación geoespacial directa y significativa de la subsidencia superficial y la convergencia en el túnel tramo Ollachea, de covariante lineal entre la variable y la dimensión, desviación estándar de 9.2911, y una Kurtosis de 5.8273, una mediana de 2717.2, la misma que es el resultado para el uso de la metodología geoestadística del kriging.



## VI. RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Los resultados obtenidos se debe tomar en consideración que son controles geoestadísticos y topográficos, mas no es la determinación de las causas de los deslizamientos, por lo que se recomienda un inicio de las investigaciones de las causas y efectos con relación a la geomecánica de un túnel en relación con su geometría u otros factores

**SEGUNDA:** El asentamiento superficial es un fenómeno aun no estudiado, esto se debe en función del comportamiento de la geología, la geotecnia y la geomecánica de cada zona de estudio, lo que se recomienda el planteamiento de metodologías de control para establecer los efectos que puedan ocurrir en función de los asentamientos superficiales observados desde la superficie.

**TERCERA:** La convergencia como la velocidad de los deslizamientos como subsidencia de la superficie son fenómenos que se pueden medir, con equipos topográficos con distintos sistemas, pero en la actualidad no existe metodología para emplear otros equipos como son las indirectas, la misma que abre una ventana para la investigación de otras metodologías que puedan medir la convergencia como establecer la subsidencia superficial en túneles.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bocangelino, U. (2021). Control de la estabilidad en la galería 100 de la mina Monkey Blue – Apurímac. In *Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco*.
- Chang, X., Wang, H., Zhang, Y., Wang, F., & Li, Z. (2022). Bayesian prediction of tunnel convergence combining empirical model and relevance vector machine. *Measurement*, *188*, 110621. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110621>
- Chen, R.-P., Zhang, P., Kang, X., Zhong, Z.-Q., Liu, Y., & Wu, H.-N. (2019). Prediction of maximum surface settlement caused by earth pressure balance (EPB) shield tunneling with ANN methods. *Soils and Foundations*, *59*(2), 284–295. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2018.11.005>
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2004). Ingeniería Geológica. In *Pearson Education*.
- Hu, Y., Tang, H., Xu, Y., Lei, H., Zeng, P., Yao, K., & Dong, Y. (2024). Ground settlement and tunnel response due to twin-curved shield tunnelling in soft ground with small clear distance. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, *16*(8), 3122–3135. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2024.06.005>
- Huaman, A., Ardiles, R., Mendieta, H., Arias, F., Salas, W., Nikaido, E., & Curi, N. (2015). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas* (OSINERGMIN).
- Huang, C., Du, H., Li, L., Ni, J., & Sun, Y. (2023). Application of tree-based methods in predicting the surface settlement arising from the tunnel excavation with large mix-shield. *Soils and Foundations*, *63*(6), 101379. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2023.101379>



- Huat, C. Y., Armaghani, D. J., Lai, S. H., Motaghedi, H., Asteris, P. G., & Fakharian, P. (2024). Analyzing surface settlement factors in single and twin tunnels: A review study. *Journal of Engineering Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.05.009>
- Niu, G., He, X., Xu, H., & Dai, S. (2024). Tunnelling-induced ground surface settlement: A comprehensive review with particular attention to artificial intelligence technologies. *Natural Hazards Research*, 4(1), 148–168. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.11.002>
- Sanent, S. (2015). La estabilidad del frente de excavación de un túnel en terrenos heterogéneos o con un criterio de rotura no-lineal. *Universidad Politecnica de Madrid*, 1–327.
- Satici, Ö., & Topal, T. (2021). Assessment of damage zone thickness and wall convergence for tunnels excavated in strain-softening rock masses. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 108, 103722. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103722>
- Yao, C., He, S., Chen, H., Zhang, X., & Wang, Z. (2025). Pose estimation of nonoverlapping FOV cameras for shield tunnel convergence measurement. *Measurement*, 242, 116101. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.116101>
- Zhang, J.-L., Jiang, Z., Liu, X., Yuan, Y., Mang, H. A., & Pichler, B. L. A. (2023). Identification of deformed configurations of segmental tunnel rings based on measured convergences. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 135, 105033. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2023.105033>
- Zhou, Z., Liu, Y., & Li, H. (2023). A method for convergence monitoring considering the flattening effect in a shield tunnel with BOTDA sensors. *Measurement*, 211, 112611. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112611>



