



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis de dovelas en un túnel carretero mediante programa de
elementos finitos, Trujillo 2022

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil

AUTORES:

Gomez Amaya, Eder Gonzalo (orcid.org/0000-0001-7032-6936)

Ruiz Silva, Ariana Alexa (orcid.org/0000-0003-3387-9501)

ASESOR:

Mg. Noriega Vidal, Eduardo Manuel (orcid.org/0000-0001-7674-7125)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Innovación tecnológica y desarrollo sostenible

TRUJILLO — PERÚ

2023

Dedicatoria

A Dios por las fuerzas que me ha dado para continuar con cada obstáculo, a mis padres y mis hermanos por su apoyo para no rendirme. Este logro va con mucho amor hacia mi familia.

Gonzalo Eder Gómez Amaya

A mis padres, quienes son el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, mis guías en la vida. Ellos estuvieron y están a mi lado en los momentos felices y difíciles. Hoy, al concluir mis estudios, les dedico este logro académico, una meta más cumplida.

Ariana Alexa Ruiz Silva

Agradecimiento

A Dios por darme vida y fuerzas para continuar día a día con mis metas.

A la Universidad César Vallejo y a los docentes de la escuela de Ingeniería Civil. A mi asesor, el Ing. Noriega Vidal Eduardo Manuel, quien me orientó en cada proceso brindándome todos sus conocimientos y guiarnos en todo momento para el desarrollo del trabajo de investigación y culminar con éxito.

Gonzalo Eder Gómez Amaya

A Dios primordialmente por darme salud y a mi familia. También, un agradecimiento a la Universidad César Vallejo, en especial a sus docentes, quienes, con su apoyo y conocimientos brindados, me permitirán realizar actividades profesionales de forma eficiente.

Ariana Alexa Ruiz Silva

Índice de Contenidos

	Pág.
Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de Contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	7
III. METODOLOGÍA	22
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	22
3.2 Variables y operacionalización	23
3.3 Población, muestra y muestreo	24
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
3.5 Procedimientos	27
3.6 Método de análisis de datos.....	31
3.7 Aspectos éticos	31
IV. RESULTADOS	32
V. DISCUSIÓN.....	35
VI. CONCLUSIONES	39
VII. RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS	41
ANEXOS	48

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>GSI</i>	28
Tabla 2. Peso específico.....	28
Tabla 3. Desplazamiento de las dovelas en un túnel carretero.	57
Tabla 4. Deformaciones de las dovelas en un túnel carretero.	58
Tabla 5. Esfuerzos de las dovelas en un túnel carretero.....	59
Tabla 6. Tabla de Desplazamientos incrementales.....	60
Tabla 7. Tabla de Desplazamientos de fase.....	61
Tabla 8. Tabla de Tensión cartesiana incremental.....	62
Tabla 9. Tabla de deformaciones cartesiana en fase.....	63
Tabla 10. Tabla de Deformaciones Volumétrica Incremental.....	64
Tabla 11. Tabla de Deformaciones Desviatoria Incremental.....	65
Tabla 12. Tabla de Tensión Volumétrica Total.....	66
Tabla 13. Tabla de Tensión Desviatoria Total.....	67
Tabla 14. Tabla de Dirección de Deformaciones Principales.....	68
Tabla 15. Tabla de Fuerzas Axiales.....	69

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Emboquille convencional.....	10
Figura 2. Montaje de TBM.....	11
Figura 3. Tunnel Boring Machine	11
Figura 4. Máquinas tuneladoras	12
Figura 5. Tuneladoras Topo.	13
Figura 6. TBM escudo doble.	14
Figura 7. Escudo abierto con rozadora.	15
Figura 8. Esquema Escudo con Equilibrio de Presión de Tierras o EPB	16
Figura 9. Diagrama de equilibrio de presiones en un EPB	16
Figura 10. Esquema Escudo de presión de lodos o Slurry Shield.	17
Figura 11. Esquema Escudo Mixto o Mixshield del tipo Slurry	18
Figura 12. Máximos desplazamientos	32
Figura 13. Máximos desplazamientos	32
Figura 14. Máximas deformaciones.	33
Figura 15. Máximas deformaciones.	33
Figura 16. Máximos y Mínimos esfuerzos.	34
Figura 17. Máximos y Mínimos esfuerzos.	34

Resumen

El objetivo de esta investigación fue analizar las dovelas en un túnel carretero mediante un programa de elementos finitos. El enfoque de la investigación fue cuantitativo y de tipo aplicada, considerando un diseño no experimental con alcance descriptivo. En otros aspectos metodológicos, como población de estudio se consideró analizar todas las dovelas del túnel carretero mediante el programa de elementos finitos; del mismo modo, se tuvo como muestra 20 dovelas para el análisis de deformaciones y esfuerzos. Entre los principales resultados obtenidos a través del programa Plaxis, al analizar las dovelas por elementos finitos se obtuvo que las máximas deformaciones con un valor de $4.941 \cdot 10^{-3}$, por otro lado, también se obtuvo que el máximo desplazamiento alcanzó un valor de $-4.941 \cdot 10^{-3} \text{m}$ y el esfuerzo máximo de -4278 KN/m^2 . Se concluyó que es importante tener un análisis de dovelas, en un túnel carretero mediante programa de elementos finitos, pues este genera una disminución de las fallas que se puedan presentar en el proceso de construcción, permitiendo enriquecer a las posteriores investigaciones en lo que respecta en la simulación y análisis de dovelas mediante los elementos finitos. De esta forma obtener túneles más duraderos, generando así menores costes en consecuencia a este análisis.

Palabras clave: Dovelas, elementos finitos, deformación, desplazamiento, esfuerzo.

Abstract

The objective of this research was to analyze the voussoirs in a road tunnel using a finite element program. The research approach was quantitative and applied, considering a non-experimental design with a descriptive scope. In terms of methodology, the entire population of voussoirs in the road tunnel was considered for analysis using the finite element program. Likewise, a sample of 20 voussoirs was taken for the analysis of deformations and stresses. Among the main results obtained through the Plaxis program, the analysis of voussoirs by finite elements revealed maximum deformations with a value of $4.941 \cdot 10^{-3}$. Furthermore, the maximum displacement was found to be $-4.941 \cdot 10^{-3} \text{m}$, and the maximum stress was -4278 KN/m^2 . It was concluded that analyzing voussoirs in a road tunnel using a finite element program is important, as it reduces potential failures in the construction process and contributes to the enhancement of future investigations regarding the simulation and analysis of voussoirs using finite elements. This approach leads to the construction of more durable tunnels, resulting in lower costs as a consequence of this analysis.

Keywords: Segments, finite elements, deformation, displacement, effort.

I. INTRODUCCIÓN

Es común encontrar fallas durante el proceso de construcción de túneles revestidos por dovelas mediante el uso de tuneladoras, diversos factores pueden ocasionar la aparición de fisuras y daños locales en las dovelas, tales como las imperfecciones de forma que se derivan de las tolerancias de construcción y las deficiencias de contacto entre estas. Al ser una de las fallas más comunes en la construcción, es necesario analizar mediante un programa de elementos finitos, y así evitar una mala construcción de un túnel y prevenir sus consecuencias.

En América Latina, la puesta en práctica de dovelas, son procedimientos de uso común. En el Ecuador, Herrera (2016), en su investigación consideró que estos procedimientos son fuerzas que trabajan sobre los muros de las fajas. Algunos procedimientos aproximados como el método ordinario o de Fellenius, que piensan las fuerzas entre tajadas; los procedimientos simplificados de Bishop y de Janbu, que suponen que las fuerzas laterales entre dovelas son horizontales. Otros procedimientos de cálculo por dovelas son los procedimientos exactos, como los de Morgenstern-Price y Spencer, que usan una funcionalidad para calcular las fuerzas entre dovelas.

En Colombia, Rocha (2018), en su estudio sostiene que uno de los inconvenientes que se debería comenzar a manejar es el control de deslizamientos en los taludes localizados en las distintas regiones de la nación. Gracias a su localización geográfica, muestra una geomorfología bastante accidentada, donde se mezcla con puntos sísmicos, hidrológicos y geológicos de las distintas regiones de la nación, hacen que esta clase de eventos se presenten una y otra vez, poniendo en peligro a algunas regiones vulnerables a esta clase de eventos.

En México, Arnau y Molins (2015), estudiaron el mecanismo de interacción de la sección real de un túnel en escenarios múltiples. Ellos realizaron modelos numéricos con elementos finitos en 3D para simular la respuesta estructural no lineal de once anillos en el programa Diana 9.4. Las dovelas se modelaron con EF tipo cuadriláteros cascarones curvos con 4

odos, las juntas longitudinales con elementos de interfaz para elementos cascaron, la interacción suelo-estructura con elementos colocados en las direcciones radial, tangencial y longitudinal. Se concluye que la rigidez del suelo circundante determina el grado de interacción posible entre los anillos adyacentes, mientras que la compresión longitudinal del revestimiento determina la carga máxima para la cual se produce una interacción completa.

En el Perú, la mayoría de los túneles no cuentan con la estructura de dovelas, este método es más empleado en el extranjero, es por ello que nuestros túneles en el Perú no tiene la misma durabilidad con respecto a los demás túneles, ya que presentan muchas grietas en sus estructuras, en nuestro país si bien es cierto las diferentes municipalidades y gobiernos regionales ejecutan muchos proyectos entre ellos, puentes y túneles que ayudan a unir a pueblos los cuales no tiene mucho acceso, pero no es igual construir un túnel con el método tradicional ya que este no tiene la misma durabilidad con respecto a las dovelas, en ese sentido si trabajamos los túneles con dovelas estos tendrían mejor comportamiento ante los esfuerzos que se generan producto de la excavación.

A nivel local en la ciudad de Trujillo, y viéndose la necesidad de tener vías dinámicas, la propuesta y el estudio de un túnel mediante elementos finitos, permitetener bajo lineamientos generales el comportamiento y respuesta de las dovelas de hormigón armado.

Según Vélez (2019), encontró que mediante la conducta geomecánica, de los primeros cien metros del Túnel del Toyo usando como metodología el estudio retrospectivo con base en la interpretación de mediciones en campo de las deformaciones a lo largo de la obra del túnel, por medio de la instrumentación con el programa diana. El procedimiento retrospectivo obedece a un enfoque inverso con base en la formulación de un modelo de recursos finitos y aceptando límite de modelado para la obtención de deformaciones hasta conseguir la calibración del modelo con las deformaciones reales y de esta forma obtener las fronteras geomecánicas de los túneles en piedras débiles debido a que muestran enormes deformaciones e inconvenientes a lo largo de su proceso constructivo, en especial una vez que son gigantes secciones. Por consiguiente, el seguimiento de las

deformaciones del lote a lo largo de la excavación podría ser la herramienta idónea para la selección de procedimientos de excavación y sistemas de sostenimiento más apropiados que garanticen toda la estabilidad y la calidad de la obra.

Para Romero y García (2016), en el análisis de los efectos tensionales del lote, pretende conocer en hondura la obra de túneles por medio del Nuevo Procedimiento Austriaco (NATM), teniendo presente los componentes de estabilidad y de economía de acuerdo con el tipo de material a excavar y la longitud del túnel, ejecutando un sostenimiento y revestimiento válidos y el presupuesto total de la obra que se pretendía conocer en hondura la obra de túneles por medio del Nuevo Procedimiento Austriaco (NATM), analizando las tensiones que se generan en el lote a lo largo de la excavación y, ofreciendo, un tipo de sostenimiento y revestimiento válidos.

Según Yurley (2019), La obra de puentes de gigantes luces está estrechamente ligada a la técnica de desarrollo en voladizo. Desde las pilas se efectúa simétricamente la obra del tanteador, con el objetivo de no someterlas a instantes de desequilibrio altos. El ábaco secundado en puntos de vista fijos (dovelas "0" sobre pilas), instituye una progresión en la obra del puente avanzando por tramos sucesivos, realizando tolerar a la parte ya ejecutada el peso propio de la dovela siguiente, así como el peso del automóvil de desarrollo, encofrados y de los medios auxiliares que permiten su creación. Este método fue y es en la actualidad uno de los sistemas constructivos más universales para edificar puentes, y el exclusivo para edificar construcciones de enormes luces que no sean puentes atirantados y colgantes. Gracias al modelo virtual 3D, que nos posibilita un mejor conocimiento para lograr hacer las superiores propuestas de diseño, se optó por un sistema de ménsulas ancladas a la pila por medio de barras de 3", para lograr hacer dicho anclaje el concreto debería una resistencia mínima de 210 kg/cm² y suministra un torque de 2650 lb-ft.

Según Viveros (2016), nos dice que en los túneles pese a que contamos con potentes herramientas tridimensionales (3D) para el diseño y evaluación de los proyectos, la utilización de programa en 2 magnitudes (2D) todavía es extensamente usados gracias a su facilidad de uso y accesibilidad. Los

desplazamientos y esfuerzos obtenidos en 2D (deformación plana) no son representativos de los ocurridos en una obra civil real, por lo cual este impacto es la primordial limitante al instante de hacer evaluaciones utilizando herramientas numéricas en 2D. En este sentido, lo adecuado es utilizar herramientas en 3D, no obstante, gracias a sus elevados precios no continuamente permanecen disponibles para su uso. Bajo este entorno, este trabajo muestra resultados de simulaciones en recursos finitos (FEM) de túneles circulares profundos embebidos en un suelo típico de la Cd. De Morelia, así como de otros suelos. Ya que el número de elementos de las mallas probadas fue lo más importante para lograr equiparar las mallas en 2D y 3D en el FEM.

Debido al acelerado crecimiento de la población los sistemas de transporte (carretero, ferrocarrilero, metro, etc.), acueductos y drenaje se requieren en mayor cantidad y volumen. Estas obras de ingeniería se pueden solucionar mediante la construcción de túneles, los cuales, se pueden clasificar según su localización (bajo el agua, de montaña y con poco techo) y respecto a su geología (Túneles en roca, en suelo o mixtos). Los túneles pueden estar enterrados, en la superficie o una combinación de estas dos condiciones. Además, en zonas donde ya no es posible construir estas estructuras superficialmente (por cuestiones de espacio o de impacto ambiental), realizarlas de forma subterránea es una buena solución.

El presente proyecto es realizar y evaluar el análisis estructural de un túnel típico formado por dovelas prefabricadas de concreto con juntas planas entre éstas, mediante un modelo numérico simplificado de barras en el que se aplica un nuevo criterio para simular el comportamiento inelástico de las juntas entre dovelas.

Actualmente, uno de los métodos más utilizados para construir túneles es mediante máquinas de perforación (tuneladoras), las cuales forman anillos de dovelas dando lugar al túnel. Al realizar el análisis estructural de túneles dovelados deben tomarse en cuenta, además de las características geométricas y propiedades de los materiales, el comportamiento mecánico de las juntas entre dovelas, ya que debido a éstas el anillo no se puede considerar como continuo. También, debido al proceso constructivo, la tuneladora ejerce fuerzas axiales en dirección al eje longitudinal del túnel, lo

que origina cierta interacción entre anillos.

A partir de la problemática nos planteamos la siguiente pregunta, ¿Cómo es el análisis de las dovelas en un túnel carretero mediante un programa de elementos finitos?

Esta investigación se justificará teóricamente porque sustentará las ventajas de aplicar un modelo numérico para el estudio y análisis de dovelas en túneles carreteros, permitiendo la comparación de otros investigadores en la evaluación y diseño de túneles.

En cuanto a la justificación práctica, dado que este trabajo se enfocará en el análisis mediante la aplicación del método de elementos finitos para conocer el

comportamiento y respuesta de dovelas en túneles, lo cual es sumamente importante para el diseño e implementación de estos. Dando una solución a los problemas generados por las malas prácticas en el proceso de construcción.

Por último, la justificación metodológica, para este proyecto siendo una investigación aplicada, de diseño no experimental, lo cual se llevará a cabo el análisis de dovelas para túneles carreteros, así mismo se empleará el método de elementos finitos, donde nos brindará información sobre el comportamiento y respuestas de las dovelas de concreto. Todo esto nos permite tener una mejor visión para la construcción de túneles dovelados teniendo mejor comportamiento en sus esfuerzos ocasionados con la excavación.

La presente investigación determinará el análisis de Dovelas en un Túnel Carretero Mediante Programa de Elementos Finitos, 2022, siendo respaldada por el programa PLAXIS 3D, para cumplir los requisitos para el análisis de dovelas en un túnel carretero.

Frente a ello tenemos como objetivo general : Analizar las dovelas en un túnel carretero mediante un programa de elementos finitos; para dicho análisis nos centraremos en nuestros objetivos específicos que son: Determinar los máximos desplazamientos de las dovelas en un túnel carretero mediante un programa de elementos finitos; Determinar las máximas deformaciones de las dovelas en un túnel carretero mediante un programa de elementos finitos; Determinar los máximos esfuerzos de las dovelas en un túnel carretero mediante un programa de elementos finitos.

Se plantea la siguiente hipótesis general, mediante el programa de elementos finitos se podría analizar las dovelas en un túnel carretero; como hipótesis específicas: Mediante un programa de elementos finitos se podría determinar las máximas deformaciones en un túnel carretero, también mediante un programa de elementos finitos se podría determinar los máximas desplazamientos en un túnel carretero y mediante un programa de elementos finitos se podría determinar las máximas esfuerzos en un túnel carretero.

II. MARCO TEÓRICO

“Monograma para obtener desplazamiento en túneles circulares mediante la sustitución de simulación numérica 3D a 2D usando elemento finito”

Según Viveros (2016), su trabajo prevé preservar los desplazamientos en los túneles circulares mediante la sustitución del modelo digital 3D por un modelo de elementos finitos 2D. A pesar de la presencia de poderosas herramientas tridimensionales (3D) para el desarrollo y evaluación de proyectos, se caracterizan por su facilidad de uso y asequibilidad. Estos desplazamientos y tensiones 2D (deformaciones superficiales) no reflejan los desplazamientos y tensiones que se producen en la estructura diseñada real, por lo que este efecto es una limitación importante al evaluar el uso de herramientas. En ese sentido, usar herramientas 3D es correcto. También tenga en cuenta que, aunque los desplazamientos obtenidos en 2D y 3D pueden ser los mismos en las simulaciones, los campos de tensión y sus distribuciones siguen siendo diferentes, lo que refleja las diferencias entre las simulaciones 2D y 3D.

“Estudio comparativo de métodos de excavación de túneles en suelo mediante el método de los elementos finitos”.

Palacio (2016). En su investigación, intentó analizar los métodos de excavación del suelo y pudo compararlos para descubrir dónde estaban los límites de cada método. Sin embargo, este trabajo es más que simples cálculos, incluye una historia completa de la construcción de túneles y cierta comprensión de los métodos de perforación típicos y el conocimiento geotécnico necesario para comprender el propósito de este trabajo. Además, esta investigación tiene como objetivo crear el forro y el soporte definitivos donde la seguridad y el rendimiento van de la mano.

“Evaluación de la estabilidad alrededor de un túnel ferroviario utilizando datos de escáner láser terrestre y análisis de elementos finitos”.

Villalobos (2020). Este proyecto trata sobre el análisis geotécnico de túneles en estructuras geológicas complejas. Esto requiere una comprensión profunda del

impacto de la estructura entre masas en el comportamiento de masas. B. Tipos heterogéneos como modelos de fracturas y grietas, capas y superficies de amortiguamiento. Este método tradicional se basa en los primeros análisis geotécnicos de túneles basados en sistemas de rocas equivalentes. Análisis geotécnico.

“Análisis matricial de estructuras por el método de elementos finitos y su aplicación a túneles”

Trigo (2018). Este artículo se centra en el método de elementos finitos aplicado a problemas relacionados con las propiedades de materiales 2D y la elasticidad lineal. En este trabajo, se desarrollan fórmulas para matrices de elementos finitos de 3, 4, 9 y 4 nodos con modos inconsistentes, y cada solución de elementos finitos se compara con la solución exacta. Efectos de la carga de corte.

“Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B, Lima”

Basado en investigación aplicada y diseño a priori, Benites (2020) tiene como objetivo determinar el impacto utilizando el método de elementos finitos para evaluar diseños. El módulo de deformación resultante oscila entre 16.714,93 MPa y 434.789,96 MPa. La calidad de la semilla varía desde el Grado II - bueno hasta el Grado III - aceptable según los criterios RMR y las puntuaciones van desde 0,27 (muy mala) hasta 21,67 según los criterios Q de Barton. (DE ACUERDO). A partir de esto, concluyó que usar el método de elementos finitos mejoraría la precisión de la estimación. (págs. 6-79).