## ANEXOS

**ANEXO 01:** Calibración de instrumentos de recolección de datos

**ANEXO 02:** Panel fotográfico.

**ANEXO 03:** Mapas Geoestadísticos



## ANEXO 1 Calibración de instrumentos de recolección de datos



### CERTIFICADO DE CALIBRACION



#### DATOS DEL EQUIPO

<b>Nombre</b> : NIVEL AUTOMATICO	<b>Precisión</b> : ± 2.0 mm. en nivelación doble de 1km.
<b>Marca</b> : TOPCOM	<b>Campo de Vista</b> : 1°25'
<b>Modelo</b> : AT-B4A	<b>Distancia mínima de visado</b> : 0.3 m.
<b>Serie</b> : WP139405	<b>Lectura mínima</b> : 32mm a estima
	<b>Telescopio</b> : Imagen directa 24x

CERTIFICADO DE CALIBRACION NO. 023-0210/23

ENTIDAD CERTIFICADORA: COSOLA GROUP S.A.C.

#### METODOLOGIA APLICADA Y TRAZABILIDAD DE LOS PATRONES

Para controlar y calibrar este instrumento se contrastan con un colimador original TOPCON con telescopio de 34x en cuyo retículo enfocado al infinito, el grosor de sus trazos está dentro de 01"; que es patronado periódicamente por una Estación Total OS-101 de precisión al 01" con el método de lectura Directa-Inversa. El control se ejecuta en la base soporte metálica fijada en cimiento específico del colimador Topcon a influencias del clima y enfocados los retículos al infinito, tomando en consideración la temperatura y la presión atmosférica de nuestro Laboratorio.

Patrón secundario: Certificado de Calibración emitido por INACAL LGD-002-2022 Disto D510 Resolución 0,0001 m Serie No. 1096381440 No. De Expediente 1045436, este instrumento de medición es utilizado adicionalmente como base patrón para las mediciones de Distancias.

<b>TEMPERATURA LABORATORIO</b> 22.0° CELCIUS	<b>HUMEDAD RELATIVA LABORATORIO</b> 70%	<b>PRES. ATM.</b> 760 mm Hg
---	--	--------------------------------

#### NORMA APLICADA

Desviación estándar basada en la norma ISO 17123 y la DIN 18723 del nivel automático AT-B4A TOPCON de precisión 2.0 mm en nivelación doble de 1 km.

#### RESULTADOS

<b>Distancia Lectura de Instrumento Patrón</b>	<b>Distancia Instrumento contrastado</b>	<b>Diferencia</b>
Reticulos enfocados al infinito:	± 1.4 de grosor de trazo (aprox. 0.4")	± 1.4 de grosor de trazo (0.4")
<b>Porcentaje de Error: ± 0.001 %</b>	<b>± 1.5 del grosor de trazo del retículo enfocado al infinito.</b>	

#### CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO

Fecha	Mantenimiento	Calibración	Próxima Calibración	Observación
27/11/2023		X	06 meses	% 100 OPERATIVO

<b>Responsable de Verificación</b>	<b>Propietario</b>	<b>Obra</b>
<b>COSOLA GROUP S.A.C.</b>	<b>Comunidad campedina ollachea</b> RUC: 20286130675	
<b>COSOLA GROUP S.A.C.</b>  Pedro Andia Girao Gerente Técnico		
Firma y Sello	Firma y Sello	



# GLOBAL PRECISION INSTRUMENTS

Lima, 20 de diciembre de 2023

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N.º 001217- 1223

CLIENTE : COMUNIDAD CAMPESINA OLLACHEA  
RUC / DNI : 20286130675  
EQUIPO : ESTACION TOTAL      PRECISION : 1"  
MARCA : LEICA                    AUMENTO : 30x  
MODELO : TS07 1" R500        ENFOQUE MINIMO : 1.50 m  
N° DE SERIE : 3334155         ALCANCE : 3,500 Mts prisma / 500 Mts laser

GLOBAL PRECISION INSTRUMENTS S.A.C, identificada con ruc 20603662793, mediante su laboratorio de servicio técnico, le expide el presente certificado del equipo de topografía arriba descrito, el mismo que ha sido revisado, controlado y calibrado en todos los puntos en nuestro laboratorio.

**EQUIPO DE CALIBRACIÓN UTILIZADO:**

Equipo /Modelo	MARCA	MODELO	Origen
SET COLIMADOR	KOLIDA	LF-3C	CHINA

**METODOLOGÍA APLICADA TRAZABILIDAD DE LOS PATRONES:**

Para controlar y calibrar los ángulos se contrastan con un SET DE COLIMACIÓN KOLIDA LF-3C con tubo de enfoque paralelo de 30x y en cuyo retículo enfocado al infinito, el grosor de sus trazos está dentro de 01".

La verificación del alineamiento de los colimadores se realiza de forma diaria según manual de instrucción.

**PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN:**

Por medio del cierre angular en anteojo directo e invertido con el enfoque a infinito a través de un SET DE COLIMACIÓN KOLIDA LF-3C considerando valores de temperatura relativa y presión atmosférica para cada lectura del instrumento

TEMPERATURA EN LABORATORIO	HUMEDAD RELATIVA	PRESION ATMOSFERICA
24 °C	72%	1012 mb

**RESULTADOS ANGULARES:**

Ángulos	Valor Obtenido I	Valor Obtenido II	Valor Resultante	Error de Medida	Incertidumbre (Precisión)
Colimación Vertical	90° 00' 00"	270° 00' 00"	360° 00' 00"	0"	1"
Colimación Horizontal	00° 00' 00"	180° 00' 00"	180° 00' 00"	0"	1"

El instrumento se encuentra 100% operativo dentro de los estándares de fabricación.

Los resultados del presente documento son válidos únicamente para el equipo calibrado y se refieren al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones.

Fecha de Calibración: 20/12/2023

Próxima Calibración: 20/06/2024



*Jimmy Renzo Vargas Correa*  
GLOBAL PRECISION INSTRUMENTS S.A.C.  
ENCARGADO SOPORTE TÉCNICO

Oficina de Ventas: Jr. Mayta Cápac 1271 - Jesús María - Lima - Lima

(Ref. Entre la Av. Cuba con Salaverry)

(01) 228-7128 / 980 726 669 / 989 215 949 / 993 690 222

ventas@globalprecision.pe <http://www.globalprecision.pe>

Escaneado con CamScanner



Etiquetas: Extensómetro de Cinta

## EXTENSÓMETRO DE CINTA 1610 GEOKON

Marca: Geokon

Modelo: 1610

El Extensómetro de cinta 1610 está diseñado para medir pequeños cambios en la distancia entre paredes opuestas o entre el techo y el piso de excavaciones, túneles o aberturas de minas. También se pued..

[Solicitar Cotización](#)

Ud. puede compartir este producto en sus redes sociales favoritas...

[Ficha tecnica Extensómetro de Cinta 1610 Geokon](#)

[Manual Extensómetro de Cinta 1610 Geokon](#)



## DESCRIPCIÓN

El Extensómetro de cinta 1610 está diseñado para medir pequeños cambios en la distancia entre paredes opuestas o entre el techo y el piso de excavaciones, túneles o aberturas de minas. También se puede usar para controlar la deformación en estructuras y soportes y para medir movimientos de pendientes inestables. La lectura se proporciona electrónicamente a través de una pantalla LCD en el panel frontal.