“Determinación del Revestimiento del Tunnel Liner Mediante el Modelamiento Geotécnico Aplicando el Método de Elementos Finitos, en el Distrito de La Perla Callao”

Chilón (2019), en su tesis doctoral, trató de mostrar las realidades del diseño de túneles en áreas urbanas. Las áreas urbanas a menudo descuidan la

interacción de los suelos y las estructuras, así como la cantidad de lluvia que pueden causar. Además, se introdujo la excavación manual de zanjas, comúnmente utilizada en Perú para construcciones a gran escala, como túneles en fila, lo que brinda una solución efectiva para conducir tuberías de vidrio grandes en carreteras y áreas urbanas donde no se pueden excavar zanjas abiertas. Los factores más importantes a controlar son el estrés y la tensión del suelo. (págs. 23-27).

“Aportaciones para la optimización de compatibilidad terreno excavado – dovela, en la construcción de túneles mediante tecnología TBM”

Colomer (2020), El objetivo de este estudio es encontrar una solución para garantizar la correcta compatibilidad del suelo excavado y las dovelas de hormigón cuando se trabaja con tuneladoras de TMB como sobrecapas en terreno excavado. Los autores proponen una solución que aplica perlas NFC al vacío generado por el fondo y la cavidad. Las pruebas de resistencia a la compresión de cavidad cerrada realizadas con esta solución fueron satisfactorias. La aplicación de este modelo encontró que el sobrenadante se ve afectado cuando el módulo de Young del sobrenadante no supera los 10,27 GPa. Este estudio muestra que es posible encontrar una solución para conducir tuneladoras cubiertas sobre terrenos inestables y rocas, ya que es más económica y respetuosa con el medio ambiente que las soluciones existentes.

“Análisis de la interacción suelo-sostenimiento para túneles circulares mediante elementos finitos”

Córdoba Rosa (2019). Su investigación abordó el análisis del comportamiento del soporte del suelo en la construcción de túneles circulares utilizando elementos finitos, utilizando un software bajo la influencia de varios parámetros como el sistema de soporte, el tipo de suelo, el radio del túnel y la profundidad del campo de arroz. desenterrado Luego de que se realizaron varios estudios de suelo, finalmente se decidió basar el estudio en el estudio de suelo de la Concesionaria Angostura Ciguas, que incluye tres tipos de suelo: Andesita,

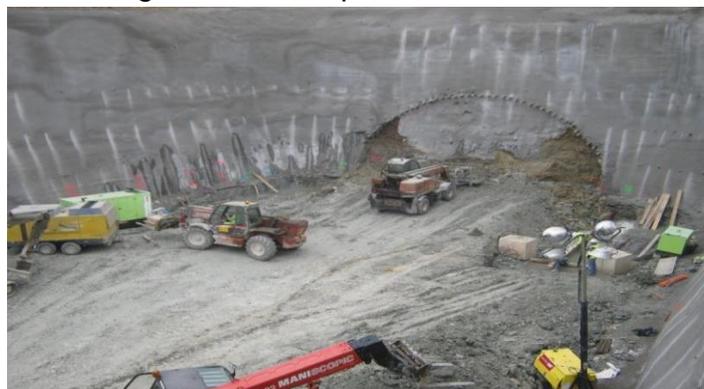
Brescias y Toba. Además, con base en el método de construcción TBM, se seleccionaron busoirs grandes de 30 cm, 40 cm y 50 cm como tipos de transporte, y el diseño geométrico se tomó del proyecto Majes.

Túnel

Según De La Rosa Arenas (2015), los túneles son pasajes subterráneos que conectan directamente dos puntos y atraviesan diversos obstáculos como ciudades, montañas, ríos y océanos.

Según López (2001), los túneles son excavaciones subterráneas rectas, generalmente horizontales, pero a veces en ángulos de más de 30 grados con respecto a la superficie. En este caso se llama Bueno (inclinado o vertical). La preparación de la apertura del túnel se denomina "Embokil". La Figura 1 muestra una entrada tradicional. Los túneles que permiten el acceso a estructuras subterráneas desde la superficie se denominan ventanas. Se denominan túneles los túneles destinados al paso de tuberías, cables, drenaje, suministro de agua, calefacción y ventilación, así como los túneles de carácter temporal denominados estribos.

Figura 1. Emboquille convencional



Fuente: Emboquille convencional (López, 2011)

La construcción de túneles ha evolucionado con el tiempo y ha sido reemplazada por nuevos sistemas y métodos desarrollados localmente basados en las propiedades geomecánicas de los materiales existentes.

Los túneles que se construyen por etapas incluyen el Nuevo Método Austriaco (NATM), el método alemán y el método belga, en los que todas las secciones se dividen y excavan para su estabilización. Las excavadoras integrales de

túneles se conocen comúnmente por el acrónimo T.B.M. (Tunnel Boring Machine) Se refiere a un conjunto de máquinas capaces de excavar túneles a lo largo de una sección y ayudar en la colocación de soportes temporales y la instalación de revestimientos finales. La figura 2 muestra el montaje de la tuneladora. Estas máquinas se dividen en dos grupos principales, topos y escudos. Ambos varían mucho según el tipo de roca y suelo que se necesite perforar y los requisitos de soporte y revestimiento que requiera cada tipo de terreno.

Figura 2. Montaje de TBM



Fuente: Montaje de TBM (Lavagno,2019)

Las máquinas "topo" están diseñadas principalmente para excavar rocas duras y medianas sin la necesidad de un soporte inicial significativo, mientras que los escudos se utilizan principalmente para excavar rocas blandas y suelos inestables. La Figura 3 muestra una sección transversal de la máquina TBM.

Figura 3. Tunnel Boring Machine

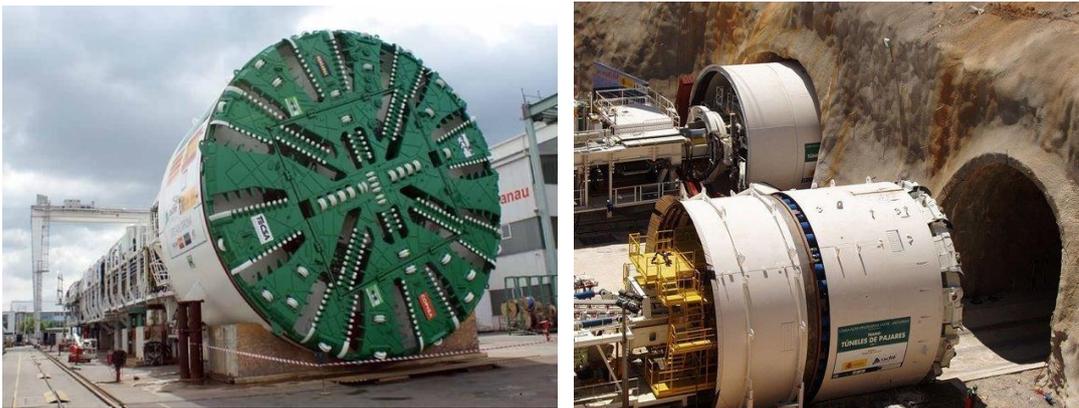


Fuente: Tunnel Boring Machine (López, 2011)

Excavación con maquina tuneladoras

Según Fernández y Hurtado (2010), una tuneladora es una máquina que se utiliza para excavar túneles, afirmando que el túnel se puede excavar por tramos mientras ayuda en la colocación de revestimientos de soporte temporales o finales. Las máquinas perforadoras de túneles tipo escudo se utilizan para la construcción de túneles en terrenos blandos e inestables. Un escudo es una máquina con un cabezal giratorio del mismo diámetro que la pieza a excavar, equipada con una herramienta de corte como un disco de corte y una cámara de presión en el frente. Existen diferentes tipos de escudos, caracterizados principalmente por su estabilidad o inestabilidad. Hay escudos abiertos usados en frentes estables y escudos cerrados usados en frentes inestables.

Figura 4. Máquinas tuneladoras



Fuente: Máquinas tuneladoras (Fernández y Hurtado, 2010)

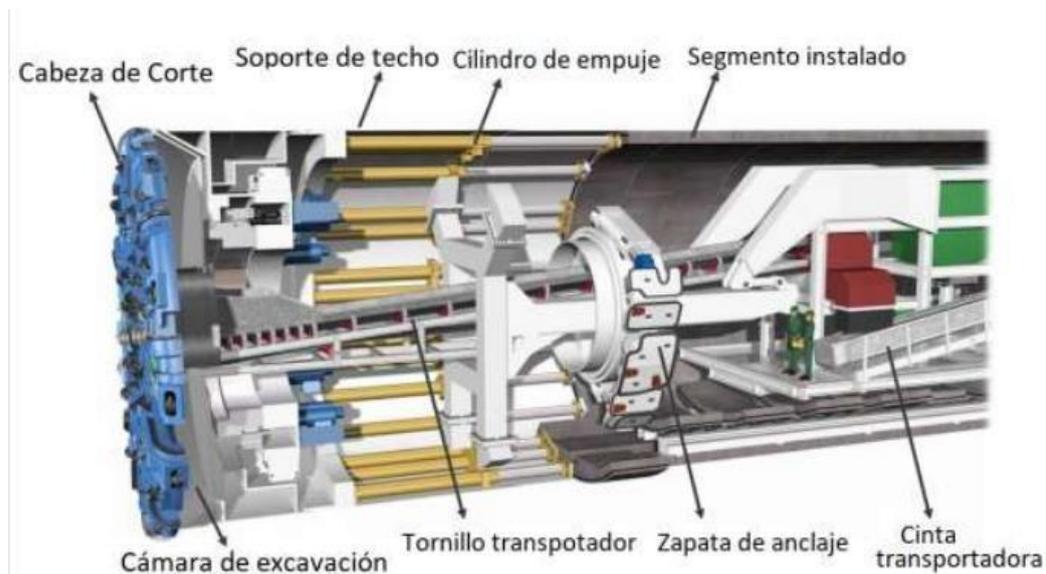
Estas máquinas están sujetas a determinadas condiciones como geometría de sección, longitud mínima del túnel, etc. Aunque existen diferencias en los tipos de segmentos colocados y los tipos de escudos utilizados, el rendimiento de las máquinas suele ser muy alto. Según Galabru (1970), esto indica que el aumento reciente de los trabajos subterráneos ha permitido el desarrollo de nuevos equipos de perforación más versátiles y seguros. La excavación de túneles con máquinas integrales de perfil completo (tuneladoras) se divide básicamente en dos grupos, según el tipo de material a excavar y la necesidad de asistencia. Por un lado, están los topes que básicamente están pensados para rocas duras y de tamaño medio. Estas máquinas no instalan soportes ya

que no es necesario instalarlos en túneles, pero sí instalan escudos que se utilizan en rocas y suelos blandos. A menudo inestable y a veces por debajo del nivel freático. Un desarrollo posterior es Doublé Shield, que podría funcionar en cualquiera de los tipos de terreno descritos, dependiendo de la calidad del macizo rocoso.

Maquinas topo (TBM)

Según Galabru (1970), los topos se diseñan generalmente para excavar principalmente rocas duras y medianas sin mucha ayuda inicialmente. Estas máquinas están formadas por un cabezal giratorio con una fresa accionada por un motor eléctrico, que avanza en cada ciclo empujando varios cilindros que reaccionan a zapatas de pinzas fijadas a la pared del túnel. Un contenedor adjunto al cabezal gira y deposita los desechos en una cinta transportadora, que se lleva a la parte trasera de la máquina donde se descarga a través de un túnel.

Figura 5. Tuneladoras Topo.

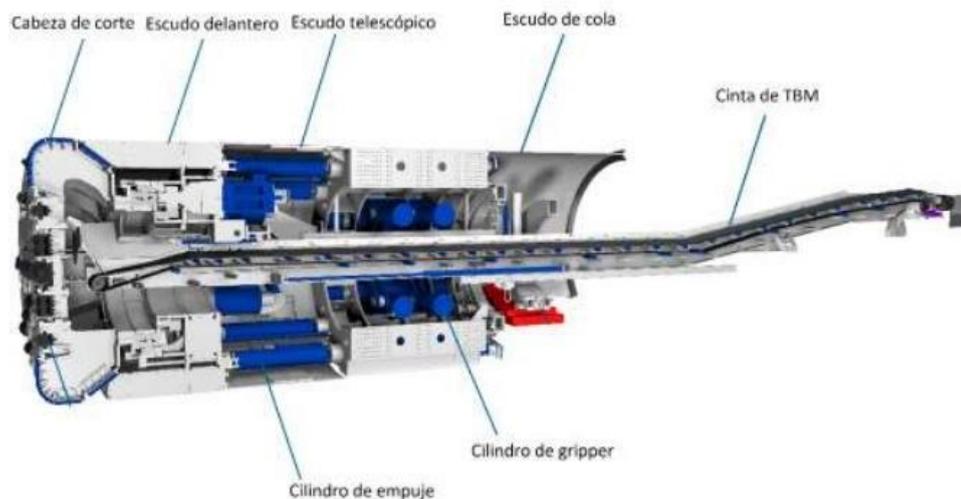


Fuente: Tuneladoras Topo (Galabru, 1970)

Tuneladoras doble escudo

Según Directindustry (2018), dependiendo de la calidad del macizo rocoso, la máquina puede actuar como topo o como escudo protector, siendo esta la mejor solución para macizos con secciones de diferente tipología de roca y suelo. En este tipo de excavadoras de túneles, el escudo se divide en dos partes, la parte delantera donde se encuentra el cabezal de corte y la parte trasera donde se instala el segmento de anillo. Los movimientos de estas dos partes del escudo son independientes entre sí, con una "garra" colocada en el espacio abierto entre ellas que te permite clavarte en la cabeza mientras un anillo de dovelas está unido al borde del escudo. Como resultado, el rendimiento obtenido con este sistema es significativamente mayor que con un escudo simple.

Figura 6. TBM escudo doble.



Fuente: TBM escudo doble (Directindustry ,2018)

Escudo

Según Eurohinca (2018), el escudo deriva su nombre del hecho de que tiene un sistema de protección integrado, una carcasa exterior de metal que se puede utilizar incluso en terrenos inestables. Este elemento proporciona apoyo temporal al terreno frontal que avanza hasta el punto donde se coloca el apoyo final. Los anillos prefabricados de hormigón armado hechos de las llamadas dovelas sirven como elementos de carga. Hay diferentes tipos de escudos que se pueden perforar en las secciones del frente, usando diferentes sistemas de apoyo como mecánico, aire comprimido, estabilización de lodo y presión de tierra.

- **Escudo abierto**

El primer escudo se creó agregando un caparazón de metal simple para sostener el suelo frente a la excavación. Se utilizaron en todo tipo de equipos de perforación de punta, como excavadoras y cabezales de carretas. Un llamado escudo abierto utilizado en frentes de perforación, que opera de manera estable incluso en capas freáticas y áreas impermeables. Los escudos de excavadora todavía se utilizan principalmente en túneles con un diámetro inferior a 4 m², como captaciones de agua en suelos no cohesivos como arena o grava, oleoductos, etc. Los escudos de caza, por otro lado, funcionan mejor en rocas blandas y suelos densos. El sistema de alimentación es similar al de la Topos, pero en este caso la máquina avanza porque no se pueden aplicar garras en el área del hastial debido a la inestabilidad del terreno circundante. Está asistido por el avance longitudinal de una serie de prensas periféricas sobre soportes anulares preposicionados. Estos se retraen en cada ciclo cuando se completa la alimentación, lo que permite colocar un nuevo anillo. La figura 7 muestra un pequeño cartel con una rozadora como elemento de excavación.

Figura 7. Escudo abierto con rozadora.



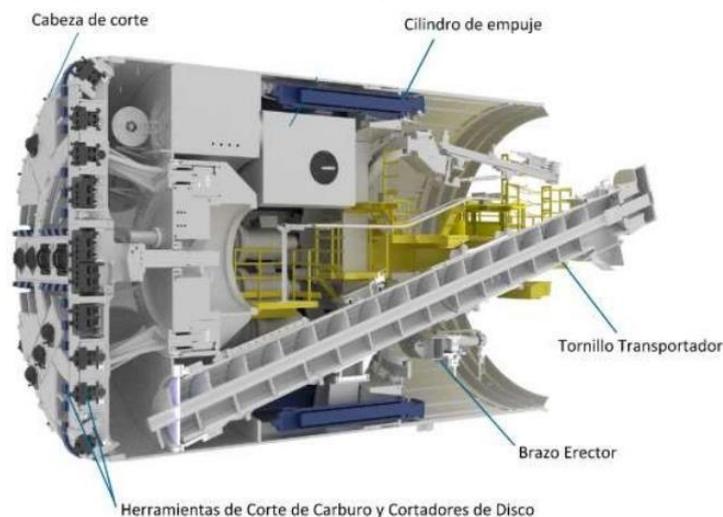
Fuente: Escudo abierto con rozadora (Eurohinca, 2018)

- **Escudo de balance de presión de tierras (EPB)**

Según Víctor Yepes (2018), un EPB o escudo de presión de tierra es una excavadora de túneles cuyo apoyo frontal lo proporciona el equilibrio entre la presión del agua del suelo y del propio suelo y la presión mantenida en la cámara de extracción del túnel cabeza de escudo Este sistema se aplica a todo

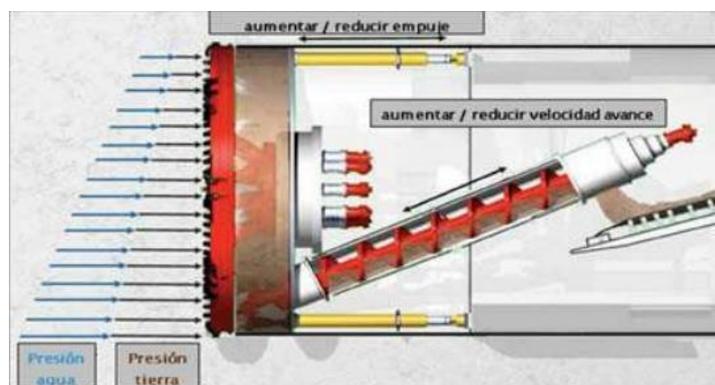
tipo de terrenos inestables. El desescombro en los escudos EPB se realiza mediante la inyección de una serie de productos en forma de espumas o polímeros que se mezclan con la tierra y el agua que contiene, aumentando la plasticidad de la mezcla y asegurando que su consistencia se ajuste adecuadamente. Para el transporte realizado con caracoles. Para controlar el sistema de presión de tierra, la cantidad de escombros desplazados por el tornillo debe ser monitoreada y comparada con la cantidad de excavación. Por lo tanto, las medidas se toman de forma continua con sensores de presión en la cabeza, la cámara y el tornillo.

Figura 8. Esquema Escudo con Equilibrio de Presión de Tierras o EPB



Fuente: Esquema Escudo con Equilibrio de Presión de Tierras o EPB (Víctor Yepes, 2018)

Figura 9. Diagrama de equilibrio de presiones en un EPB

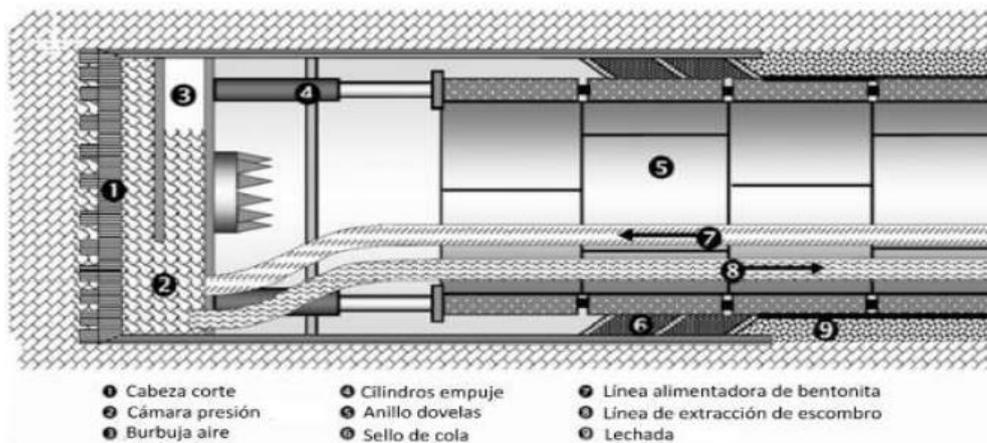


Fuente: Diagrama de equilibrio de presiones en un EPB (Víctor Yepes, 2018)

Escudo con presión de lodos (Slurry Shield)

Real (2015) afirma que el escudo de bentonita utiliza las propiedades tixotrópicas del lodo de bentonita para estabilizar el frente del túnel. Son máquinas muy adecuadas para trabajar en terrenos difíciles compuestos principalmente de arena o grava u otros materiales blandos y duros bajo presión de agua, y la inyección de lodo no solo estabiliza el terreno, sino que también bombea. También es útil para transportar lodo en bienes excavados. La figura 10 muestra un esquema de un escudo de presión de lodo.