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Longitudes de cinta	20, 30, 50 my 66, 100, 165 pies
Tensión de la cinta	10 kg
Exactitud	$\pm 0.1$ mm

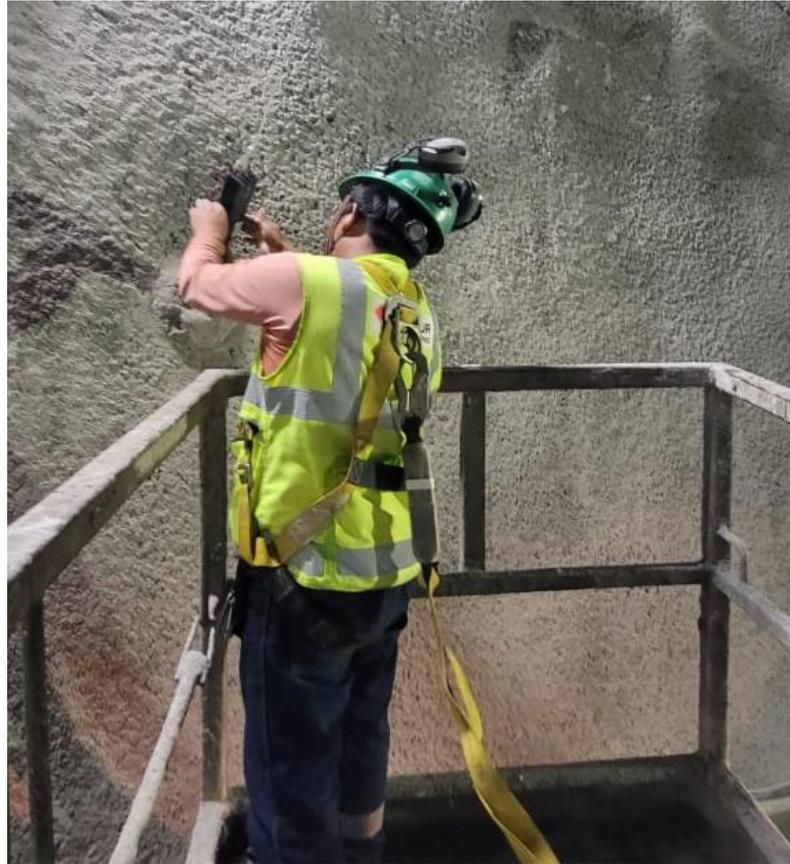
## ANEXO 2 Panel fotográfico



**Fotografía 1.