Figura 10. Esquema Escudo de presión de lodos o Slurry Shield.

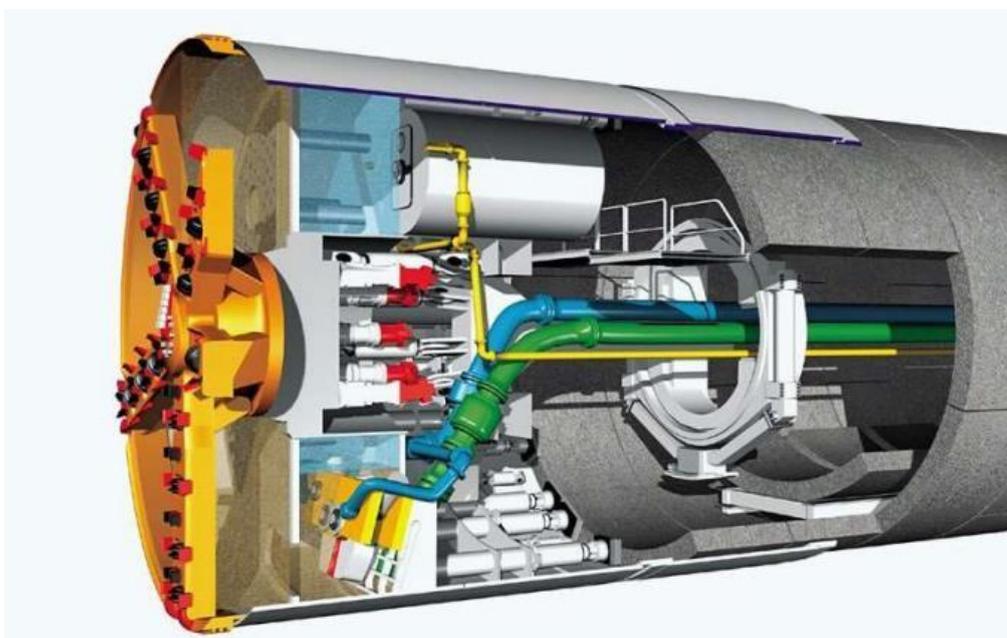


Fuente: Esquema Escudo de presión de lodos o Slurry Shield (Real, 2015)

Escudos Mixtos

Según Directindustry (2018), las máquinas polivalentes para la perforación de diversos tipos de geología son actualmente el método más utilizado para la construcción de túneles en zonas urbanas. Tiene las funciones básicas de un escudo hidráulico y un escudo equilibrado de presión de tierra (E.P.B.) y puede funcionar tanto como escudo abierto como con aire comprimido. Se utilizan líquidos para sostener la pared de excavación y, a menudo, se utilizan lodos de bentonita para transportar el material excavado. La suspensión de bentonita se trata en un separador y se devuelve al ciclo. La figura 11 muestra un esquema de un escudo mixto tipo suspensión/EPB fabricado por la empresa alemana Herrenknecht. Los sistemas de bombas de lodo y los sinfines para trabajos con EPB son fáciles de encontrar.

Figura 11. Esquema Escudo Mixto o Mixshield del tipo Slurry



Fuente: Esquema Escudo Mixto o Mixshield del tipo Slurry (Directindustry, 2018)

Túnel de carreteras

Según Estruch y Tapia (2006), los túneles de carretera pueden ser similares a los túneles ferroviarios en que pueden ser cortos o largos. Su fábrica se basa en la simplicidad porque las distancias son cortas y económicas. También puede ver que el terreno se construye con curvatura según sea necesario.

Dovelas

Según Yepes (2014), nos dice que las dovelas son un elemento estructural en forma de un arco, que puede ser de diferentes materiales, como ladrillo o piedra. Ahora son de hormigón armado. En la arquitectura clásica, una dovela es un elemento en forma de cuña, generalmente de piedra, que forma un arco o cúpula y se caracteriza por una disposición radial.

Concreto.

Según O'Reilly Díaz, V. et al. (2010) Aprendimos que el concreto tiene una estructura muy heterogénea y compleja, lo que hace difícil predecir con precisión y confiabilidad su comportamiento futuro, debido a que es inestable debido al mortero y zonas de transición de excavación crecen dependiendo del

clima, la humedad y la temperatura alrededor tuyo. Los procesos que pueden conducir a una resistencia insuficiente son variados y complejos, y dependen tanto del diseño de los elementos estructurales utilizados en el diseño como de la calidad de los materiales y componentes, así como de otros factores mencionados.

Cemento.

Según el Programa Nacional Meta 334.090 (2016), existen 5 tipos de cemento: Cemento grado I, apto para todas las aplicaciones que no requieran las propiedades de otros cementos; cemento tipo II, resistencia media a los sulfatos; cemento grado III, alta resistencia inicial; El cemento Tipo IV minimiza la tasa y la cantidad de calor generado durante la hidratación, mientras que el cemento Tipo V es altamente resistente a los sulfatos. (p.5).

Agregados

Según Atanto (2009), también llaman a nuestras unidades, son materiales combinados con conclusiones (cal, cemento, etc.) y agregan agua al concreto o solución. Esto es importante porque constituyen el 75% del volumen de una mezcla típica. (p.23).

Esfuerzo

Según Rubio et al. (2015) define fuerza como toda la fuerza interna que actúa sobre las estructuras en contra de las fuerzas externas a las que están sometidas estas estructuras, debido a que crea resistencia en la región interior del material del que están hechas para poder actuar sobre la fuerza externa. y conducir a la separación de la fuerza aplicada del área en la que se aplica la fuerza.

Desplazamiento

Según Cortínez et al. (2003) nos dice que es necesario determinar la forma de deformación de la estructura cuando se somete a cualquier carga, ya que considera una restricción de corriente que solo aplica a estructuras sísmicas planas, para que puedan condensarse en un buen zumbador. aproximadamente equivalente a un grado de libertad (p.7).

Deformación

Según Morales (2013), definió la deformación como un cambio de estado físico causado por una fuerza mecánica externa, ya que cambia por influencia de la temperatura o por deformación de los soportes, pues ese es el resultado que ocurre en cada punto. El mismo voltaje se aplica al cuerpo por fluctuaciones de temperatura.

Método de elementos finitos

Según Serkan (2006) considera a los elementos finitos como una técnica analítica más adecuada para resolver problemas geotécnicos. Este método es usualmente utilizado para predecir el asentamiento causado por un túnel.

Oñate (1991) nos dice que el método de los elementos finitos es actualmente uno de los métodos más potentes para analizar estructuras, ya sean unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales. Los conceptos existentes entre el análisis matricial de estructuras de miembros y FEM facilitan la investigación al dominar las ideas que subyacen en el análisis matricial de estructuras. (p. 21,22).

Fases del método de elementos finitos

Para Vásquez y López (2001) el método consta de 5 pasos: La separación de elementos finitos la realiza el procesador. La segunda etapa es el vector de desplazamiento de elementos y la tercera etapa es la matriz de dureza de elementos, los cuales forman el elemento que conduce a la etapa completa de la matriz de dureza. La última es la fase de respuesta estructural donde se definen los parámetros nodales para ayudarnos a calcular las deformaciones y tensiones.

Dominio

Nápoles, González y Olivares (2015), En ingeniería estructural el dominio es la estructura del edificio, mientras que en mecánica suele ser las partes de una máquina. En el caso del análisis de elementos finitos, esta es un área regida por las leyes de la física.

Elemento

Estos son los que componen el área del problema, que en 2D suele representarse mediante un triángulo o un cuadrado; en lugar de 3d sólido tetraédrico o rectangular.

Nodo

El nodo es un punto que se encuentra en el dominio o usualmente viene a ser un vértice de distintos elementos.

Malla (mesh o grid)

Esta malla estructura los datos centrales del análisis de los elementos finitos, conformada por los nudos y los elementos.

Generación de la malla

Los programas de análisis de elementos finitos generalmente originan automáticamente las mallas, ya que este produce mayor precisión en los resultados. Las computadoras generan las mallas automáticamente debidas a distintos algoritmos que existen, estos ayudan al análisis de problemas más complejos (p.12-13).

III.METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

La investigación es aplicada, de acuerdo con Lozada (2014) esta tiene como objetivo adquirir conocimientos que sean directamente aplicables a los problemas de la sociedad o del sector industrial. Se basa principalmente en los resultados tecnológicos de la investigación básica sobre el proceso de comunicación entre teoría y producto.

Sampieri (2003), el diseño no experimental se divide tomando en cuenta el tiempo durante se recolectan los datos, estos son: diseño Transversal donde se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único, su propósito es describir variables y su incidencia de interrelación en un momento dado y el diseño longitudinal, donde se recolectan datos a través del tiempo en puntos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias.

Diseño de investigación

Esta investigación tiene un diseño no experimental, como señala Kerlinger (1979) "La investigación no experimental es cualquier investigación en la que resulta imposible manipular variables o asignar aleatoriamente a los sujetos o a las condiciones". (p.116) Diseño no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables.

Por su corte transversal: Para (Bernal 2010) afirmó que "Investigaciones donde la información obtenida de la población en estudio se realiza en un solo punto o momento en el tiempo (p.118).

La investigación tuvo corte transversal ya que la recopilación de información referente a la muestra elegida será realizada en un único momento. En el estudio fue de alcance descriptivo.

3.2 Variables y operacionalización

Variable independiente: Dovelas

Definición conceptual: Es un elemento constructivo que conforma un arco y que puede ser de diferentes materiales, como ladrillo o piedra. Actualmente se elaboran en hormigón armado. En arquitectura clásica, la dovela es una pieza, normalmente de piedra, en forma de cuña que componen el arco o labóveda y se caracterizan por su disposición radial. (Yepes,2014).

Definición operacional: El sistema constructivo de las dovelas prefabricadas consiste en dividir el tablero en elementos obtenidos al cortarlo en planos perpendiculares a su eje, donde cada elemento tiene su sección transversal completa del tablero

Dimensión: Desplazamiento

$$L^T \sigma + b = 0$$

Dimensión: Esfuerzo

$$\sigma_{xx} = \frac{P_x}{P_x}$$

$$\sigma_{yy} = \frac{P_y}{P_y}$$

$$\sigma_{zz} = \frac{P_z}{P_z}$$

Dimensión: Deformaciones

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial}{\partial x} \mu_x$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{\partial}{\partial y} \mu_y$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{\partial}{\partial z} \mu_z$$

Escala de medición: Razón

Variable dependiente: Elementos Finitos.

Definición conceptual: El método de elementos finitos es un método de aproximación a problemas de continuidad de tal manera que tiene un método continuo dividido en un número finito de partes, "elementos", cuyo comportamiento está determinado por un número finito de parámetros relacionados con un objeto particular. los puntos se llaman "nudos". (Valero,2004)

Definición operacional: Se divide en triángulos y proporciona opciones de solución mediante interpolaciones polinómicas numéricas. Esto es útil porque facilita encontrar deformaciones, tensiones, esfuerzos y desplazamientos en una sección transversal basada en un sistema de apoyo.

Dimensión: Nodos

Indicadores: Elemento isoparamétrico de 14 nodos.

Escala de medición: Razón

3.3 Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población

Para López y Fachelli (2015) nos mencionan que la población es un conjunto total de elementos que forman parte del ámbito de interés analítico y sobre el que queremos inferir las conclusiones de nuestro análisis.

Tomamos como población a todas las dovelas del túnel carretero mediante el programa de Elementos Finitos.

3.3.2 Muestra

Es una parte de unidades representativas que se toma de forma aleatoria de un conjunto llamado población o universo, sometándose a observación científica con el fin de obtener resultados válidos para la investigación, dentro de unos límites de error y de probabilidad de que se pueden determinar en cada caso. (p.6-7) Para nuestra investigación tomamos como muestra cada 10 dovelas.

3.3.3 Muestreo

El tipo de muestreo es no probabilístico, es una selección de unidades que dependen de sus características o ciertos criterios (Otzen y Manterola, 2017, p.228), en ese sentido, se considera como muestra 20 dovelas para el análisis respectivo.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La Investigación estará en función a estudios recopilados, para así permitir un desarrollo más eficiente en la determinación de nuestros objetivos. La técnica para utilizar en la presente investigación es la observación, según la manera de registrar su conducta porque el autor participará observando todas las dovelas en el software plaxis 3D funciona mediante el método de elementos finitos y está diseñado específicamente para analizar las deformaciones y estabildades de problemas geotécnicos y recolectarán los datos comprobando el correcto proceso de estos.

También se utilizará la metodología de Hoek – Brown donde el criterio de fallo de Hoek-Brown, describe el fallo de la masa rocosa (basado en el análisis realizado sobre cientos de estructuras subterráneas y de pendientes rocosa) como:

$$\sigma_{1,ef} = \sigma_{3,ef} + \sigma_c \left(\frac{m_b \sigma_{3,ef}}{\sigma_c} \right)^a$$

Donde:

$\sigma_{1,ef}$ = Tensión principal mayor durante el fallo de roca

$\sigma_{3,ef}$ = Tensión principal menor durante el fallo de roca

σ_c = Fuerza de la roca intacta en compresión simple

σ_{ci} = Resistencia a la compresión uniaxial de piezas intactas de roca

m_b, s = Constante de material no lineal dependiendo de la calidad de la roca

a = Coeficiente en función de la ruptura de la roca

Los parámetros básicos del modelo de Hoek-Brown modificado deben ser determinados por mediciones in-situ y experimentos en laboratorios muestran. Para tener más conocimientos sobre este modelo, se provee una pequeña lista de rangos de distintos parámetros.

Si la clasificación del macizo rocoso mediante GSI se conoce, entonces es posible que el programa determine los parámetros H-B por sí mismo.

Para el análisis actual los parámetros de H-B se transforman en parámetros de M-C. El proceso de solución entonces se convierte indicado para el criterio de Mohr-Coulomb.

Para la conversión de los parámetros de Hoek-Brown se utiliza solución según Hoek, Carranza-Torres y Corkum (2002) en el caso del análisis de estabilidad de taludes de roca:

Ángulo de fricción interno φ :

$$\varphi' \arcsin \left(\frac{6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{2 \cdot (1 + a) \cdot (2 + a) + 6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a+1}} \right)$$

Cohesión (fuerza de corte) c :

$$c := \left(\frac{\sigma_{ci} \cdot ((1 + 2 \cdot a) \cdot s + (1 \cdot a) \cdot m_b \cdot \sigma_{3n}) \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{(1 + a) \cdot (2 + a) \cdot \sqrt{1 + \frac{(6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1})}{(1 + a) \cdot (2 + a)}}} \right)$$

Donde:

$$\sigma'_{3n} = \frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{ci}}$$

El valor máximo de una tensión principal menor σ'_{3max} está dado por:

$$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{ci}} = 0.72 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91}$$

Donde:

γ = Unidad de peso de la roca

H = Altura de la pendiente rocosa

$$\sigma_{cm} := \sigma_{ci} \frac{[m_b + 4s - a(m_b - 8s)] \left(\frac{m_b}{4} + s\right)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

También tendremos en cuenta el manual de carreteras Túneles, Muros y obras complementarias R.D. N.º 36 -2016 MTC/14; en el capítulo II Diseño Geométrico el cual nos habla sobre los tipos de túneles empleados en carreteras que son por su longitud, por el tipo de material, por el tipo de sección y otros.

La validación de datos e instrumentos de esta investigación lo realizó el ingeniero Cesar R. Rodríguez Rojas, Colegiatura 44050, con experiencia 10años en sector de la construcción.

3.5 Procedimientos

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación, se ha considerado las propiedades mecánicas y resistentes de la roca, del mismo modo se ha asignado las características resistentes de las dovelas de hormigón a analizar, para luego realizar el análisis por elementos finitos en el programa Plaxis 3D, donde a través de la discretización y mallado por elementos isoperimétricos tetraédricos de 10 nodos, se podrá obtener los esfuerzos, deformaciones y desplazamiento que se generan. Finalmente, con los datos obtenidos del análisis por elementos finitos se presentará un cuadro resumen de cada una de las dovelas con la finalidad de mejorar el desempeño ante esfuerzos horizontales y verticales a las que van a estar sometidas.

Calcular el módulo de elasticidad, cohesión, ángulo de fricción, resistencia a la compresión media y resistencia a la tracción a partir de los siguientes datos.

Tabla 1. GSI.

Autores	Investiga	GSI
Yoel Oswaldo Gama Retamozo	Nos dice que la valoración obtenida del análisis de los datos tomados en campo de las características del macizo rocoso y las discontinuidades se obtiene una valoración de RMR DE 54.04, lo que nos indica que la roca es Media. (ver anexo 4)	54.04
Rallfs Fonziearely Cabrera Araujo y Heirich Pedro Sotomayor Villa	Nos dice en su tesis que la estación 1 del socavón está ubicado a 19 m. de boca mina, por lo tanto, tienes los resultados que se verán en el anexo 5.	49

Tabla 2. Peso específico.

Autores	Investiga	γ Peso específico
Domínguez Chávez, Felipe Junior y Terrones Cotrina, Erick Alexander	En su tesis nos brinda su ficha técnica del ensayo para determinar el peso específico relativo de sólidos(g/s) material que pasa la malla n° 4 (anexo 6)	2.616 g/cm ³
Richard Patrick, Julca Castillo	El contenido de humedad (%w) tiene un valor no mayor a 31.98%, mientras que el peso específico de esta zona es de 2.60 gr/cm ³ Así mismo, de acuerdo con la clasificación SUCS, la clase de suelo que predomina en esta zona son arenas SP (arenas mal graduadas, con un poco de gravas y finos).	2.60 g/cm ³

D (GRADO DE PERTURBACIÓN)

Guía para la estimación del grado de perturbación D de un macizo rocoso.
Según Hoek et.al. (2002).

EXCAVACIÓN.	DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO	VALOR DE D (SUGERIDO)
TÚNELES Y EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS	Voladura con excelente control o excavación mecánica con TBM con una perturbación mínima del macizo rocoso que rodea el túnel.	D = 0
	Excavación mecánica o manual en macizos de mala calidad con una perturbación mínima del macizo rocoso que rodea el túnel	D= 0
	Problemas de “squeezing” o flujo de roca que den lugar a la elevación de solera. Si se coloca un sostenimiento temporal de la misma, se utiliza D del caso anterior.	D = 0.5
	Voladuras poco cuidadosas en macizos rocosos duros, que den lugar a daños en el macizo que se extienden entre 2 y 3 metros hacia su interior.	D= 0.8
TALUDES EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERÍA	Voladuras con excelente control en pequeños taludes (sobre todo si se utiliza precorte o recorte). La relajación de tensiones produce perturbación.	D = 0.7
	Voladuras poco cuidadosas en pequeños taludes en el ámbito de la Ingeniería Civil.	D = 1.0
	En cortas y grandes explotaciones mineras a cielo abierto se produce mucha perturbación por las grandes voladuras de producción y por la relajación de tensiones asociadas a la retirada de material.	D = 1.0
	Excavación por arranque mecánico o “ripado” en rocas blandas.	D = 0.7

$$GSI := 40 \quad mi := 9 \quad D := 0.05 \quad \sigma_{ci} := 45 \text{ MPa} \quad \gamma := 27 \frac{KN}{m^3}$$

$$H := 15 \text{ m}$$

$$s := e^{\left(\frac{GSI-100}{9-3 \cdot D}\right)} = 0.0012$$

$$s := 0.5 + \frac{1}{6} \cdot \left(e^{-\frac{GSI}{15}} \cdot e^{-\frac{20}{3}}\right) = 0.511$$

$$\sigma_c := \sigma_{ci} \cdot s^a = 1.455 \text{ MPa}$$

$$m_b := mi \cdot e^{\left(\frac{GSI-100}{28-14 \cdot D}\right)} = 1.051$$

$$\sigma_t := \frac{-s \cdot \sigma_{ci}}{m_b} = -0.051 \text{ MPa}$$

$$E_m := 1000 \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{ci} \cdot \text{MPa}}{100}} \cdot 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)} = 3785.22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cm} := \frac{\sigma_{ci} \cdot (m_b + 4 \cdot s - a \cdot (m_b - 8 \cdot s)) \cdot \left(\frac{m_b}{4} + s\right)^{a-1}}{2 \cdot (1+a) \cdot (2+a)} = 6.004 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{3max} := 0.47 \cdot \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma \cdot H}\right)^{-0.94} \cdot \sigma_{cm} = 0.2082 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{3n} := \frac{\sigma_{3max}}{\sigma_{ci}} = 0.005$$

$$\emptyset := \text{asin} \left(\frac{6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{2 \cdot (1+a) \cdot (2+a) + 6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a+1}} \right) = 56.937^\circ$$

$$c := \left(\frac{\sigma_{ci} \cdot \left((1+2 \cdot a) \cdot s + (1 \cdot a) \cdot m_b \cdot \sigma_{3n} \right) \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a) \cdot (2+a) \cdot \sqrt{1 + \frac{(6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1})}{(1+a) \cdot (2+a)}}} \right) = 0.2063 \text{ MPa}$$

3.6 Método de análisis de datos

Una vez obtenidos los datos de las deformaciones, desplazamientos y máximos esfuerzos del túnel carretero en los 100 metros mediante el programa plaxis 3d, los resultados que obtendremos se procesarán en el software estadístico Excel 2016 la cual nos ayudará analizar los datos de investigación a través de gráficos del cual tendremos un mejor entendimiento de los resultados obtenidos.