** Excavación del túnel Ollachea



**Fotografía 2.** Colocación del extensómetro en el punto C



**Fotografía 3.** Colocación del extensómetro en el punto A



**Fotografía 4.** Colocación del extensómetro en el punto B



**Fotografía 5.** Control de la subsidencia en el túnel entrada con el nivel topográfico

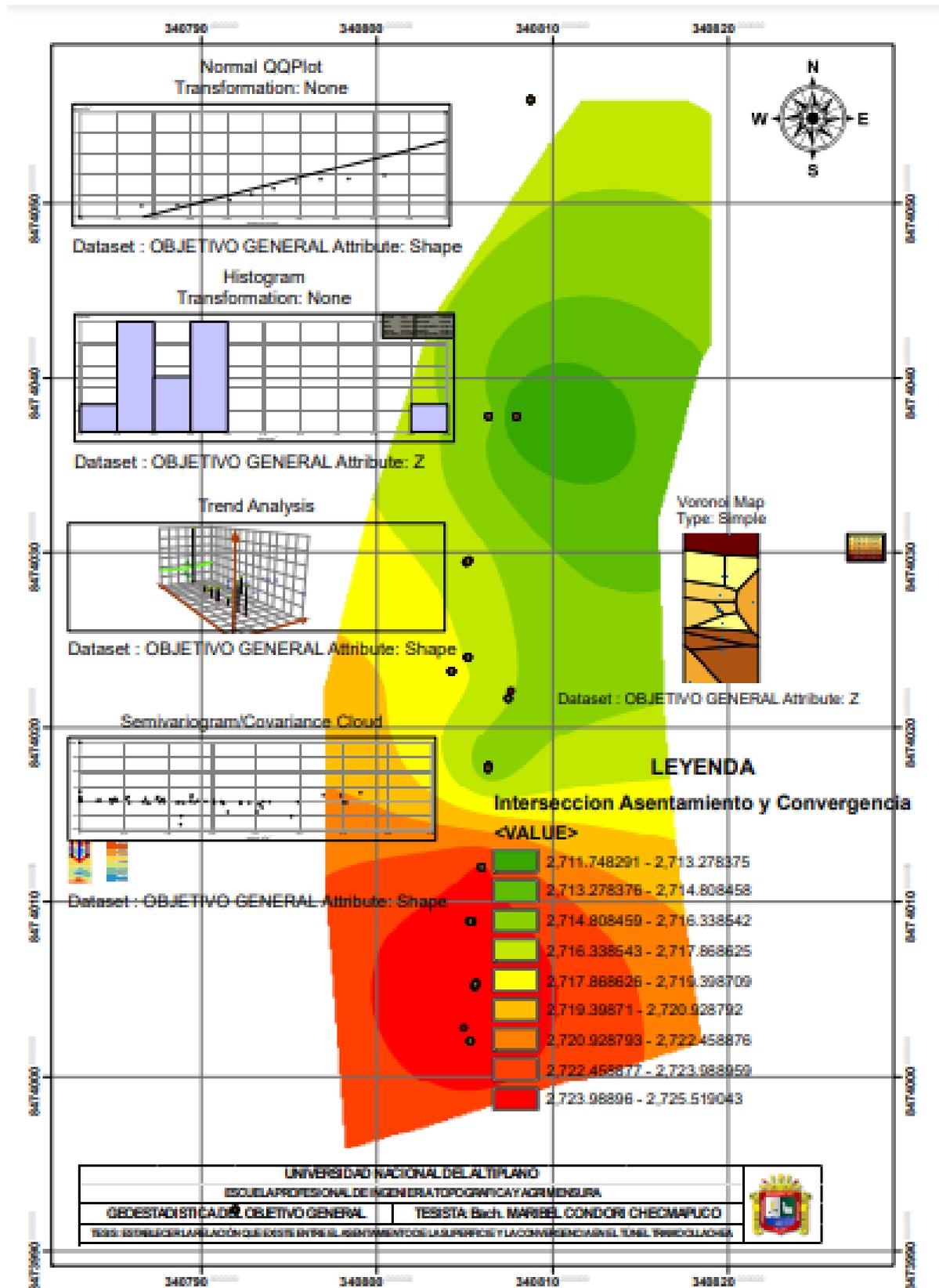


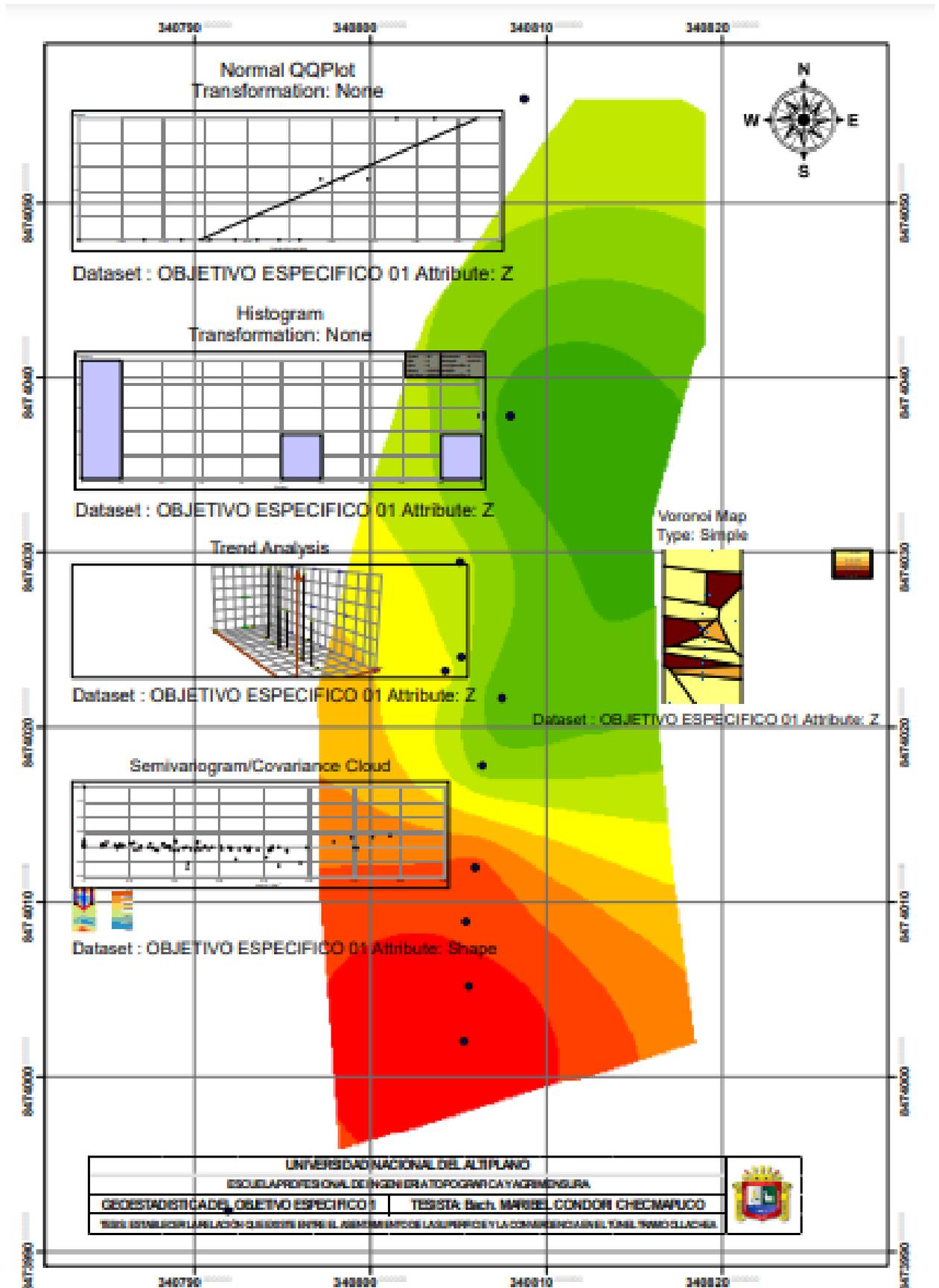
**Fotografía 6.** Control de la subsidencia en la Galería de emergencia con el nivel automático