3.7 Aspectos éticos

La investigación es asumida con responsabilidad, compromiso basado en valores morales y éticos. Los investigadores deben desarrollar la información garantizando la veracidad, originalidad y confiabilidad de todos los datos presentados en el estudio, en donde se debe considerar normativas que los resultados sean correctos y estén alineados al objetivo del proyecto. La estructura debe estar basada a los parámetros brindados por la universidad, los datos e información extraída de investigaciones realizadas debe estar correctamente referenciada por la normativa ISO 690 e ISO 690-2. Para garantizar la originalidad del proyecto este será sometido a la herramienta Turnitin.

IV. RESULTADOS

Figura 12. Máximos desplazamientos

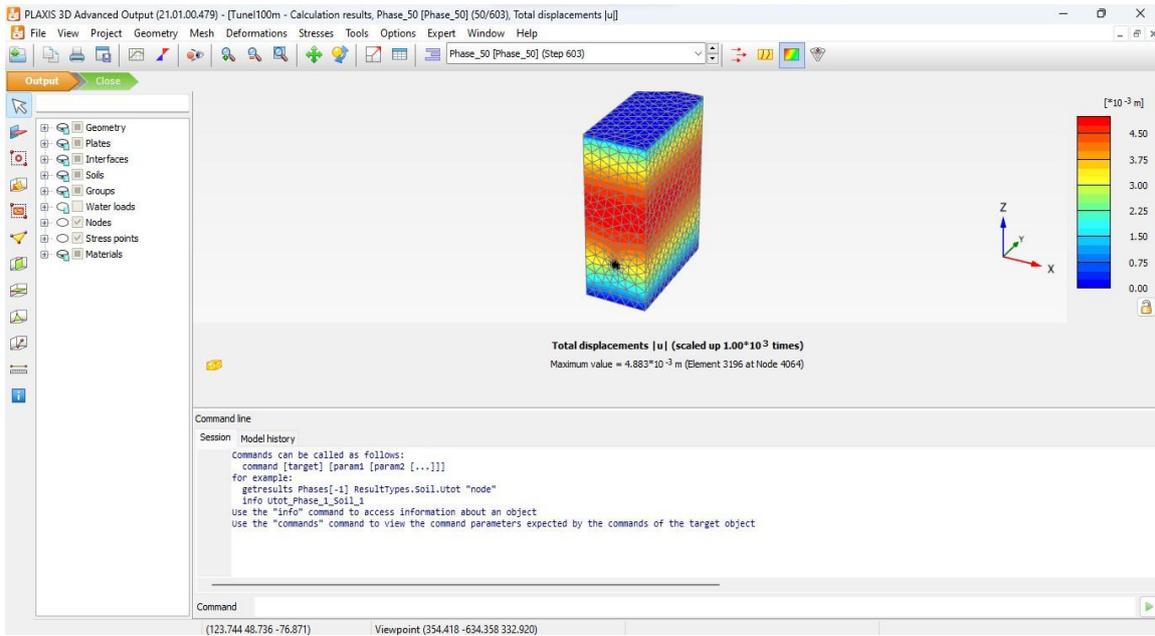
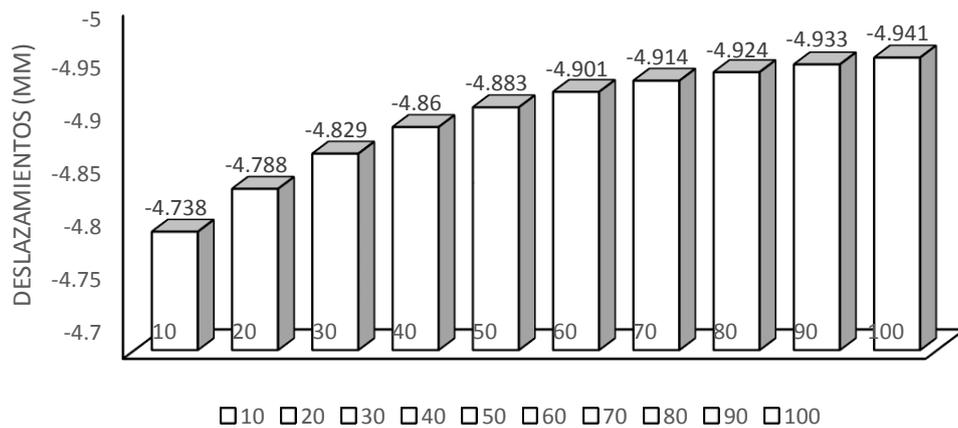


Figura 13. Máximos desplazamientos



NOTA: En los desplazamientos de las dovelas en un túnel carretero se consideró cada 10 metros las dovelas en los 100 metros del túnel, teniendo cada uno su valor máximo y mínimo, en los valores máximos vemos que cada dovela tiene un valor diferente incrementándose en forma ascendente en relación a cada dovela; la dovela 10 tiene como valor máximo $-4.738 \cdot 10^{-3}$ y la dovela 20 tiene como valor máximo $-4.788 \cdot 10^{-3}$ habiendo una diferencia de 0.05 m, así mismo en la dovela 30 hay un incremento de 0.041 m teniendo

como máximo $-4.829 \cdot 10^{-3} \text{m}$, en la dovela 40 su valor máximo es $-4.883 \cdot 10^{-3} \text{m}$, en la dovela 50 el valor máximo es $-4.883 \cdot 10^{-3}$, la dovela 60 su valor máximo es $-4.901 \cdot 10^{-3}$, en la dovela 70 es $-4.924 \cdot 10^{-3}$, en la dovela 80 su valor máximo es $-4.924 \cdot 10^{-3}$, en la dovela 90 su valor máximo es $-4.933 \cdot 10^{-3}$ y por último en la dovela 100 su valor máximo es $-4.941 \cdot 10^{-3}$.

Figura 14. Máximas deformaciones.

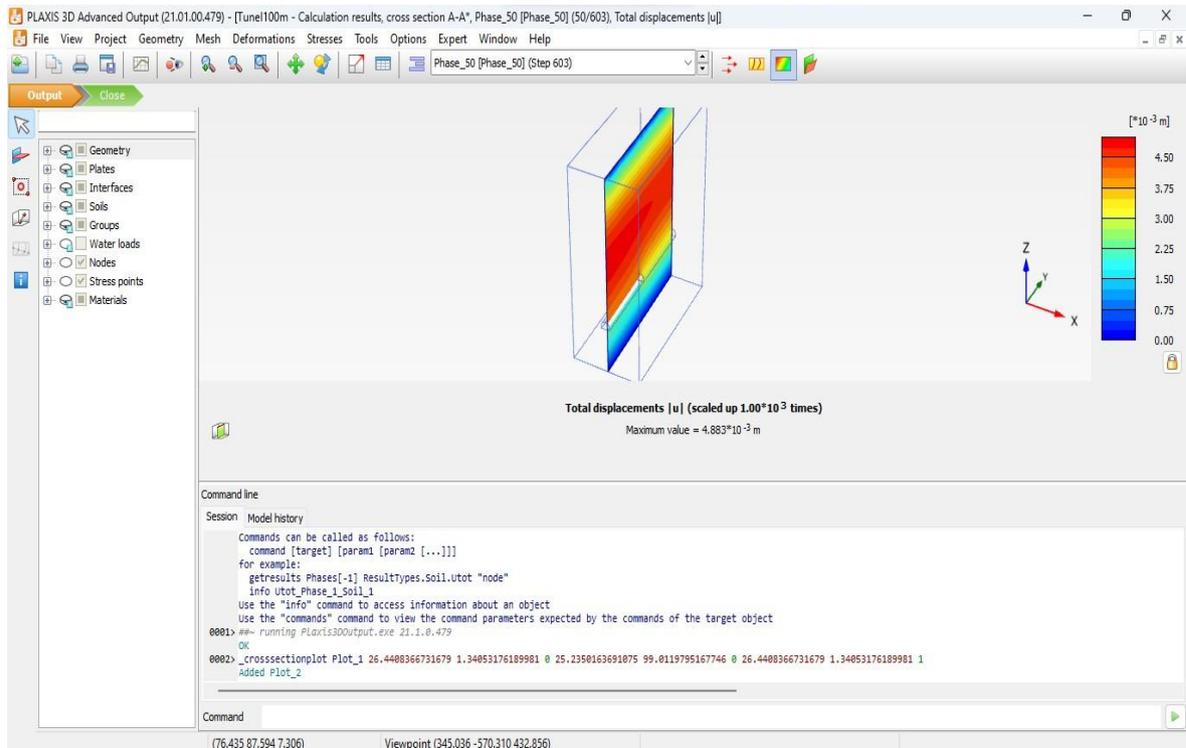
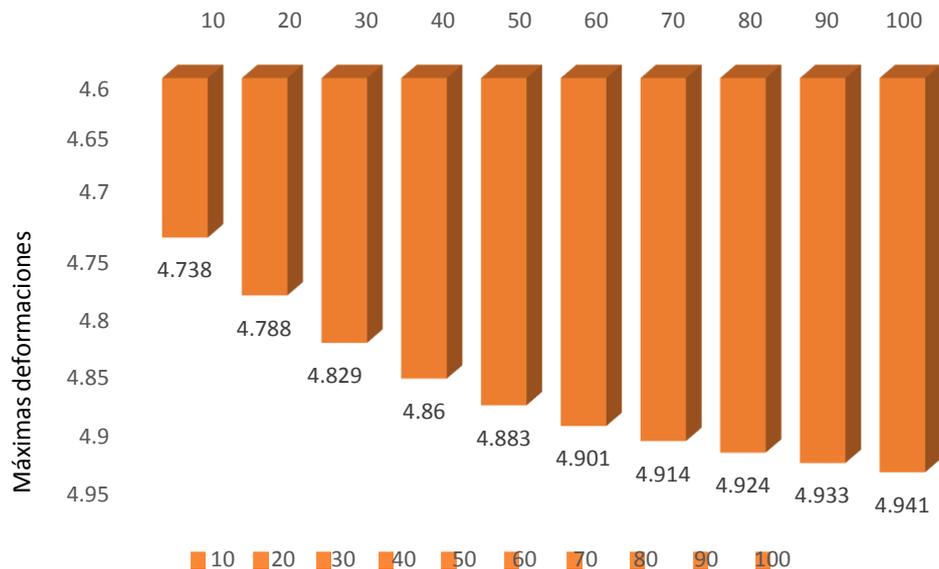


Figura 15. Máximas deformaciones.



NOTA: En las deformaciones de las dovelas en un túnel carretero se consideró cada 10 metros las dovelas en los 100 metros del túnel, teniendo cada uno su valor máximo y mínimo, La dovela 10 tiene como valor máximo de $4.738 \cdot 10^{-3}$ y la dovela 20 tiene como valor máximo de $4.788 \cdot 10^{-3}$ habiendo una diferencia de 0.05 m, así mismo en la dovela 30 hay un incremento de 0.041 m teniendo como máximo $4.829 \cdot 10^{-3}$ m, en la dovela 40 el máximo es de $4.860 \cdot 10^{-3}$ m, en la dovela 50 el valor máximo es de $-4.883 \cdot 10^{-3}$, la dovela 60 su valor máximo es de $4.901 \cdot 10^{-3}$, en la dovela 70 su valor máximo es de $4.924 \cdot 10^{-3}$, en la dovela 80 su valor máximo es de $4.924 \cdot 10^{-3}$, en la dovela 90 su valor máximo es de $4.933 \cdot 10^{-3}$ y por último en la dovela 100 su valor máximo es de $4.941 \cdot 10^{-3}$.

Figura 16. Máximos y Mínimos esfuerzos.

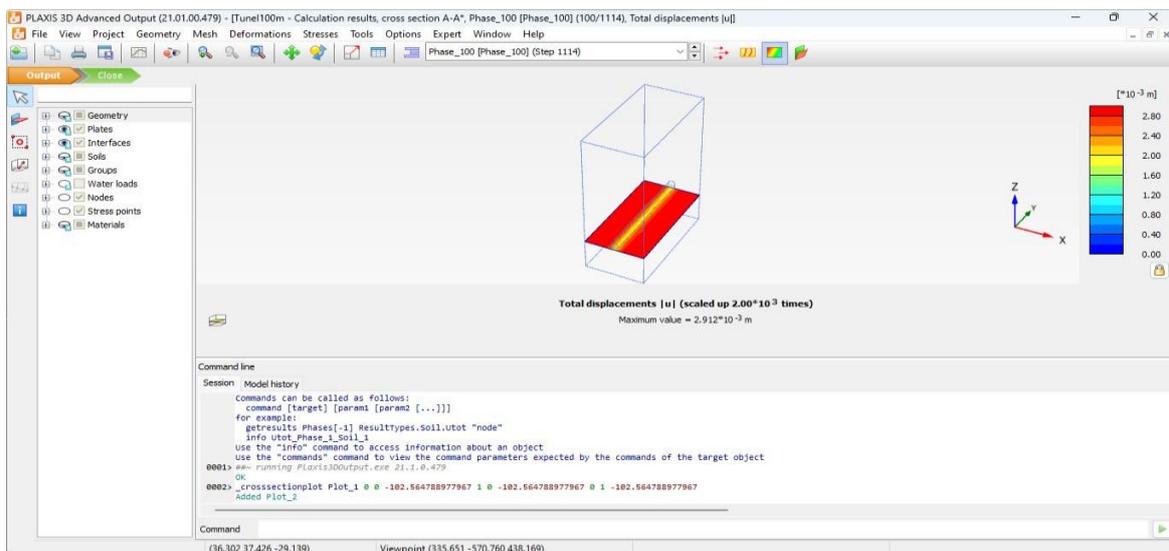
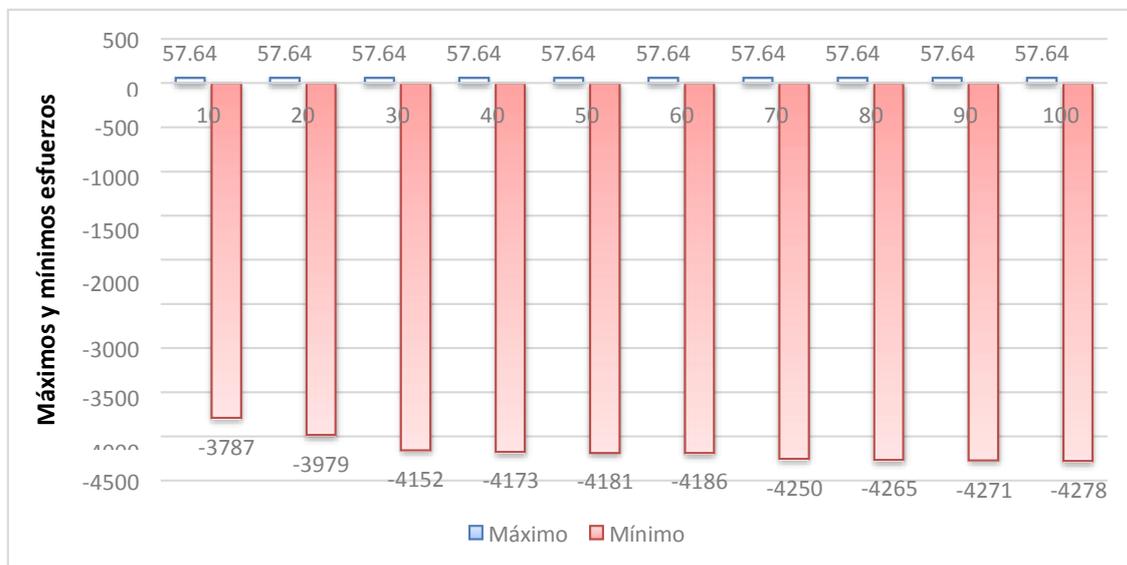


Figura 17. Máximos y Mínimos esfuerzos.



V. DISCUSIÓN

Al determinar los máximos desplazamientos de las dovelas en un túnel carretero mediante un programa de elementos finitos, se tomó como base los aportes de Cortínez et al. (2003), quienes destacaron la importancia de determinar el modo de deformación de una estructura bajo diferentes cargas. Ellos enfatizaron que esta consideración es especialmente relevante en el caso de estructuras sísmicas planas, ya que permite lograr una óptima respuesta sísmica. En la presente investigación se estudió las dovelas en cien metros de túnel, con muestra cada diez metros, obteniendo un valor máximo en desplazamiento. Cada dovela presentó un valor diferente, el cual fue incrementándose de forma ascendente en relación a cada dovela; en detalle, la dovela 10 tiene como valor máximo $-4.738 \cdot 10^{-3}$ y la dovela 20 tiene como valor máximo $-4.788 \cdot 10^{-3}$ habiendo una diferencia de 0.05 m, asimismo, en la dovela 30 hay un incremento de 0.041 m teniendo como máximo $-4.829 \cdot 10^{-3}$ m, en la dovela 40 su valor máximo es $-4.883 \cdot 10^{-3}$ m, en la dovela 50 el valor máximo es $-4.883 \cdot 10^{-3}$, la dovela 60 su valor máximo es $-4.901 \cdot 10^{-3}$, en la dovela 70 es $-4.924 \cdot 10^{-3}$, en la dovela 80 su valor máximo es $-4.924 \cdot 10^{-3}$, en la dovela 90 su valor máximo es $-4.933 \cdot 10^{-3}$ y por último en la dovela 100 su valor máximo es $-4.941 \cdot 10^{-3}$. Estos hallazgos mediante el programa de elementos finitos, presentó una similitud con lo encontrado por Viveros (2016), quien pretendió obtener desplazamientos en el túnel del anillo reemplazando el modelo digital 3D por un modelo de elementos finitos 2D, a pesar de la presencia de poderosas herramientas tridimensionales (3D) para el desarrollo y evaluación de proyectos. Estos desplazamientos y tensiones 2D (deformación superficial) no reflejan los desplazamientos y tensiones que se producen en la estructura de ingeniería real, por lo que este efecto es una limitación importante cuando se evalúa con las herramientas. En este sentido, el uso de herramientas 3D es correcto. Además, cabe señalar que, si bien los desplazamientos obtenidos en 2D y 3D pueden ser los mismos en la simulación, los campos de tensiones y la distribución de estos vuelven a ser diferentes, reflejando la diferencia en simulación 2D-3D. Con esto puede determinarse que el desplazamiento en las dovelas puede determinarse con diferentes métodos, entre ellos el método de elementos finitos.

Al determinar las máximas deformaciones de las dovelas en un túnel carretero mediante un programa de elementos finitos, se definió a este constructo de interés de acuerdo con Morales (2013), las deformaciones se definen como modificaciones en el estado físico de un objeto o estructura debido a la acción de fuerzas mecánicas externas, así como cambios ocasionados por variaciones de temperatura o deformaciones en los soportes. Estos cambios se manifiestan en cada punto de la estructura como resultado de dichas influencias. En los resultados obtenidos en la presente investigación se encontró que las deformaciones de las dovelas en el túnel carretero en estudio presentaron valores máximos, por ejemplo, la dovela 10 tiene como valor máximo de $4.738 \cdot 10^{-3}$ y la dovela 20 tiene como valor máximo de $4.788 \cdot 10^{-3}$ habiendo una diferencia de 0.05 m, asimismo en la dovela 30 hay un incremento de 0.041 m teniendo como máximo $4.829 \cdot 10^{-3}$ m, en la dovela 40 el máximo es de $4.860 \cdot 10^{-3}$ m, en la dovela 50 el valor máximo es de $-4.883 \cdot 10^{-3}$, la dovela 60 su valor máximo es de $4.901 \cdot 10^{-3}$, en la dovela 70 su valor máximo es de $4.924 \cdot 10^{-3}$, en la dovela 80 su valor máximo es de $4.924 \cdot 10^{-3}$, en la dovela 90 su valor máximo es de $4.933 \cdot 10^{-3}$ y por último en la dovela 100 su valor máximo es de $4.941 \cdot 10^{-3}$. Estos resultados son similares a lo encontrado por Trigos (2018) quien se enfocó en el estudio de los métodos de elementos finitos aplicados a situaciones relacionadas con las propiedades de materiales bidimensionales y la elasticidad lineal. En su artículo, el autor presentó el desarrollo de las ecuaciones matriciales para los elementos finitos de 3, 4, 9 y 4 nodos con modos inconsistentes. Además, se comparan las soluciones obtenidas para cada elemento finito con soluciones exactas. En su estudio llegó a la conclusión de que las soluciones para los desplazamientos y los esfuerzos, obtenidas tanto mediante el uso de los programas SAP2000 y Phase 2, como a través de un cálculo independiente realizado al analizar una viga en voladizo sometida a cargas de corte, son idénticas. En todos los casos, se utilizó un elemento finito de tres nodos con una geometría regular.

Del mismo modo, es coincidente con los hallazgos de Palacio (2016), quien, en su investigación, se propuso analizar los diversos métodos de excavación, entre ellos el de Métodos de Elementos Finitos, y realizar una comparación

exhaustiva para identificar los límites y aplicaciones de cada uno de ellos. No obstante, este estudio trasciende la mera realización de cálculos, ya que abarca una historia completa de la excavación de túneles, así como un sólido entendimiento de los métodos típicos de excavación y los principios de ingeniería geotécnica necesarios para comprender el propósito de dicha investigación. El autor concluyó que el método de excavación inglés resulta más rentable en comparación con el método belga. Además, se consideró fundamental emplear programas especializados para calcular las deformaciones y optimizar los procesos, con el objetivo de obtener las mejores condiciones de tensión y deformación posibles. Con esto puede determinarse que las máximas deformaciones de las dovelas en un túnel carretero también se pueden obtener mediante un programa de elementos finitos, y que sus resultados son similares a lo obtenido mediante otras alternativas, como los programas informáticos.

Al determinar los máximos esfuerzos de las dovelas en un túnel carretero mediante un programa de elementos finitos, se utilizó como punto de referencia las contribuciones de Rubio et al. (2015) para establecer la definición de “esfuerzos”. Según estos autores, los esfuerzos representan las fuerzas internas que actúan en oposición a las fuerzas externas a las cuales están sujetas las estructuras. Estos esfuerzos generan resistencia en la región interna del material que conforma las estructuras, permitiendo contrarrestar la fuerza externa aplicada y distribuirla a lo largo del área donde se ejerce dicha fuerza. De esta manera, se logra separar la fuerza aplicada del área de aplicación. Según los resultados obtenidos en la presente investigación, en las dovelas del túnel carretero estudiado, en sus cien metros de distancia, se observó que el valor máximo de todas las dovelas es de 57.64 kN/m^2 pero, en cambio, en los valores mínimos vemos que cada dovela tiene un valor diferente incrementándose en forma ascendente en relación a cada dovela; la dovela 10 tiene como valor mínimo de -3787 kN/m^2 y la dovela 20 tiene como valor mínimo de -3979 kN/m^2 habiendo una diferencia de 192 kN/m^2 , así mismo en la dovela 30 hay un incremento de 173 kN/m^2 teniendo como valor mínimo de -4151 kN/m^2 , en la dovela 40 el valor mínimo es de -4173 kN/m^2 , en la dovela 50 el valor mínimo es de -4183 kN/m^2 , la dovela 60 su valor mínimo es de -4186

kN/m², en la dovela 70 su valor mínimo es de **-4250 kN/m²**, en la dovela 80 su valor mínimo es de **-4265 kN/m²**, en la dovela 90 su valor mínimo es de **-4271 kN/m²** y por último en la dovela 100 su valor mínimo es de **-4278 kN/m²**. Lo obtenido con método de elementos finitos, es coincidente con los hallazgos de Chilón (2019), en su tesis, se centró en abordar la realidad del diseño de túneles en áreas urbanas, donde frecuentemente se pasa por alto la interacción entre el suelo y la estructura, sin mencionar los desafíos que pueden surgir debido a las condiciones pluviométricas. Además, se presentó un método de excavación de zanjas manual, ampliamente utilizado en la construcción a gran escala en Perú, conocido como túneles revestidos. Este método proporciona una solución efectiva para instalar tuberías de gran tamaño en carreteras y áreas urbanas donde la excavación de zanjas abiertas no es viable. Por otro lado, Villalobos (2020) se enfocó en el análisis geotécnico de túneles situados en estructuras geológicas complejas. Este tipo de análisis requiere un profundo conocimiento de la influencia de las estructuras intermasivas en el comportamiento del macizo rocoso, como modelos de juntas y grietas, estratificación de capas y amortiguamiento, entre otros tipos heterogéneos. El enfoque utilizado en esta investigación se basó en el análisis geotécnico inicial de los túneles mediante sistemas equivalentes de roca sólida, siguiendo un enfoque tradicional. Con estas similitudes puede determinarse que los máximos esfuerzos de las dovelas en un túnel carretero son posible mediante un programa de elementos finitos, aunque se observa que existen una variedad de alternativas para determinar los máximos esfuerzos como lo aplicado por Chilón y Villalobos.

VI. CONCLUSIONES

- Se concluye que aplicando el sistema de dovelas mediante el método de elementos finitos en la simulación del túnel carretero mediante el Software PLAXIS 3D, el cual nos permitió analizar los desplazamientos, deformaciones y esfuerzos; y obtener los resultados de manera específica del máximo en cada dovela de sus esfuerzos los cuales fueron representados de forma gráfica.
- Se logró analizar los máximos desplazamientos, deformaciones y esfuerzos en cada Dovela en un túnel carretero mediante el programa de elementos finitos, logrando obtener los siguientes resultados la máxima deformación en la dovela es de $4.941 \cdot 10^{-3} \text{m}$, el máximo desplazamiento es de $-4.941 \cdot 10^{-3}$ y el máximo esfuerzo es de 57.64 kN/m^2 .
- Se determinó los máximos desplazamientos de las dovelas en un túnel carretero mediante el programa de elementos finitos, realizando las comprobaciones mediante el método que se utilizó para el diseño a presentar.
- Se determinó los esfuerzos, deformaciones y desplazamiento de las dovelas de un túnel carretero donde se consideraron cada 10 metros las dovelas en los 100 metros del túnel, teniendo cada uno su valor máximo y mínimo.
- Se evaluó el desplazamiento de las dovelas por cada 10 metros, en los valores máximos vemos que cada dovela tiene un valor diferente incrementándose en forma ascendente en relación con cada dovela.
- La variación del valor mínimo en desplazamientos de la dovela 10 y la dovela 20 es de 0.05 m . y así podríamos ir viendo la variación de cada dovela en el túnel carretero.
- Se analizó la máxima deformación en la dovela 10 siendo su valor máximo de $4.883 \cdot 10^{-3} \text{m}$ y en la dovela 100 obteniendo el valor máximo de $4.941 \cdot 10^{-3} \text{m}$, así pudimos ver cuánto es la variación entre las dovelas teniendo una diferencia de $0.058 \cdot 10^{-3} \text{m}$.
- Mediante el programa de elementos finitos se determinó que el valor máximo de los esfuerzos en todas las dovelas es de 57.64 kN/m^2 , siendo así que el túnel no se deforme.

VII. RECOMENDACIONES

- Se debe asegurar que el diseño del sistema de dovelas y los elementos finitos utilizado en la simulación se lleve a cabo correctamente, considerando una revisión exhaustiva de los parámetros, las condiciones de carga y los resultados obtenidos para confirmar que cumplen con los estándares de seguridad y los requisitos del proyecto.
- Realizar un análisis de estabilidad global del túnel considerando los desplazamientos, deformaciones y esfuerzos obtenidos, determinar si los valores máximos y mínimos de los desplazamientos y deformaciones están dentro de los límites aceptables y si los esfuerzos se encuentran dentro de los rangos de resistencia de los materiales utilizados.
- Si en futuros estudios, se logra identificar desplazamientos, deformaciones o esfuerzos que exceden los límites permitidos, se debe considerar la implementación de medidas de refuerzo o modificaciones en el diseño. Esto puede incluir el uso de materiales de mayor resistencia, cambios en la geometría de las dovelas o la adición de sistemas de soporte adicionales para garantizar la estabilidad y seguridad del túnel.
- A las entidades responsables de construcción de túneles en el Perú, se recomienda que implementen un sistema de monitoreo para realizar un seguimiento continuo de los desplazamientos, deformaciones y esfuerzos reales. Esto permitirá detectar cualquier variación o comportamiento inesperado y tomar acciones correctivas oportunas.
- Evaluar la necesidad de actualizar las normativas y regulaciones existentes en relación con el diseño y construcción de túneles en el Perú. Si es necesario, puede tomarse los hallazgos obtenidos en la presente investigación, y así contribuir con los organismos competentes en la mejora de las prácticas y estándares en el campo de la ingeniería civil.
- A través de la aplicación del método de elementos finitos en túneles, se pudo demostrar lo importante que es el análisis previo al proceso de construcción de esta. Permitiendo tener bajo lineamiento el comportamiento y respuesta de las dovelas de hormigón armado, y así tener vías más dinámicas y duradera.

REFERENCIAS

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del Concreto* (Segunda ed.). Lima, Perú: San Marcos E.I.R.L.
- Alberto, Y. (2017). Prueba de carga en un modelo a escala real de un túnel de dovelas con revestimiento secundario. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication>
- Alcahuamán, V. (2016). *Metodologías de análisis de túneles excavados con tuneladora mediante el programa Plaxis*. Universidad Politécnica de Catalunya, España. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93132>
- Aranda, Á. (2018). *Análisis, levantamiento, proceso constructivo, modelado y recreación virtual del Puente del Cristo de la Expiración*. España. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11441/82272>
- Araujo, T., & Dulio, D. (2018). *Análisis matricial de estructuras por el Método de elementos finitos y su aplicación a túneles*. Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12819/412>
- Ardiles, A., & Ahumada, L. (2018). *Estudio De Factor De Seguridad Y Caracterización Geotécnica Para La Estabilidad Del Talud Minado En Concesión Sojo Piura, 2017*. Universidad Privada del Norte, Perú. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/158612632.pdf>
- Avendaño, S., & González, E. (2022). Análisis de Correlaciones de Duraciones de Actividades en Proyectos de Túneles. DOI:10.31243/id.v16.2022.1644
- Ávila, L., & Bojorque, J. (2021). Comparativa entre los métodos pseudoestático y dinámico para la estabilidad de taludes mediante el método de elementos finitos. caso de estudio: terremoto de bahía de Caráquez. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/53978>
- BERNAL, César. *Metodología de la investigación: administración, económica, humanidades y ciencias sociales*. 3. ° ed. Colombia: Pearson Educación, 2010. 320 pp. ISBN: 9789586991285
- Burbano, D., & Andino, C. (2020). *Evaluación dinámica del macizo rocoso de la Casa de Máquinas 2 (P.H. Pusuno) mediante métodos numéricos en 2D y 3D*. Tesis Magister, Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21250>

- Burbano, D., & Molina, K. (2019). *Lineamientos geotécnicos para garantizar la estabilidad de taludes, en el proceso de cierre de minas en el Distrito Metropolitano de Quito*. Universidad Central de Ecuador, Ecuador.
- Carnero, M. (2019). Análisis del procedimiento constructivo del túnel Pucará trasandino con tuneladora simple escudo en el proyecto Majes Siguan II Fase I, Sibayo - Caylloma - Arequipa. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7715>
- Chilón, E., & Huamán, M. (2019). *Determinación del revestimiento del Tunnel Liner mediante el modelamiento geotécnico aplicando el método de Elementos Finitos, en el Distrito de La Perla Callao*. Universidad Peruana Unión, Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12840/2764>
- Condezo, M. (2019). *Análisis de estabilidad de taludes, empleando métodos aproximados de dovelas, en depósito de desmonte de mina Excelsior-Pasco*. Perú. Obtenido de <http://www.repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1413>
- Colomer, D. (2020). *Aportaciones para la optimización de compatibilidad terreno excavado – dovela, en la construcción de túneles mediante tecnología TBM*. Universidad Católica de Murcia, Murcia, España. Obtenido de <http://repositorio.ucam.edu/bitstream/handle/10952/4883/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cubillas, P., Valverde, C., Garro, F., & Sanabria-Sandino, J. (2018). Evaluación de túneles carreteros en Costa Rica: túnel Zurquí, ruta nacional 32. 9(5). DOI:10.13140/RG.2.2.25268.55689
- Curasma, N., & Quinto, R. (2019). Estudio comparativo entre el método de equilibrio límite y elementos finitos en el análisis de estabilidad de ladera en el sector Heramocco - comunidad de Sacsamarca. Obtenido de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2777>
- Desdín, J. (2018). *Caracterización geomecánica del macizo rocoso para la evaluación de la estabilidad del túnel Levisa Mayarí Tramo V*. Cuba. Obtenido de <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1984>
- Félix, N. (2020). Procedimiento para el análisis sísmico de túneles de hormigón armado mediante el método de elementos finitos. *I* (1), 1-12. Obtenido de

- <https://www.redalyc.org/journal/1813/181368034001/html/>
- Figuerola, K. (2018). Evaluación de la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera los Chancas III 5hnos, distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/7084>
- Gagnay, S. (2019). *Estudio del efecto de alabeo en anillos de revestimiento de túnel formado por dovelas prefabricadas de hormigón*. Universidad Politécnica de Catalunya, España. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2117/184097>
- García de Haro, P., & Della, N. (2018). Uso del superconectores en las aperturas de anillos de dovelas para la realización de galerías de conexión entre túneles. Obtenido de <http://www.tunnelconsult.com/assets/files/2018>
- García Rubio, M. (2016). *Estudio de excavación de túneles mediante el nuevo método austriaco a través del análisis por elementos finitos*. Mérida. Obtenido de <https://dehesa.unex.es/handle/10662/3580>
- Godoy, A. (2020). *Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B, Lima 2020*. Universidad César Vallejo, Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/56196>
- Héctor, J. (2017). *Análisis de la distribución de las fibras y resistencia residual en dovelas de HRFA para túneles*. Chile. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673>
- Huascupe, M. (2021). *Estabilidad de taludes naturales empleando métodos convencionales, sector Llavini, Puno*. Perú. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/72227>
- Jaquez, A. (2017). *Diseño Numérico de un túnel en zona de inestabilidad de taludes*. México. Obtenido de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMI_CH/3126/FIC-M-2017-0636.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jorge, X., & Soncco, K. (2019). *Modelamiento no lineal geométrico de vigas utilizando la teoría mejorada de primer orden mediante el método de elementos finitos*. Perú. Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625795/jorge_px.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Juárez, G. (2018). Modelado del daño en túneles dovelados con y sin revestimiento secundario mediante articulaciones plásticas. Obtenido de <http://zaloamati.azc>
- Lagos, C. (2021). Análisis de riesgo en el proceso constructivo de túneles construidos con TBM. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181329>
- Layme, J. (2022). *Análisis comparativo de la estabilidad de taludes naturales a través de métodos de equilibrio límite bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas en Caballuni, Juncal-Puno*. Perú. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle>
- Llatas, D. d., & Capuñay, J. (2019). Análisis comparativo entre los métodos de equilibrio límite, cuña profunda y software especializado en elementos finitos, para el diseño geotécnico de muros anclados; aplicado a ejecución de sótanos en Lima Metropolitana. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4449>
- Nápoles, E., Gonzáles, R., & Olivares, E. (2015). *Una introducción al análisis por elementos finitos: aplicaciones y ejemplos* (Primera ed.). (P. d. Ernesto, Ed.) Editorial Universitaria.
- Oñate, E. (1991). *Cálculo de estructuras por método de elementos finitos: análisis estático lineal* (Vol. 1). Barcelona, España: CIMNE.
- Oteo, C. (septiembre de 2016). Monográfico Túneles. Obtenido de <https://aetos.es/wp-content/uploads/2021/10/ROP-MONOGRAFICO-TUNELES-SEP16-AETOS.pdf>
- Palacios, S. (2016). *Estudio Comparativo De Métodos De Excavación De Túneles En Suelo Mediante El Método De Los Elementos Finitos*. Universidad de Extremadura, Mérida. Obtenido de https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/3579/5/TFGUEX_2015_Palacios_Garcia.pdf
- Puell, F. (febrero de 2016). Refuerzo de las dovelas de un túnel de aguas residuales. Obtenido de <https://www.obrasurbanas.es/refuerzo-de-las-dovelas-de-un-tunel-de-aguas-residuales/>
- Pujadas, P., Blanco, A., & Aguado de Cea, A. (2018). Dovelas de hormigón (concreto) reforzado con fibras para el soporte de túneles y pozos verticales.

- Obtenido de <http://hdl.handle.net/2117/123282>
- Quispe, L., & Rodríguez, Y. (2021). *Evaluación de estabilidad de taludes a través de elementos finitos en la carretera Interoceánica sur de Marcapata, Quispicanchis, Cusco*. Universidad César Vallejo, Perú. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88776>
- Rocha, J. (2018). Elaboración de software para el estudio de estabilidad de taludes por el método de las dovelas. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7819/RochaCaicedoJhonFreyder2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero, A., Martínez, R., Ochoa, N., & Sánchez, J. (2017). Metodología general de análisis para la estimación del grado de severidad de patologías estructurales en un túnel. Obtenido de <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos>
- Romero, M. d. (2022). *Marco Metodológico para la inclusión del nivel freático en el modelado de taludes por el método de equilibrio límite*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/27166>
- Rosell, D. E. (2020). *Aportaciones para la optimización de compatibilidad terreno excavado – dovela, en la construcción de túneles mediante tecnología TBM*. España. Obtenido de <http://repositorio.ucam.edu/bitstream/handle/10952/4883/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rubén, V. S. (2018). *Estudio De Las Características Geotécnicas De Los Suelos Residuales Para La Estabilidad De Taludes En El Cerro La Campana - Ruta Al Terminal Portuario De Puerto Eten*. Universidad Señor de Sipán, Perú. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6034/Ventocilla%20Sanchez%20Pedro%20Miguel%20Ruben.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Sernaqué, H., & Núñez, J. (2022). Modelo de aplicación tecnológica para la estabilización de taludes en la cámara de bombeo pluvial n°01 del hospital II-2 César Garayar García, Iquitos. Obtenido de <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1850>

- Ticona, P. (2019). Estabilización de Taludes en la carretera PE1-NF Tramo Contumazá - Chilote. Obtenido de <http://repositorio.uprit.edu.pe/handle/UPRIT/233>
- Trigos, D. (2018). *Análisis matricial de estructuras por el Método de elementos finitos y su aplicación a túneles*. Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12819/412>
- Ubaldo, R. (2016). *Selección del tipo de revestimiento en túneles carreteros*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. Obtenido de <https://docplayer.es/60011646-Universidad-nacional-autonoma-de-mexico-programa-de-maestria-y-doctorado-en-ingenieria-ingenieria-civil-geotecnia.html>
- Vázquez, J. (2019). *Implementación De La Técnica Ppp-Gnss Para El ´ Monitoreo De La Salud Estructural En Puentes*. Universidad Autónoma de Sinaloa, México. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Vazquez-Ontiveros/publication/337852642_Implementacion_de_la_tecnica_PPP-GNSS_para_el_monitoreo_de_la_salud_estructural_en_puentes/links/5deef4292851c8364705aba/Implementacion-de-la-tecnica-PPP-GNSS-para-el-moni
- Vásquez, M., & López, E. (2001). *El método de los elementos finitos aplicado al análisis estructural*. Madrid.
- Vélez, P. (2019). *Análisis Retrospectivo Y Geomecánica De Las Deformaciones Por Convergencias En Los Primeros Cien Metros Del Túnel Del Toyo*. Colombia. Obtenido de https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/2418/SabogalCamilo_2019_AnalisisRetr?sequence=3
- Vilca Guzmán, E. (2018). *Factibilidad Para La Construcción De Un Depósito De Relaves E Implementación Del Tratamiento De Relaves De Cianuración En La Concesión Minera Tres Reyes Magos En La Región Tacna*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Obtenido de <http://190.119.145.154/bitstream/handle/UNSA/9422/IMviguige.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villalobos, S., Cacciari, P., & Futai, M. (abril de 2020). Evaluación de la estabilidad

alrededor de un túnel ferroviario usando los datos de un escáner láser y el análisis de elementos finitos. *Revista Ingeniería de Construcción*. doi:10.4067/S0718-50732020000100021

Viveros, F. (2016). *Nomograma Para Obtener Desplazamientos En Túneles Circulares Mediante La Sustitución De Simulación Numérica 3d A 2d Usando Elemento Finito*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Obtenido de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/3120

Yurley, S. (2019). *Cálculo Estático De Encofrados Y Diseño Para El Soporte Dovela 0 Puente Río Sucio*. Colombia. Obtenido de http://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/15672/2/2019_calculo_estatico_encofrados.pdf

ANEXOS

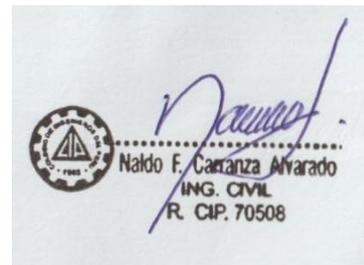
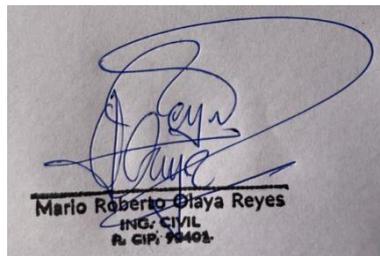
Anexo 1.

Ficha de observación de las dovelas

Dovelas	Desplazamiento	Deformaciones	Esfuerzos
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			

38			
39			
40			
42			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			

Fuentes: *Elaboración Propia*



Anexo 2.

Matriz de Operacionalización de variables

	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
V. INDEPENDIENTE	DOVELAS	Es un elemento constructivo que conforma un arco y que puede ser de diferentes materiales, como ladrillo o piedra. Actualmente se elaboran en hormigón armado. En arquitectura clásica, la dovela es una pieza, normalmente de piedra, en forma de cuña que componen el arco o la bóveda y se caracterizan por su disposición radial. (Yepes,2014)	El sistema constructivo de las dovelas prefabricadas consiste en dividir el tablero en elementos obtenidos al cortarlo en planos perpendiculares a su eje, donde cada elemento tiene su sección transversal completa del tablero.	Desplazamiento	$L^T \sigma + b = 0$	Razón
				Esfuerzo	$\sigma_{xx} = \frac{P_x}{P_x}$	Razón
					$\sigma_{yy} = \frac{P_y}{P_y}$	
					$\sigma_{zz} = \frac{P_z}{P_z}$	
					$\epsilon_{xx} = \frac{\partial}{\partial x} \mu_x$	
				Deformaciones	$\epsilon_{yy} = \frac{\partial}{\partial y} \mu_y$	Razón
					$\epsilon_{zz} = \frac{\partial}{\partial z} \mu_z$	
V. DEPENDIENTE	ELEMENTOS FINITOS	El método de elementos finitos es un método de aproximación a problemas de continuidad de tal manera que tiene un método continuo dividido en un número finito de partes, "elementos", cuyo comportamiento está determinado por un número finito de parámetros relacionados con un objeto particular. los puntos se llaman "nudos". (Valero,2004)	Se divide en triángulos y proporciona opciones de solución mediante interpolaciones polinómicas numéricas. Esto es útil porque facilita encontrar deformaciones, tensiones, esfuerzos y desplazamientos en una sección transversal basada en un sistema de apoyo.	Nodos	Elemento isoparamétrico de 14 nodos	Razón

Anexo 3.

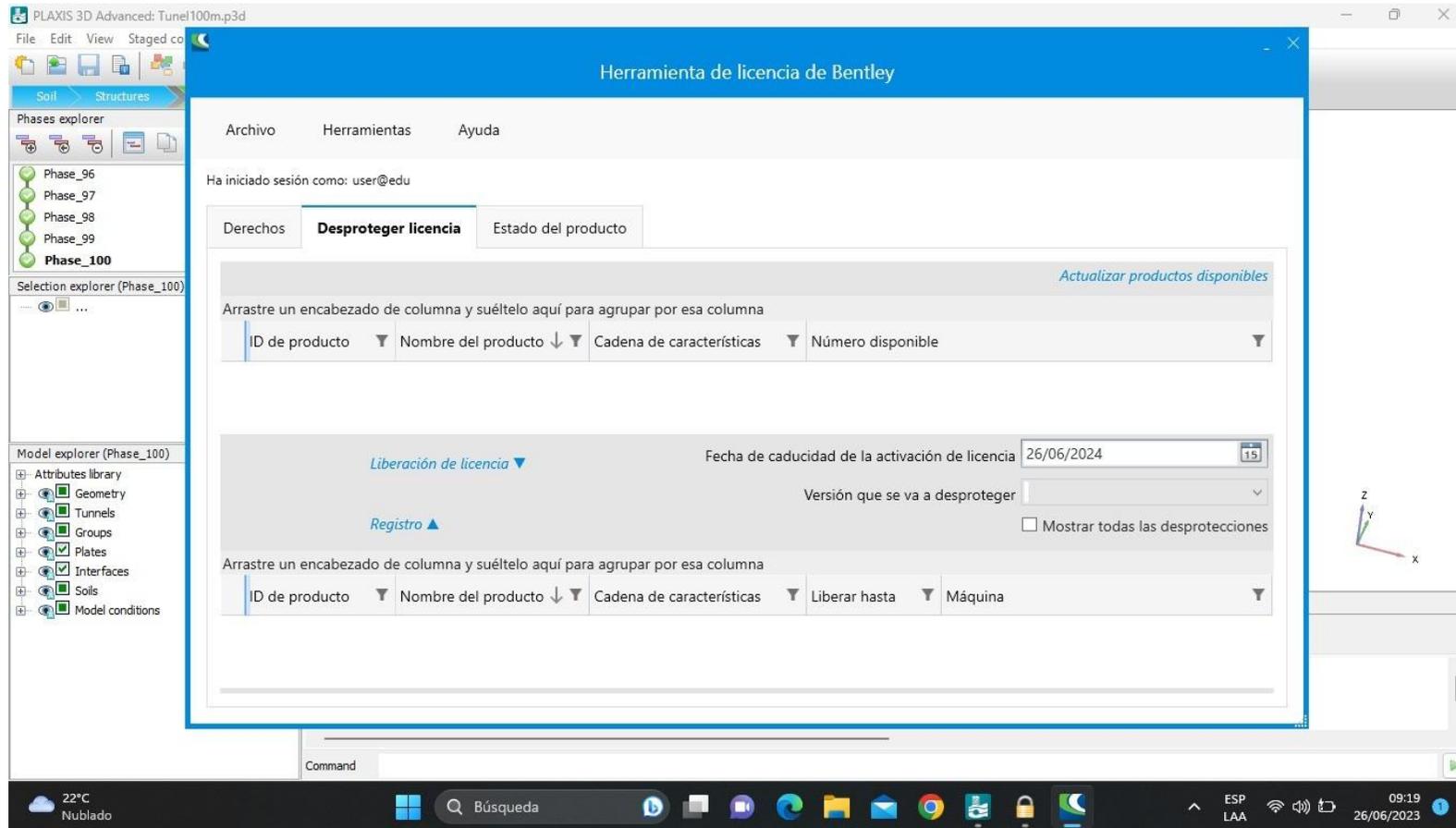
Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES y DIMENSIONES		METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL		HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE DOVELAS	DIMENSIONES	TIPO DE INVESTIGACIÓN
	Analizar las dovelas en un túnel carretero mediante un programa de elementos finitos	Benites (2020), en su tesis, "Evaluación del diseño de sostenimiento utilizando el método de elementos finitos para túnel de proceso constructivo D&B, Lima"	mediante el programa de elementos finitos se podría analizar las dovelas en un túnel carretero	según Yepes (2014), nos dice que las dovelas son un elemento estructural que forma un arco, que puede ser de diferentes materiales, como ladrillo o piedra. aunque en la actualidad son de hormigón armado.	Desplazamientos	Propósito: Aplicativa Por el diseño: No Experimental
	OBJETIVO ESPECÍFICOS		HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	Diseño de investigación: No experimental transversal descriptivo
¿Cómo se analizan las dovelas en un túnel carretero mediante un programa de elementos finitos?	Determinar los máximos desplazamientos de las dovelas en un túnel carretero mediante un programa de elementos finitos	Viveros (2016) en sus tesis, "Monograma para obtener desplazamiento en túneles circulares mediante la sustitución de simulación numérica 3D a 2D usando elemento finito"	Mediante un programa de elementos finitos se podría determinar las máximas desplazamientos en un túnel carretero			Población: Todas las dovelas del túnel carretero mediante el programa de Elementos Finitos, Trujillo 2022
	Determinar las máximas deformaciones de las dovelas en un túnel carretero mediante un programa de elementos finitos	Araujo & Duilio (2018) en sus tesis, "Análisis matricial de estructuras por el método de elementos finitos y su aplicación a túneles"	Mediante un programa de elementos finitos se podría determinar las máximas deformaciones en un túnel carretero	ELEMENTOS FINITOS Según Serkan (2006) considera a los elementos finitos como una técnica analítica más adecuada para resolver problemas geotécnicos.	Nodos	MUESTRA: muestreo no probabilístico técnicas, instrumentos y procedimientos y recolección de datos:
	Determinar los máximos esfuerzos de las dovelas en un túnel carretero mediante un programa de elementos finitos	Villalobos (2020), "Evaluación de la estabilidad alrededor de un túnel ferroviario utilizando datos de escáner láser terrestre y análisis de elementos finitos".	Mediante un programa de elementos finitos se podría determinar los máximas esfuerzos en un túnel carretero			Para recolectar datos, se utilizará la guía de recolección de datos, ver anexo 1 Técnica: Observación

Fuentes: *Elaboración Propia*

Anexo 4.

Licencia programa PLAXIS 3D.

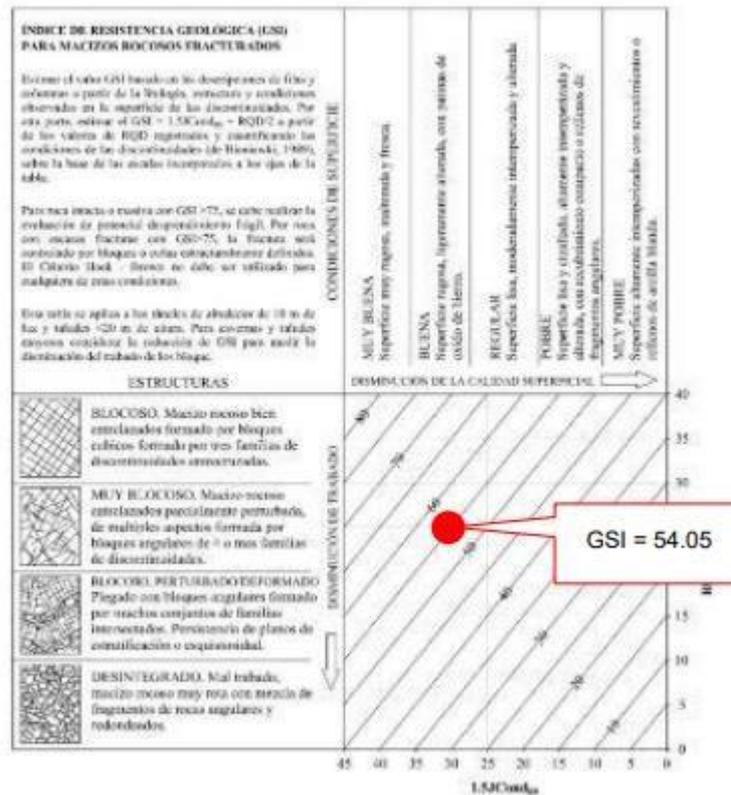


Anexo 5.

RESUMEN RESULTADOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS ESTACIÓN N°2

COORDENADAS		SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM					
NORTE	ESTE	COTA	DATUM:	WGS 84			
9164097	827797	3580 m.s.n.m.	ZONA:	17S			
Parámetros de clasificación RMR (Bieniawski 1989)							
1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)						
	Puntuación	4	ND	L (m)	λ	RQD	
2	$RQD = 100 * e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda + 1)$		54	7.55	7.15	84.07	
	Puntuación	17					
3	Separación entre diaclasas						
	Puntuación	10					
Clasificación de condiciones de las discontinuidades							
4		Longitud de la discontinuidad	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Valorización Jcond ₈₉
	Puntuación	1	1	3	2	1	8
5	Agua Freática						
	Puntuación	15					
VALORIZACIÓN RMR (1989)				54			
Estimación del geological Strenth Index (GSI)							
GSI= 1.5J Cond ₈₉ + RGD/2			GSI=		54.04		

Fuente: Tesis de Yoel Oswaldo Gama Retamozo

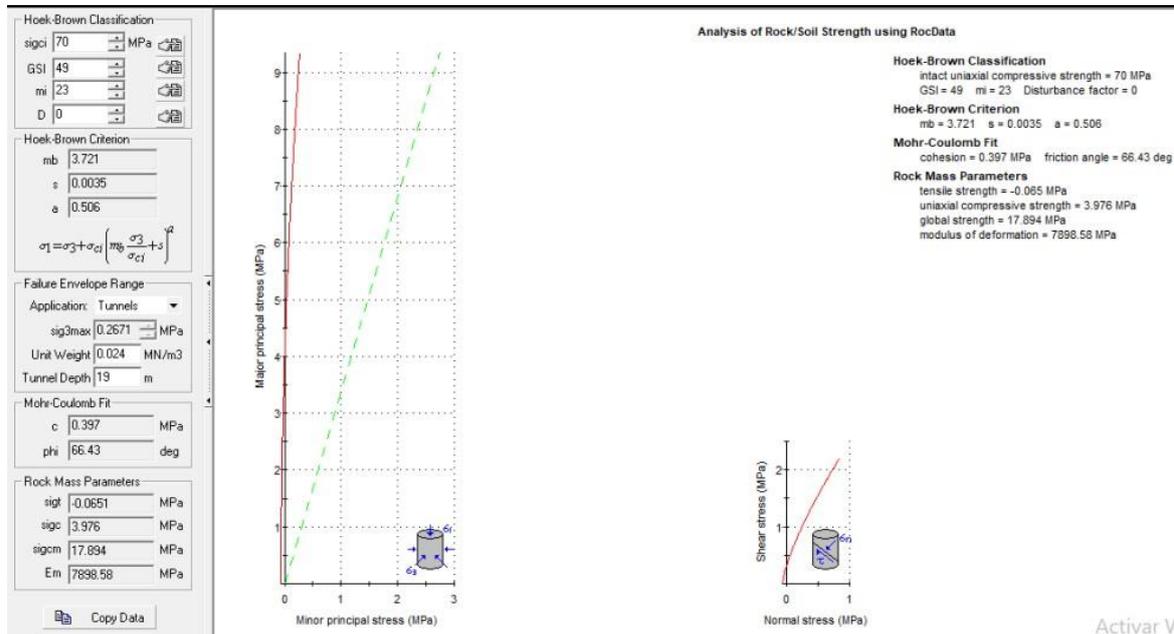


Anexo 6.

Resultados obtenidos de la prueba de campo realizada en la mina de Cajabamba de los sistemas de Clasificación (RQD, RMR, GSI y Sistema de Q de Barton)

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN		
	RESULTADO	CALIDAD DE LA ROCA
<i>RQD</i>	71.73	Buena
<i>RMR</i>	54	Regular
<i>GSI</i>	49	Buena
<i>Sistema Q de Barton</i>	5.98	Regular

Fuente: Repositorio UPN



Activar V

Anexo 7.

Peso Específico De Las Rocas

- Se basa en el ejemplo de que sigue en análisis similares presentados por Hoek y Bray (1974) y Hoek (2000)

Peso específico de la roca conocido es de $\gamma=26.3 \text{ KN/m}^3$

- Díaz, A., Ramírez, J., Torre, J. & Carpio, M. (2017) - Prospección de recursos de rocas y minerales industriales en la región La Libertad

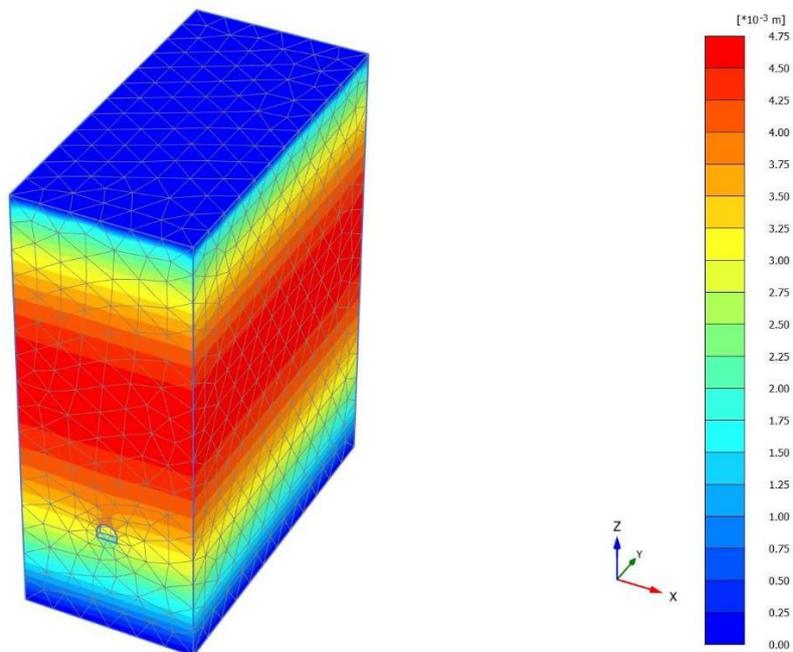
	GRANITO	BASALTO
Peso específico (g/cm²)	2.64	2.91
Coeficiente de absorción (%)	0.31	0.04
Resistencia a la compresión (kg/cm²)	1.54	1.997
Resistencia a la flexión (kg/cm²)	290	426
Resistencia al desgaste (mm)	0.08	3.91
Resistencia al impacto (%)	60	100
Resistencia a las heladas (%)	0.0017	0
Porosidad (%)	0.83	0.02

Fuente: Atlas de rocas ornamentales de Extremadura y Rio Tinto Rocas

Anexo 8.

Tabla 3. Desplazamiento de las dovelas en un túnel carretero.

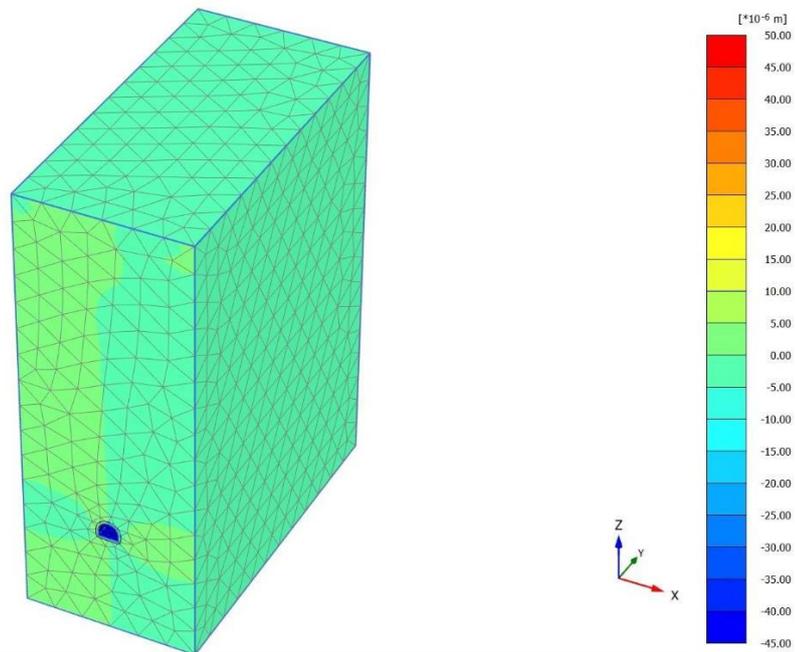
STEP	MAXIMO
10	$-4.738 \cdot 10^{-3} \text{m}$
20	$-4.788 \cdot 10^{-3} \text{m}$
30	$-4.829 \cdot 10^{-3} \text{m}$
40	$-4.860 \cdot 10^{-3} \text{m}$
50	$-4.883 \cdot 10^{-3} \text{m}$
60	$-4.901 \cdot 10^{-3} \text{m}$
70	$-4.914 \cdot 10^{-3} \text{m}$
80	$-4.924 \cdot 10^{-3} \text{m}$
90	$-4.933 \cdot 10^{-3} \text{m}$
100	$-4.941 \cdot 10^{-3} \text{m}$



Anexo 9.

Tabla 4. Deformaciones de las dovelas en un túnel carretero.

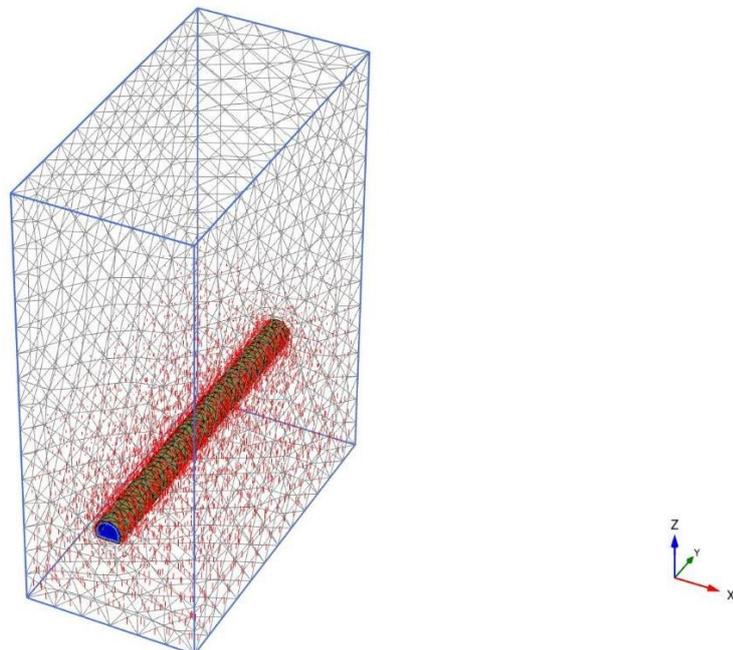
STEP	MAXIMO
10	$4.738 \cdot 10^{-3}$
20	$4.788 \cdot 10^{-3}$
30	$4.829 \cdot 10^{-3}$
40	$4.860 \cdot 10^{-3}$
50	$4.883 \cdot 10^{-3}$
60	$4.901 \cdot 10^{-3}$
70	$4.914 \cdot 10^{-3}$
80	$4.924 \cdot 10^{-3}$
90	$4.933 \cdot 10^{-3}$
100	$4.941 \cdot 10^{-3}$



Anexo 10.

Tabla 5. Esfuerzos de las dovelas en un túnel carretero

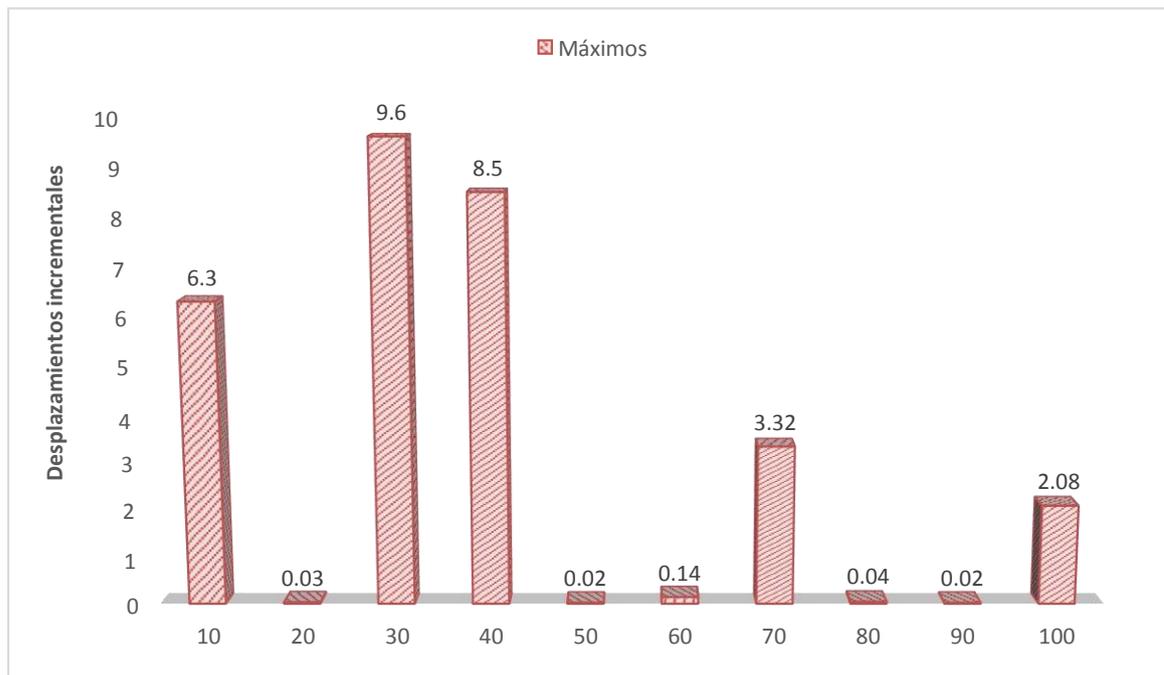
STEP	MAXIMO
10	-3787 KN/m ²
20	-3979 KN/m ²
30	-4152 KN/m ²
40	-4173 KN/m ²
50	-4181 KN/m ²
60	-4186 KN/m ²
70	-4250 KN/m ²
80	-4265 KN/m ²
90	-4271 KN/m ²
100	-4278 KN/m ²



Anexo 11.

Tabla 6. Tabla de Desplazamientos incrementales

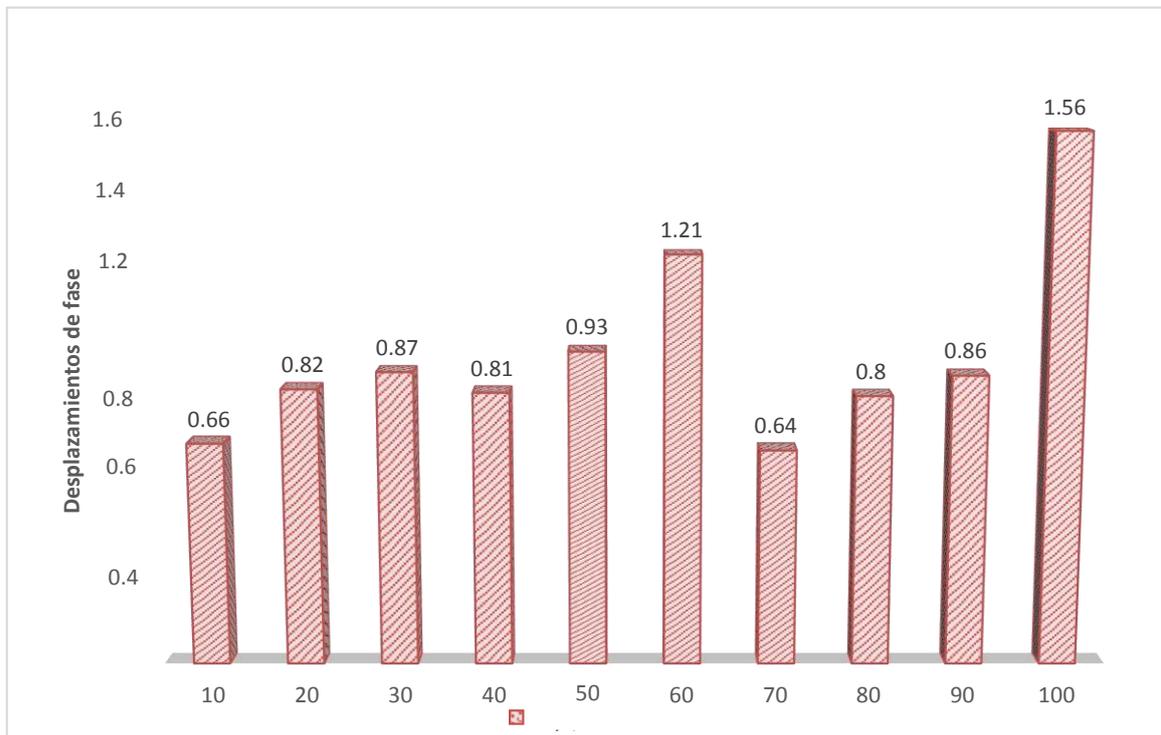
STEP	Máximos
10	$6.393 \times 10^{-6}m$
20	$0.0374 \times 10^{-3}m$
30	$9.676 \times 10^{-6}m$
40	$8.559 \times 10^{-6}m$
50	$0.02616 \times 10^{-3}m$
60	$0.1436 \times 10^{-3}m$
70	$3.324 \times 10^{-6}m$
80	$0.04245 \times 10^{-3}m$
90	$0.02875 \times 10^{-3}m$
100	$2.081 \times 10^{-6}m$



Anexo 12.

Tabla 7. Tabla de Desplazamientos de fase

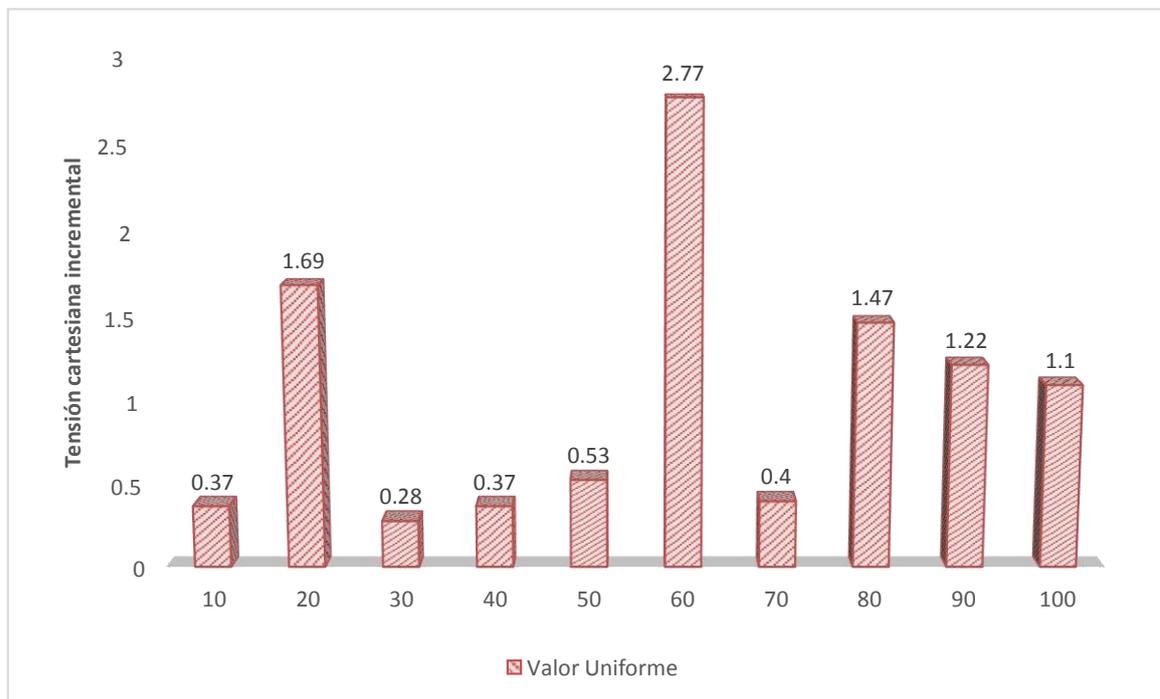
STEP	Máximos
10	$0.6602 \times 10^{-3}\text{m}$
20	$0.8299 \times 10^{-3}\text{m}$
30	$0.8704 \times 10^{-3}\text{m}$
40	$0.8100 \times 10^{-3}\text{m}$
50	$0.9325 \times 10^{-3}\text{m}$
60	$1.218 \times 10^{-3}\text{m}$
70	$0.6450 \times 10^{-3}\text{m}$
80	$0.8091 \times 10^{-3}\text{m}$
90	$0.8621 \times 10^{-3}\text{m}$
100	$1.569 \times 10^{-3}\text{m}$



Anexo 13.

Tabla 8. Tabla de Tensión cartesiana incremental

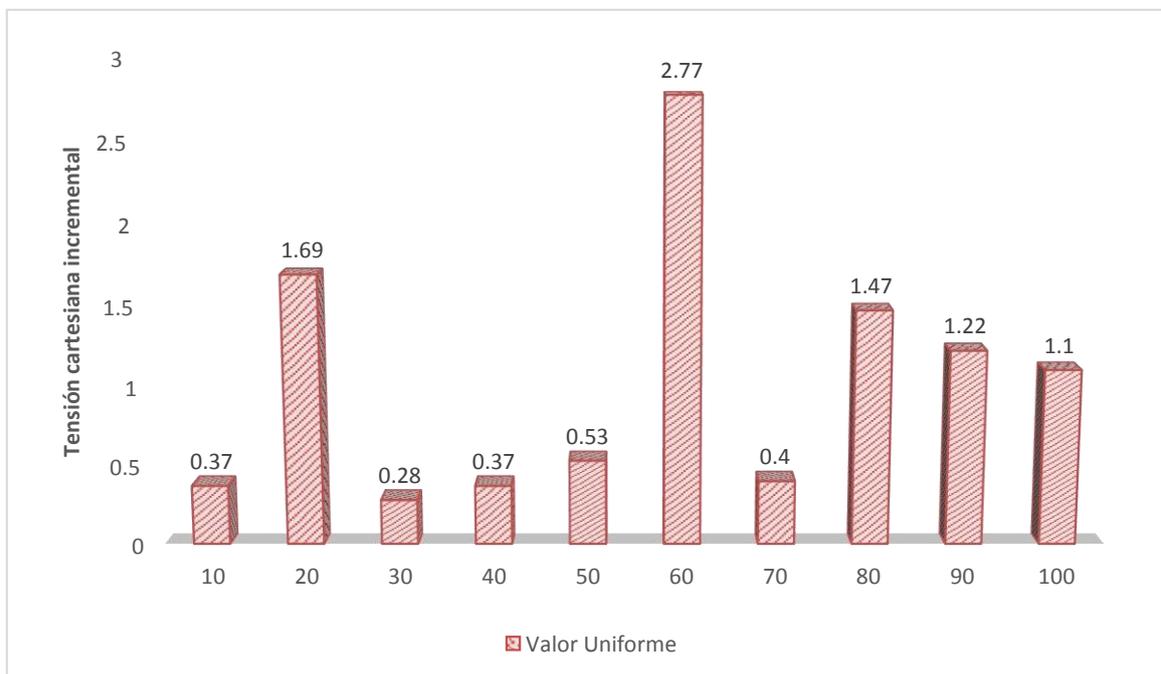
STEP	Valor uniforme
10	0.3738×10^{-3}
20	1.695×10^{-3}
30	0.2825×10^{-3}
40	0.3787×10^{-3}
50	0.5319×10^{-3}
60	2.775×10^{-3}
70	0.4061×10^{-3}
80	1.470×10^{-3}
90	1.224×10^{-3}
100	1.109×10^{-3}



Anexo 14.

Tabla 9. Tabla de deformaciones cartesianas en fase

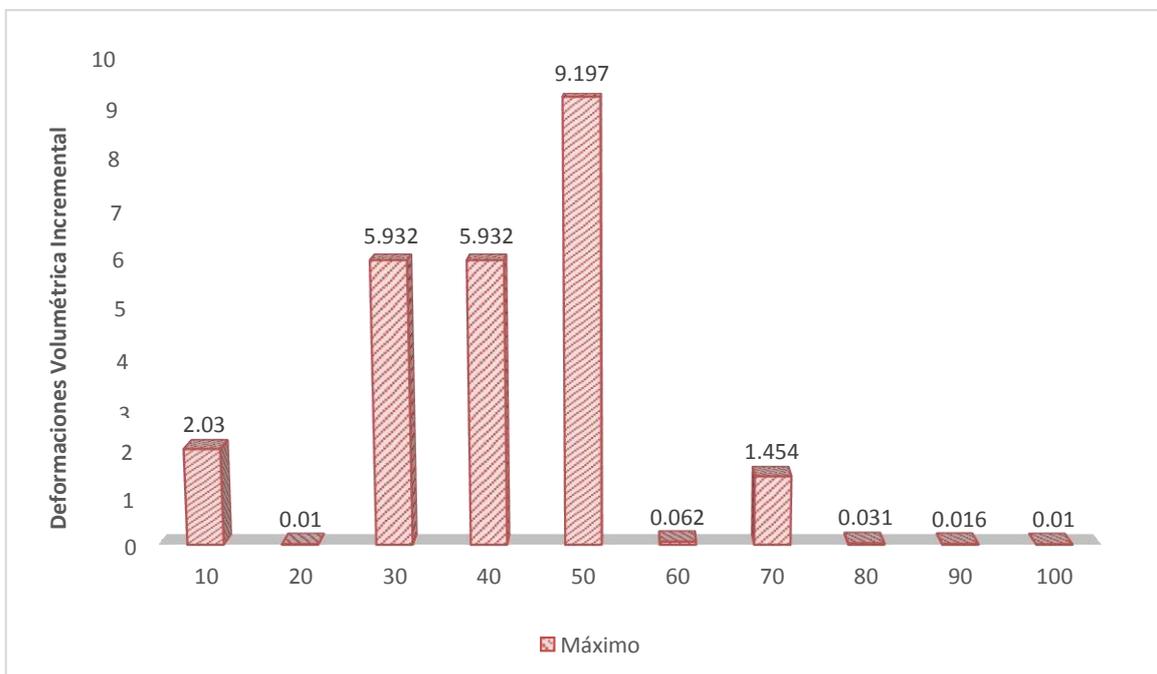
STEP	Máximo
10	0.05378×10^{-3}
20	0.04559×10^{-3}
30	0.03764×10^{-3}
40	0.04097×10^{-3}
50	0.04402×10^{-3}
60	0.05568×10^{-3}
70	0.03025×10^{-3}
80	0.05030×10^{-3}
90	0.06006×10^{-3}
100	0.1789×10^{-3}



Anexo 15.

Tabla 10. Tabla de Deformaciones Volumétrica Incremental

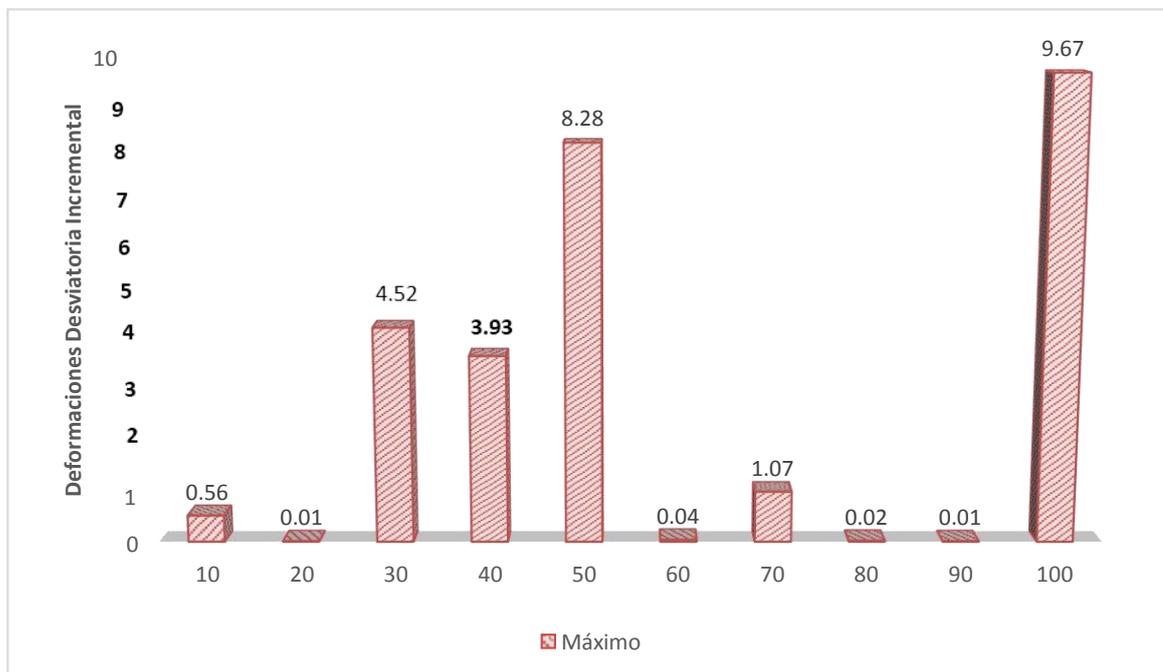
STEP	Máximo
10	2.039×10^{-6}
20	0.0157×10^{-6}
30	5.936×10^{-6}
40	5.932×10^{-6}
50	9.197×10^{-6}
60	0.06201×10^{-6}
70	1.454×10^{-6}
80	0.03177×10^{-3}
90	0.01671×10^{-3}
100	0.01086×10^{-3}



Anexo 16.

Tabla 11. Tabla de Deformaciones Desviatoria Incremental

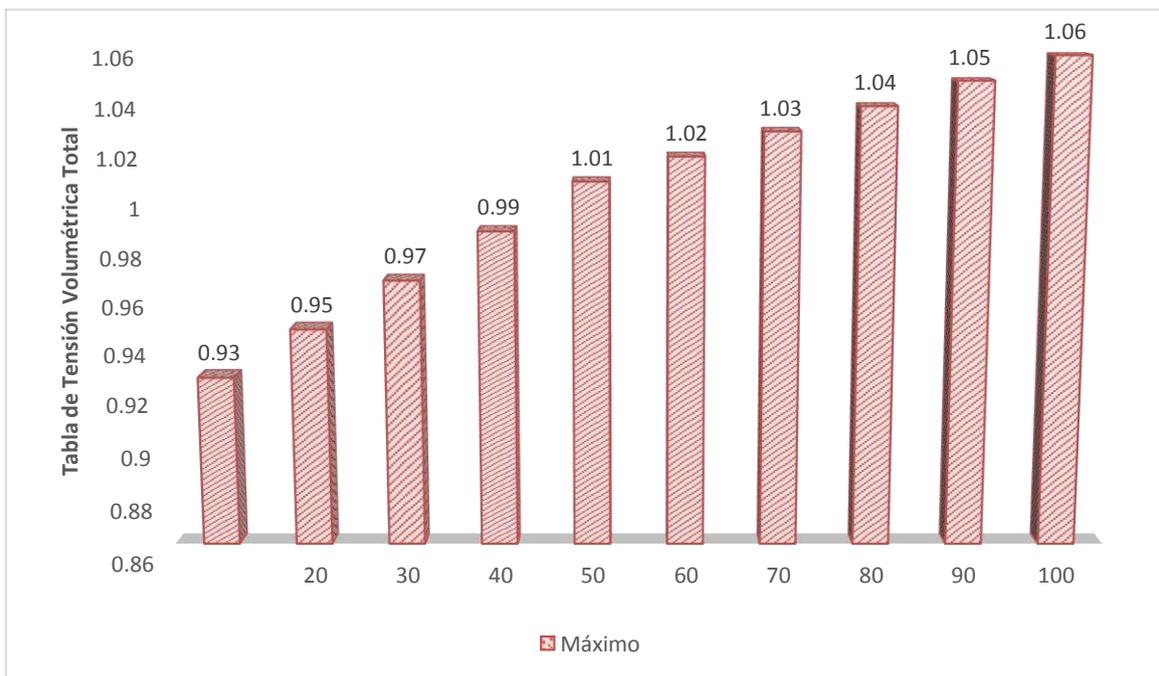
STEP	Máximo
10	0.5612×10^{-6}
20	0.01343×10^{-6}
30	4.525×10^{-6}
40	3.935×10^{-6}
50	8.281×10^{-6}
60	0.04856×10^{-3}
70	1.075×10^{-6}
80	0.02641×10^{-3}
90	0.01127×10^{-3}
100	0.01086×10^{-6}



Anexo 17.

Tabla 12. Tabla de Tensión Volumétrica Total

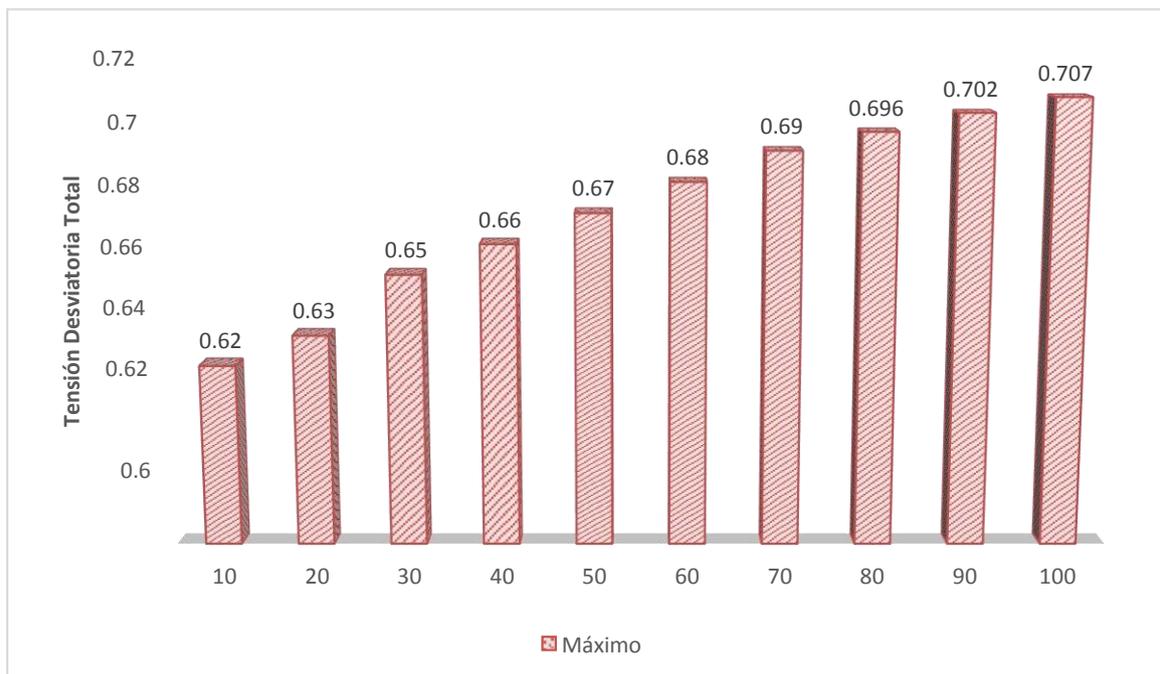
STEP	Máximo
10	0.9363×10^{-3}
20	0.9579×10^{-3}
30	0.9781×10^{-3}
40	0.9964×10^{-3}
50	1.012×10^{-3}
60	1.025×10^{-3}
70	1.036×10^{-3}
80	1.045×10^{-3}
90	1.053×10^{-3}
100	1.061×10^{-3}



Anexo 18.

Tabla 13. Tabla de Tensión Desviatoria Total

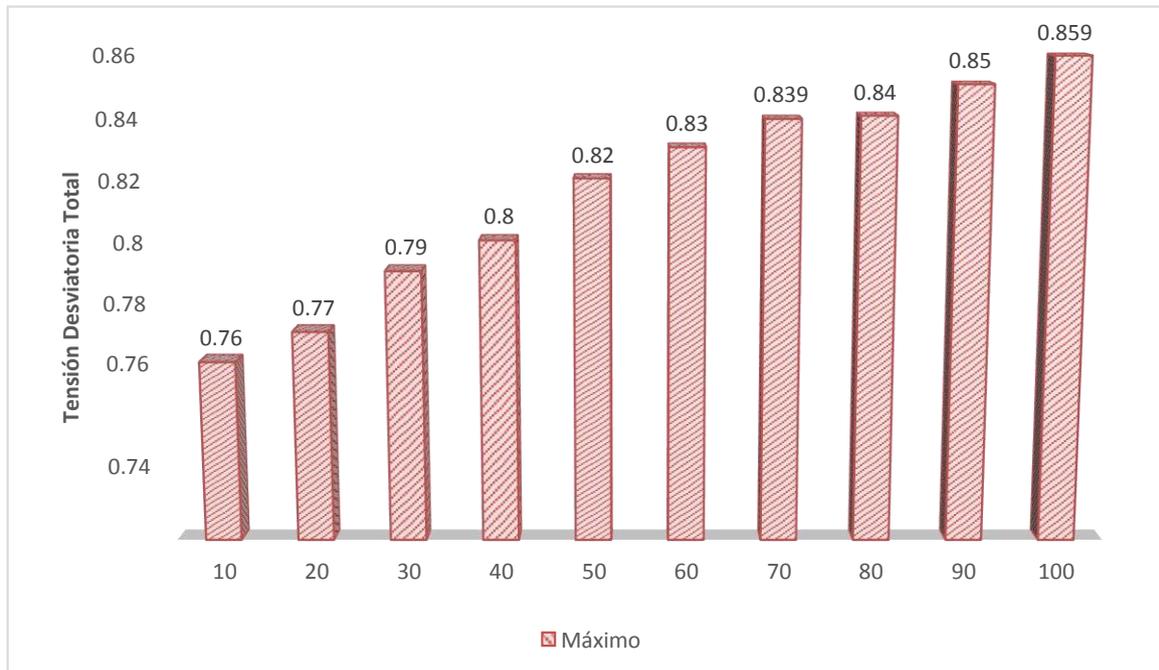
STEP	Máximo
10	0.6242×10^{-3}
20	0.6386×10^{-3}
30	0.6521×10^{-3}
40	0.6643×10^{-3}
50	0.6749×10^{-3}
60	0.6836×10^{-3}
70	0.6908×10^{-3}
80	0.6968×10^{-3}
90	0.7020×10^{-3}
100	0.7074×10^{-3}



Anexo 19.

Tabla 14. Tabla de Dirección de Deformaciones Principales

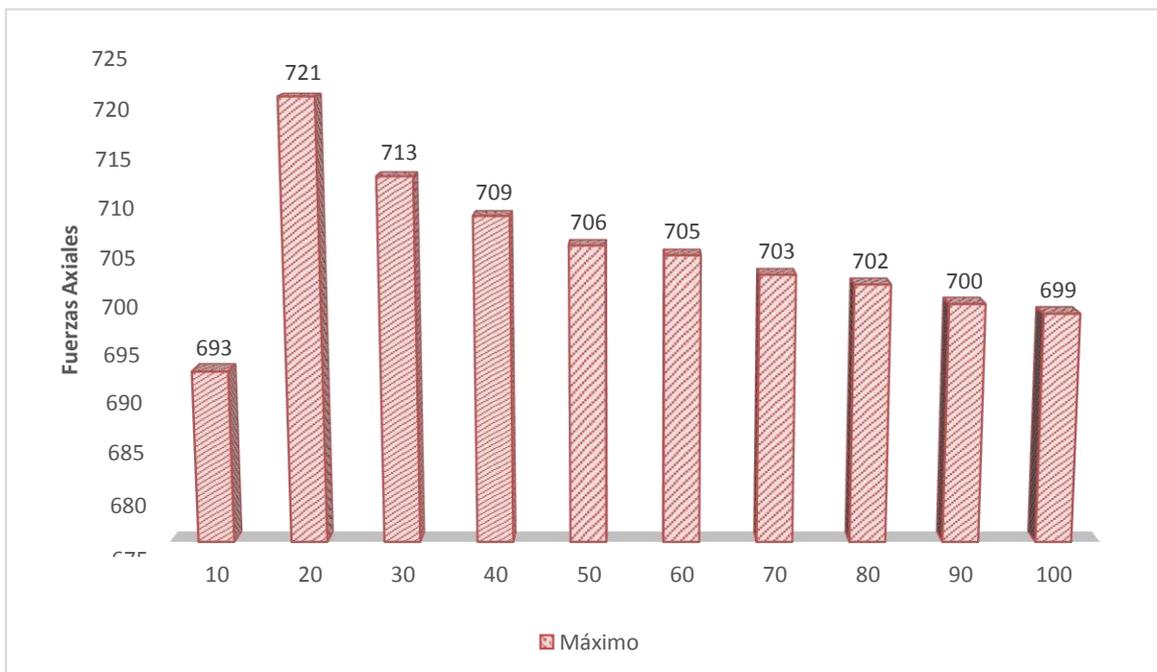
STEP	Máximo
10	0.7611×10^{-3}
20	0.7781×10^{-3}
30	0.7941×10^{-3}
40	0.8084×10^{-3}
50	0.8210×10^{-3}
60	0.8313×10^{-3}
70	0.8397×10^{-3}
80	0.8468×10^{-3}
90	0.8529×10^{-3}
100	0.8593×10^{-3}



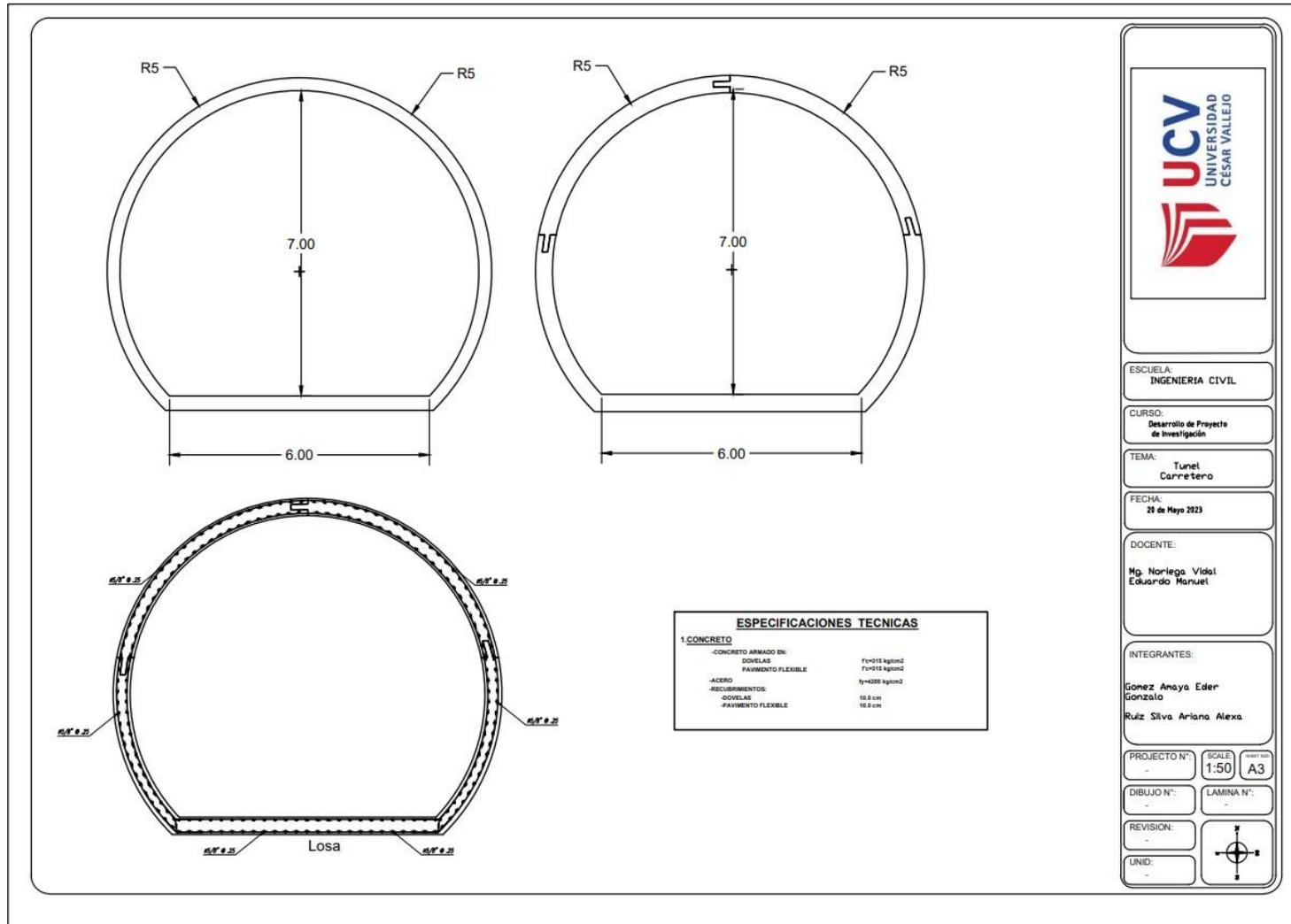
Anexo 20.

Tabla 15. Tabla de Fuerzas Axiales

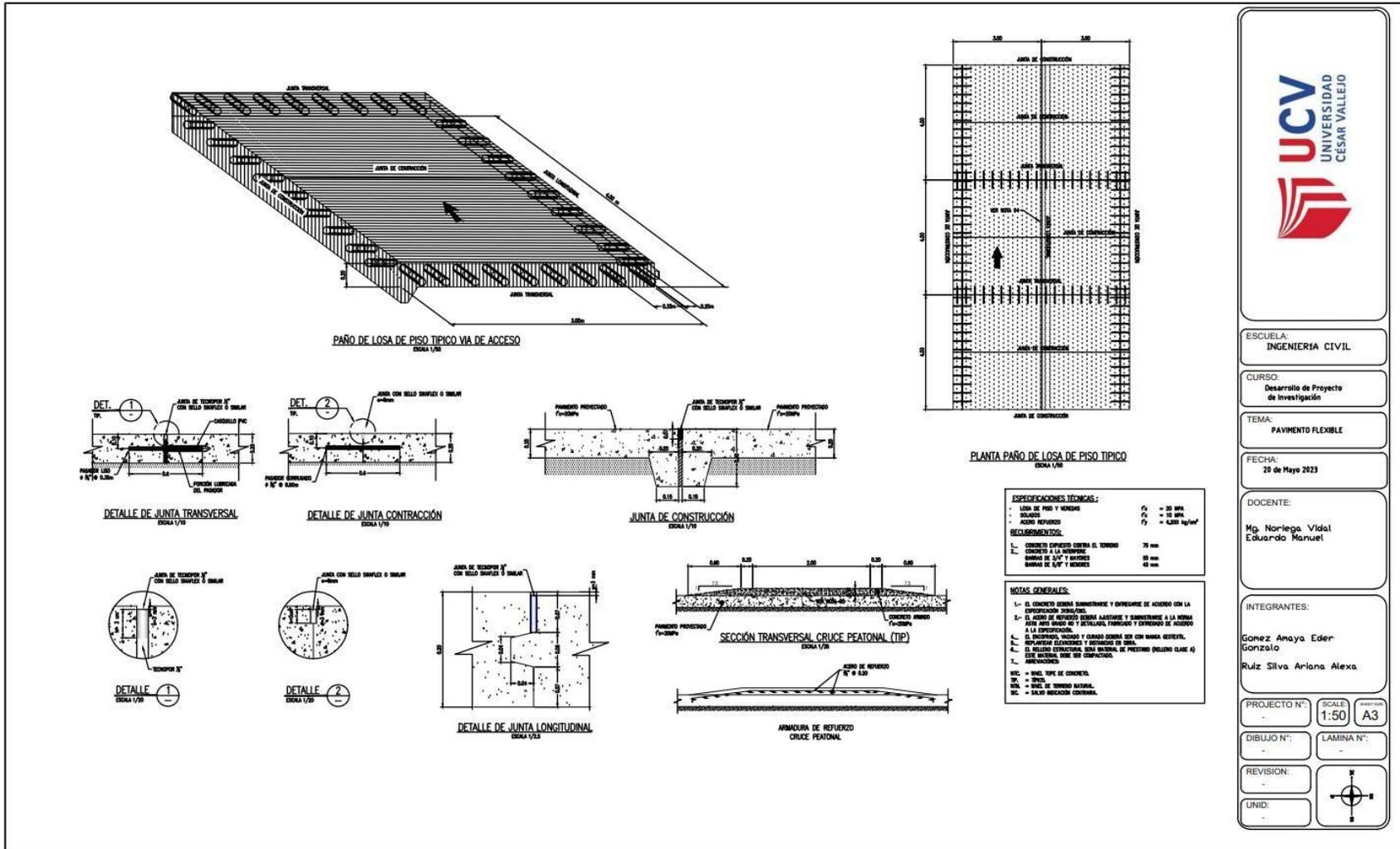
STEP	Máximo
10	693.0 KN/m
20	721.5 KN/m
30	713.6 KN/m
40	709.3 KN/m
50	706.8 KN/m
60	705.0 KN/m
70	703.6 KN/m
80	702.2 KN/m
90	700.8 KN/m
100	699.2 KN/m



Anexo 21. Túnel carretero



Anexo 22. Pavimento flexible



UCV
UNIVERSIDAD
CÉSAR VALLEJO

ESCUELA:
INGENIERÍA CIVIL

CURSO:
Desarrollo de Proyecto de Investigación

TEMA:
PAVIMENTO FLEXIBLE

FECHA:
29 de Mayo 2023

DOCENTE:
Mg. Noriega Vidal Eduardo Manuel

INTEGRANTES:
Gonzalez Amaya Eder Gonzalo
Ruiz Silva Ariana Alexa

PROYECTO N°: - SCALE: 1:50 A3

DIBUJO N°: - LAMINA N°: -

REVISION: -

UNID: -



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, NORIEGA VIDAL EDUARDO MANUEL, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Análisis de Dovelas en un Túnel Carretero Mediante Programa de Elementos Finitos, Trujillo 2022", cuyos autores son RUIZ SILVA ARIANA ALEXA, GOMEZ AMAYA EDER GONZALO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 30.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 24 de Julio del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
NORIEGA VIDAL EDUARDO MANUEL DNI: 43236142 ORCID: 0000-0001-7674-7125	Firmado electrónicamente por: ENORIEGAVI el 24- 07-2023 10:34:24

Código documento Trilce: TRI - 0613798