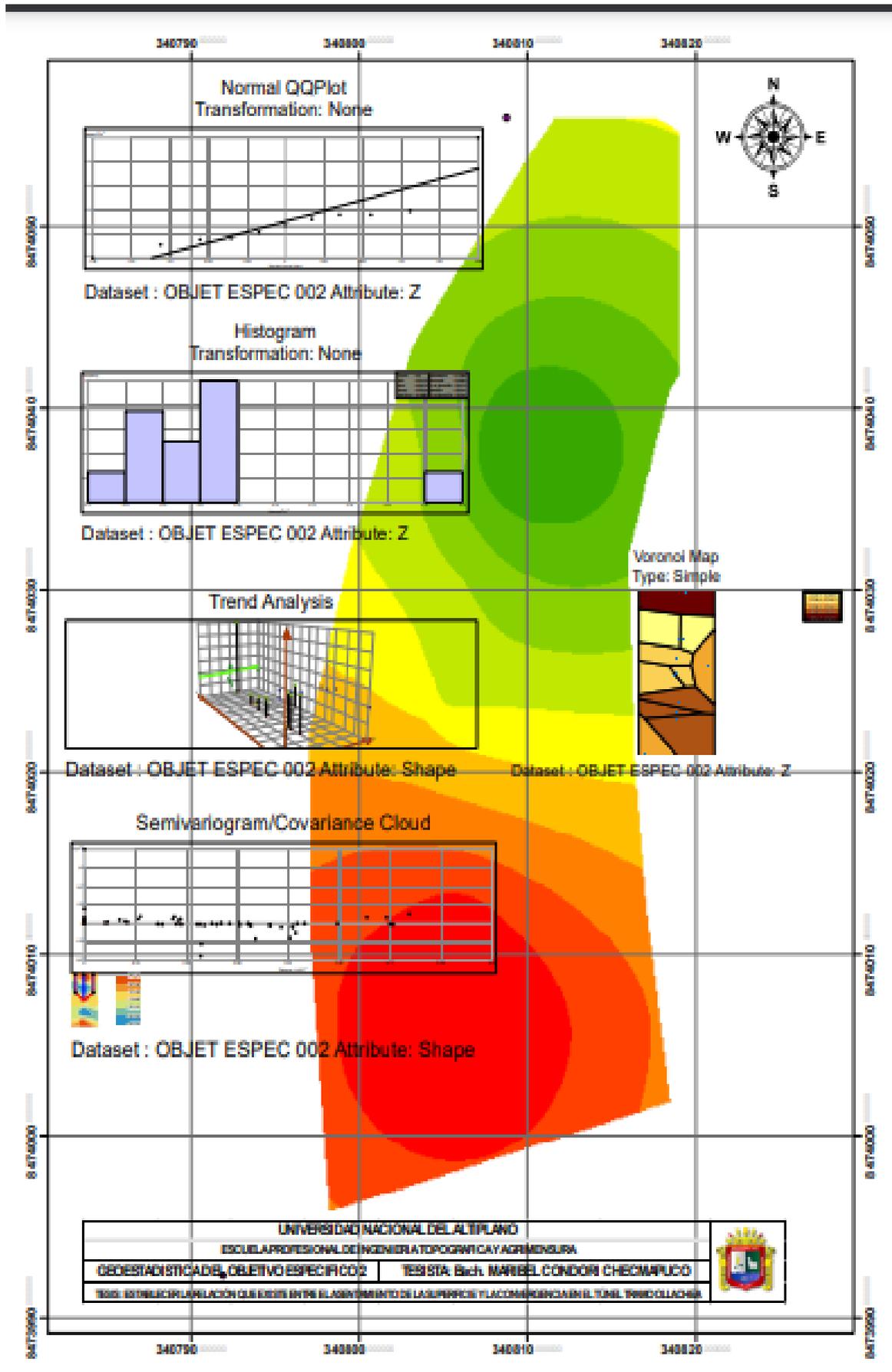


**Fotografía 7.** Control de la subsidencia en el túnel salida con estación total

### ANEXO 3 Mapas geoestadísticos









### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Maribel Condori Checmapuco  
identificado con DNI 71689676 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Topográfica y Agimensura

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ Establecer la relación que existe entre el asentamiento  
de la superficie y la convergencia en el túnel  
tramo ollachea ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 18 de diciembre del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Maribel Condori Chemoapico,  
identificado con DNI 71689676 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Topográfica y Agrimensura,  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

" Establecer la relación que existe entre el asentamiento de la superficie y la convergencia en el túnel tramo Ollachea "

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento,

Puno 18 de diciembre del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella