

**TECNOLOGÍA PARA PRODUCIR INFORMACIÓN ESPACIAL EN
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES VIALES EN
COLOMBIA**

JESSICA PAOLA FAJARDO CORTES



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2018**

**TECNOLOGÍA PARA PRODUCIR INFORMACIÓN ESPACIAL EN
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES VIALES EN
COLOMBIA**

JESSICA PAOLA FAJARDO CORTES

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

ALTERNATIVA: Trabajo de investigación

**Director
HEBERTO RINCON RODRIGUEZ
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2018**



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

BOGOTA D.C.

A mi familia,
que siempre me apoyaron
y estuvieron a mi lado.

CONTENIDO

TECNOLOGÍA PARA PRODUCIR INFORMACIÓN ESPACIAL EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES VIALES EN COLOMBIA

1	GENERALIDADES.....	15
1.1	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	11
1.2.	PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
2.	OBJETIVOS	13
3.	DELIMITACION, ALCANCES Y LIMITACIONES	14
3.1.	Alcances.	14
3.2.	Limitaciones.	14
4.	MARCO DE REFERENCIA.....	15
4.1.	MARCO TEÓRICO.	15
4.2.	MARCO CONCEPTUAL.	16
4.3.	MARCO HISTÓRICO.....	25
4.4.	MARCO LEGAL.	28
4.5.	ESTADO DEL ARTE.....	30
5.	METODOLOGÍA.....	31
6.	DISEÑO METODOLÓGICO	33
7.	RECOPIACION DE INFORMACION.....	34
8.	ETAPAS DE PROYECTOS EN TÚNELES.	37
8.1	ETAPA DE PLANEACION.....	41
8.2.	ETAPA DE ESTUDIO Y DISEÑO	46
8.3.	ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.....	49
8.4.	ETAPAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.	59
9.	PROCESOS EXISTENTES, GEOMATICA.	61
9.1	PROYECTO DE UN TUNEL.....	72
9.2.	TRABAJOS EN EL EXTERIOR.....	65
9.3.	REPLANTEO DE POZOS Y RAMPAS DE ATAQUE.....	67

9.4. REPLANTEO DEL TUNEL. METODOLOGIAS.....	70
10. PROCESOS CON TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA CAPTURA DE INFORMACIÓN ESPACIAL EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES	81
10.1. Herramientas (hardware) utilizadas.....	81
10.2. APLICACIONES (SOFTWARE) UTILIZADAS, FUNCIONES Y USOS.....	105
11. EXPERIENCIAS DE USO DE TECNOLOGÍAS.....	95
12. TECNOLOGÍA APLICADA Y APLICABLE, INFORMACIÓN ESPACIAL EN TÚNELES	98
13. CONCLUSIONES.....	110
14. RECOMENDACIONES.....	111
15. Bibliografía	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sección de túnel	22
Figura 2. Los túneles de carretera o autopista.....	23
Figura 3. Operacion de excavación con explosivos	26
Figura 4. Excavacion mecánica	27
Figura 5. Metodología de investigación	35
Figura 6 Total, de recopilación bibliográfica.....	38
Figura 7. Toda la información organizada por carpetas.	39
Figura 8. Información general	39
Figura 9. Información hardware.....	40
Figura 10. Información software.....	40
Figura 11. Mapa geológico	47
Figura 12. Mapa geológico	48
Figura 13.Apertura de frentes complementarias con ayuda de galerías auxiliares.....	60
Figura 14. Esquema del entibado temporal de las bóvedas	61
Figura 15. Perfil longitudinal	74

Figura 16. Perfil longitudinal	74
Figura 17. Enlace de puntos de enlace entre bocas	75
Figura 18. Perfil longitudinal por montera.....	77
Figura 19. Esquema de apertura de frentes de ataque intermedio.....	77
Figura 20. Replanteo en las boquillas.....	81
Figura 21. Esquema de la optimización del replanteo	81
Figura 22. Replanteo de los puntos básicos y de los intermedios	82
Figura 23. Regletas de centraje.	83
Figura 24. Replanteo de puntos intermedios	83
Figura 25. Esquema de la poligonal base para el replanteo doble	84
Figura 26. Red de control	85
Figura 27. Replanteo expedido en el frente	86
Figura 28. Placa con orificio.....	87
Figura 29. Esquema sistema de control ZED.....	88
Figura 30. Estacion total	90
Figura 31. Escaner láser	91
Figura 32. Tromino para monitoreo de vibraciones.....	91
Figura 33. Geo radar para medición de espesores de hormigón	92
Figura 34. Teodolito mina	93
Figura 35. Teodolito giroscópico.....	94
Figura 36. Niveles ópticos.....	95
Figura 37. Niveles digitales electrónicos.....	96
Figura 38. Localizadores y transmisores de señal	96
Figura 39. Extensómetros	97
Figura 40. Software trimble realworks.....	101
Figura 41. Software Trimble realworks s	103
Figura 42. Tcp Scancyr para túneles	104

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Información de hardware y software utilizada en túneles de Colombia.	106
Tabla 2. Información de hardware y software utilizada en túneles de Colombia	
Presupuesto general del proyecto	109

1. GENERALIDADES (INTRODUCCIÓN)

Este trabajo se fundamenta a partir de la matemática, la geometría, la trigonometría, la física, así poder establecer mediante el hardware y software disponible para la información espacial que se requiere en la construcción de túneles en Colombia.

Se planteó el desarrollo del trabajo en 4 fases, las cuales consistieron en realizar: una exploración bibliográfica de diferentes medios como, revistas, libros, catálogos, sitios web, entre otros.

También se investigó sobre los procesos existentes de hardware y software en los proyectos de túneles de varios países como España, México, Perú, Chile, Colombia, entre otros.

Se realizaron entrevistas a algunos expertos que han realizado trabajos constructivos de túneles y tienen conocimientos acerca de la tecnología implementada en la construcción de estas obras en Colombia.

Por ultimo con la información recolectada se realizó unas tablas donde se puede evidenciar que tecnologías se utilizan en cada etapa del desarrollo del proyecto de túneles y cuál de estas tecnologías son utilizadas en Colombia.

El trabajo recurre a una información de tecnologías disponibles y las experiencias en Colombia junto a la perspectiva para el uso de tecnologías en un futuro en el desarrollo de información espacial en la etapa de construcción de túneles en Colombia.

Con esta investigación se busca evidenciar la importancia y ventajas que tiene el uso tecnología para producir información espacial en proyectos de construcción de túneles viales en Colombia

1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

En el campo de la práctica y formación profesional de la ingeniería civil se realiza el desarrollo de proyectos viales, se relacionan las vías vehiculares, vías peatonales, vías férreas, en las que se incluyen obras de arte como puentes y de forma específica los túneles, aquí se muestra el interés para investigar con este trabajo desde la ingeniería ya que generalmente no es un área que tenga profundización en el pensum de las universidades colombianas.

Respecto a esto en Colombia se han desarrollado obras de infraestructuras de túneles como; el Túnel del Boquerón (1999) ubicado entre Bogotá-Villavicencio, Buenavista (2002) ubicado entre Bogotá-Villavicencio, Túnel de Occidente (2006) ubicado entre Medellín-Urabá, Túnel de Sumapaz (2010) ubicado entre Girardot-Bogotá, Túnel de Daza (2012) ubicado entre Pasto-Rumichaca-Chachagüí, Túnel de La Línea (actualmente) Ibagué-Calarcá. (ELTIEMPO, 2).

Algunos métodos que se han implementado para la construcción de estos túneles involucran el proceso convencional de excavación que se encuentra en el manual para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de túneles de carretera de la Universidad de Quindío, también existen otros métodos ya empleados en la construcción de túneles de nuestro país como son: el método austriaco implementado en el túnel de buena vista y en el túnel la línea y otros métodos que no son tan utilizados en nuestro país como son el método belga, frente completo, método alemán, entre otros.

De estos túneles que se han desarrollado en los últimos 20 años es interesante no solamente la obra real y los datos de presupuesto, surge el interés por realizar análisis respecto a la tecnología existente en cuanto a Hardware y Software, que posibilidades o usos se desarrollan para la información espacial necesaria en la etapa de construcción teniendo en cuenta que está es una parte muy importante del trabajo referente a la labor del Ingeniero civil.

1.2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el contexto de desarrollo de los túneles en Colombia, no se encontró un documento que exponga específicamente las tecnologías, actividades y las acciones que se realizan para conseguir información espacial en la etapa de construcción con el fin de determinar el seguimiento y control de los procesos, en esto se vincula el hardware y software para lograr información espacial, siendo esto un producto necesario por conocer, se plantea la siguiente pregunta para este proyecto.

¿Qué tecnologías pueden ser aplicables para la captura de información espacial en la construcción de túneles en Colombia?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general.

Conocer y describir la tecnología aplicable para la adquisición de información espacial en la construcción de túneles viales vehiculares en Colombia.

2.2. Objetivos específicos.

- Realizar una recopilación bibliográfica de la tecnología aplicable a los procesos de construcción en los túneles para la información espacial que requiere la ingeniería civil usando el hardware y software.
- Conocer mínimo cuatro procesos realizados, para conseguir información espacial en los túneles viales en Colombia entre 1999 a 2017 por parte de los profesionales que participaron en los proyectos.
- Describir las tecnologías aplicables, sus usos, ventajas y perspectiva en el trabajo realizado en Colombia.

3. DELIMITACION, ALCANCES Y LIMITACIONES

3.1. Alcances.

El presente trabajo abarcó la información espacial básica para el trabajo de la Ingeniería en la etapa de construcción de túneles respecto a los datos de ejecución, topografía con referencia a presupuesto, eficiencia y gerencia aplicada en la construcción mediante las aplicaciones de la Geomática usando herramientas de hardware y software.

3.2. Limitaciones.

El trabajo se desarrolló en un tiempo de 120 días, iniciando el 22 de enero de 2018 y finalizando el 21 de mayo de 2018, por lo cual el contenido del trabajo será considerado como un acercamiento preliminar al tema.

La disponibilidad de los entrevistados, escogidos para recibir su aporte para el logro del segundo objetivo específico respecto a la construcción de los últimos túneles de Colombia, se realizó con cuatro (4) profesionales.

Debe considerarse que no toda la tecnología que existe a nivel mundial ha estado o está disponible en Colombia, por tanto, se tiene que trabajar con el rango de la tecnología que existe y las perspectivas tecnológicas disponibles para el desarrollo de este trabajo.

4. MARCO DE REFERENCIA.

4.1. MARCO TEÓRICO.

Este trabajo se enmarca en la teoría que acompaña el estudio físico matemático del espacio mediante mediciones del terreno con información de direcciones, ángulos y distancias que permitan el posicionamiento en altimetría, planimetría y en las tres dimensiones de los diferentes puntos que sean importantes para el desarrollo del proyecto; Para este uso, son importantes los siguientes procesos.

El campo de la matemática explica las ecuaciones y la teoría de control, la optimización y el análisis numérico, las matemáticas discretas y la informática. Con estas herramientas se puede traducir los problemas a un lenguaje matemático, solucionar numéricamente con la ayuda del computador, y obtener información cualitativa y cuantitativa de los problemas. (FCFM, 2017)

Hacer un proyecto de ingeniería introduce en el ambiente una alteración espacial como: volúmenes, superficies, líneas y sus articulaciones plásticas y cromáticas concurren juntas al crear ideas que se plasmarán en una realidad concreta. La geometría es muy importante, ya que es esencial para economizar la edificación con el ahorro de materiales, al tener menos desperdicio y aprovechar mejor cada material. (Castro, 2013)

Para formular el esquema del proyecto, el ingeniero debe tener un medio de representación preciso y fiable. Esto lo proporciona la Geometría Descriptiva y, sobre todo, la Geometría Euclídea, aunque también recibe ayuda de otra geometría, la Geometría Proyectiva, que es la base de la descriptiva. Por esto, las leyes de la Geometría son la primera y la última justificación de todo proyecto, desde la idea inicial hasta la composición y ejecución final. (Moratalla, 1998)

El sistema de Geometría Dinámica deja trabajar con objetos geométricos considerados de varios modos:

- 1- En Geometría Analítica con entes geométricos dados por sus coordenadas y ecuaciones.
- 2- En Geometría Sintética con entes geométricos determinados a partir de los puntos con los que inicia la configuración, pero sin hacer uso de ecuaciones.

3.- En Geometría Intuitiva los entes geométricos incorporados gráficamente. (Moratalla, 1998)

Para este proyecto es importante la trigonometría y la física para la captura, registro, proceso y representación de la información.

La trigonometría sirve para la realización del levantamiento y trazo en un terreno, esto permite conocer las tipologías físicas, las divergencias de altura de los diferentes relieves y los elementos que la componen; esto para organizar el trabajo y poder componer a la perfección. (Elliot, 2003)

La física da alternativas para la medición espacial mediante el uso del rayo infrarrojo, de luz visible con reflejo directo que, junto a la información de unas imágenes, hace modelos de realidad que suponen lo real para lograr el seguimiento, la construcción y mantenimiento de la información espacial con las posiciones de algunos elementos.

4.2. MARCO CONCEPTUAL.

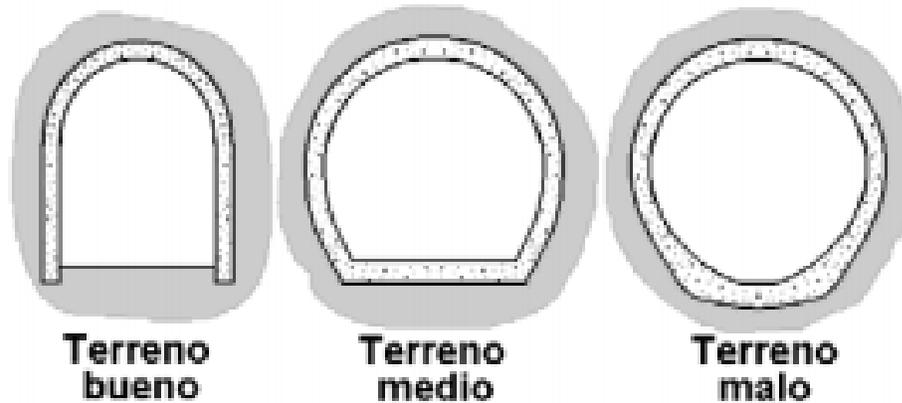
Se puede verificar que un túnel es una obra civil complicada para la ingeniería, en específico por los peligros geológicos, hidrogeológicos y ambientales que sufre su excavación en terrenos cuya naturaleza es insostenible de manera anticipada conocer y caracterizar con toda propiedad. Para poder realizar un proyecto con bajos riesgos y sobrecostos es necesario tener unos buenos diseños, contar con un constructor y una interventoría competentes, pero algo muy importante es tener unas explicaciones técnicas flexibles, que permitan adecuar los diseños a las situaciones del terreno encontradas mientras se hacen las excavaciones. Para que esto último sea posible es necesario tener un comité de acompañamiento técnico de obra, conformado por profesionales de alto nivel profesional. (López, 2015)

La construcción de un túnel suele presentarse motivada por la topografía del terreno, en varias ocasiones resulta más barato perforar un túnel que rodear un determinado obstáculo, lo que exigiría a un trazado de más longitud y mayores costos.

Las características de cada túnel están en manos de su función, de la proporción topográfica, del tipo de terrenos a atravesar y del método de excavación nominado:

- Los tipos de excavación son diversos, se utilizan máquinas tuneladoras a sección completa, explosivos o excavación en zanja que luego se rellena, para poder escoger el método dependerá de la naturaleza de los terrenos a atravesar y de los capitales económicos de que se tengan. (Sena, 2005)
- Para la realización del trazado del túnel obedecerá de la ordenación topográfica y de la función del mismo. Dependiendo de ésta logramos encontrarnos con determinadas limitaciones en el trazado, referentes a la pendiente, al radio de las curvas, etc.
- En la sección del túnel está en manos de del estudio geológico antepuesto, de la profundidad y de la función del mismo (figura 1). Estos componentes condicionan, también el revestimiento a emplear para que la obra pueda resistir las presiones del terreno. (Sena, 2005)

Figura 1. Sección de túnel.



Fuente: (Sena, 2005)

Para los túneles de carretera o autopista (figura 2) suelen mostrar sección circular, pero en ocasiones se optan secciones de otro tipo. Por lo normalmente van revestidos y disponen de métodos de ventilación y drenaje, de control y de iluminación y vigilancia. En momentos, disponen de áreas de parada. Normalmente que sea posible se opta el trazado en línea recta. La pendiente debe ser bastante para permitir la evacuación de las aguas por gravedad. En los casos, la pendiente máxima estará condicionada por las prohibiciones del tipo de transporte a que se destina. Por esto, si la divergencia de nivel entre sus extremos es grande, puede ser mejor elegir un trazado en curva para aumentar la distancia y minimizar, por tanto, la pendiente. (Sena, 2005)

Figura 2. Los túneles de carretera o autopista



Fuente: (Sena, 2005)

Se tienen diferentes métodos clásicos disponibles en la perforación de túneles y que están fundamentalmente en algunas secuencias de excavación:

- Método Inglés:

Este método tiene este nombre ya que se utiliza en túneles aplicados en tipo de terreno localizado en Inglaterra, que tienen arenas y areniscas.

Su peculiaridad es proceder el progreso de la perforación a sección completa del túnel, en una sola operación.

- Método Belga:

Se determina por la progresiva excavación de los elementos que componen el túnel, de esta forma se va retirando los elementos más firmes del túnel impidiendo el hundimiento o la falta de duración del frente. (Piqueras, 2013)

- Método Alemán:

En este método se procede alcanzando el sistema de los núcleos central.

- Método Alemán Modificado:

Este método es utilizado en la operación de perforación del túnel a través de un terreno muy firme, pero que puede surgir la aparición de agua, lo que puede generar que se divida en 4 etapas de frente.

- Método Austríaco:

Se realiza un plan de trabajo basado en manejo puntual de madera formando un sistema de entibación.

- Método Italiano:

Este método extrae solo el medio arco más la galería central por esto se retira la marina, después se concreta el medio arco, luego se retira el resto del material por zonas y se van colocando los muros. (Ministerio de Obras Públicas, 2010)

- Método norteamericano:

Primero se realiza una excavación en galería superior en el coronamiento del túnel, que se pone en listones de avance, postes y cabezales, después, se agranda la excavación entre dos pórticos y se colocan los segmentos del arco superior inmediatos al coronamiento y apoyado por postes y puntales extra. Se hacen bancos de excavación a lo largo de los lados y se coloca otro segmento de las costillas a cada lado. Se juntan con pernos las costillas a la parte superior y se soportan con una solera temporalmente. Este método se utiliza en terrenos razonablemente firmes. (Rojas, 2010)

- Método TBM (Tipo Escudo o Topo):

Este método se utiliza en terrenos blandos, no cohesivos, compuestos de arena suelta, grava o limo y todo tipo de arcilla, o en mezcla de algunos de ellos. Es importante estar debajo del nivel freático. (Rojas, 2010)

- Método de derivadores:

Para la perforación de un túnel grande, puede ser bueno perforar un túnel pequeño, llamado derivador, a través de una porción de la longitud del túnel, antes de excavar todo con el taladro. Los derivadores, pueden dividirse como centrales, laterales, inferiores o superiores, dependiendo de su posición con respecto al taladro principal. (Rojas, 2010)

- Método de terrazas:

El método de terrazas se realiza para la perforación de un túnel, involucra la perforación de la porción superior del túnel antes de perforar la parte inferior. (Rojas, 2010)

Es necesario que todos estos métodos deben tengan un control de excavación, pero es difícil, por no decir imposible, que la sección obtenida se iguale a la de proyecto.

Aunque se realice con prudencia la perforación del recorte y la disposición de carga del explosivo o la excavación con medios mecánicos, es necesario conseguir una sección que en la mayoría de los casos presente un exceso de excavación y en el caso de producirse desprendimientos localizados, este exceso simbolizará un mayor volumen difícil de prever con anterioridad. (Austria, 2008)

El estado del terreno es importante a la hora de seleccionar los métodos de trabajo más apropiados, elegir la entibación más adecuada y limitar las sacudidas de las voladuras de arranque y los asientos superficiales bajo las aglomeraciones urbanas.

Es necesario tener en cuenta la probable evolución de las presiones del terreno si hay que mantener durante un período bastante largo el desequilibrio debido a la obra.

Para que sea más rápido el ciclo de las voladuras, se utilizan los súper martillos sobre jumbos, perforando un esquema de tiro con tapón canadiense; este consigue una mejora de avance por voladura, reduciendo al mismo tiempo el número de taladros y el empleo de explosivo por metro de avance. (VIÉ, 1971)

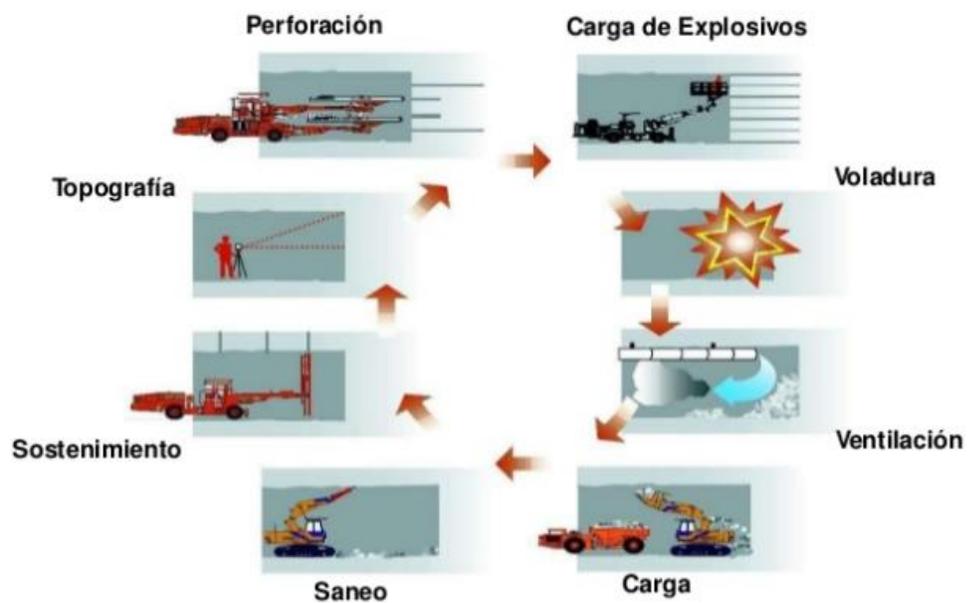
Los métodos constructivos se clasifican en cuatro grupos, que se describen a continuación:

- Excavación con explosivos:

Hace varios años ha sido el método más empleado para excavar túneles en roca de dureza media o alta, también se conoció como Método Convencional de Excavación de Avance de Túneles. La excavación se hace en base a explosivos, su uso adecuado, en cuanto a calidad, cantidad y manejo es muy importante para el éxito de la tronadura y seguridad del personal, generalmente se usa dinamita. La excavación mediante explosivo se compone de las siguientes operaciones y se muestra en la figura 3.: (Ministerio de Obras Públicas, 2010)

- Perforación
- Carga de explosivo
- Disparo de la carga
- Evacuación de humos y ventilación
- Saneo de los hastiales y bóveda
- Carga y transporte de escombros
- Replanteo de la nueva tronadura

Figura 3. Operación de excavación con explosivos



Fuente.: (Iopez, 2015)

- Excavaciones mecánicas con Máquina:

La excavación se avanza con máquinas rozadoras; con excavadoras, generalmente hidráulica – brazo con martillo pesado o con cuchara, sea de tipo frontal o retro-; con tractores y cargadoras (destrozadoras) e, incluso, con herramientas de mano, generalmente hidráulicas o eléctricas. (Ministerio de Obras Públicas, 2010)

- Excavación mecánica con máquinas integrales no presurizadas:

Este método se hace a sección completa empleando las máquinas integrales de primera generación o no presurizadas. Algo común es que, en general, la

sección de excavación es circular. (Ministerio de Obras Públicas, 2010)

- Excavación mecánica con máquinas integrales presurizadas:

La baja competencia del terreno suele relacionarse a casos de alta inestabilidad y presencia de niveles freáticos a cota superior a la del túnel, la primera solución aplicada a los escudos mecanizados abiertos para trabajar en estas condiciones fue la presurización total del Túnel. (Ministerio de Obras Públicas, 2010)

Figura 4. Excavación mecánica



Fuente: (Hung, 2016)

El desarrollo tecnológico en materia de equipos de medición experimentada durante la última década del pasado siglo, ha permitido implantar unos sistemas de control geométrico en obra subterránea que anteriormente eran poco menos que inimaginables, para realizar los procesos anteriores son utilizados los siguientes instrumentos y maquinaria:

- TEODOLITO DE MINA:

Estos son diseñados para trabajar dentro de galerías subterráneas, el uso queda exclusivo a tareas de topografía minera, pues todas las tareas de observación y replanteo en un túnel pueden ser efectuadas con instrumental de tipo convencional. (González, Patricia , 2004)

- **TEODOLITO GIROSCÓPICO:**

Uno de los problemas que se presenta a la hora de trabajar dentro de una galería subterránea es el de la orientación de los trabajos con relación a un sistema de referencia, ya que se tiene de transmitir la orientación desde el exterior a cielo abierto al fondo de un pozo o a una galería. Este teodolito determina la dirección de la meridiana y obtiene la latitud de un punto. (González, Patricia , 2004)

- **ESTACIONAMIENTOS ESPECIALES:**

Esto permite poner el instrumento en forma atípica y así poder determinar coordenadas espaciales, para esto se tienen consolas, plataformas de ajustes y regletas de ajuste.

- **EMISORES “LÁSER”:**

El emisor laser es utilizado cuando se realiza perforación mediante un escudo, ya que se puede calcular en el espacio la trayectoria del proyecto.

- **PLOMADAS “CENIT-NADIR”:**

Este instrumento se utiliza para mostrar puntos en una visual vertical, esto se utiliza mucho en el replanteo de edificio, galerías, entre otros.

- **PLOMADAS DE GRAVEDAD (MECÁNICAS):**

Uno de los problemas de la plomada es la oscilación ya que cuanto más largo sea el hilo, mayor va ser la oscilación, Para evitar esto es necesario aumentar el peso de la plomada.

- **PLOMADAS ÓPTICAS:**

En el momento de realizar la transferencia hacia el cenit o hacia el nadir, hacia arriba o hacia abajo, Es necesario tener alta precisión, es necesario

utilizar medios más exactos que los anteriores mencionados. (González, Patricia , 2004)

- OCULARES ACODADOS:

Estos oculares son necesario para realizar lecturas cenitales junto a la vertical, esto se utiliza en el replanteo para una posición normal del operador.

- MIRAS ESPECIALES “INDUSTRIALES”:

Estas miras son utilizadas en galerías subterránea con espacio angosto y se utilizan regatones para su estacionamiento sobre diferentes señales.

- PERFILÓMETROS:

Se utilizan en galerías de túneles revestidas o escavadas para obtener perfiles transversales. (González, Patricia , 2004)

Desde hace poco tiempo se ha implementado el uso de software, se encuentran desarrollos en aplicaciones como:

- STRATO:

Este es un software que realiza el diseño de túneles, administrando las secciones teóricas de un túnel a efectos contables. Estas se incorporan a las secciones medidas. Se utilizan para calcular para las áreas y volúmenes de sub-corte y sobre-corte de las secciones en paralelo con las secciones teóricas, con su indicación contable.

- TOPOGRAPH:

Cuenta con herramientas para la adquisición de datos topográficos procedentes de diferentes fuentes, Algunos de ellos son: colectores de datos, la mayoría de las estaciones totales del mercado, documento de texto en ASCII, convertidos de la topGRAPH 98SE, además anotaciones manuales.

- CARTOMAP:

Este software sirve para la representación de sondeos geotécnicos incluyendo posición y lista de materiales y espesores, Además realiza modelos geotécnicos del terreno, listado de sondeos, listado de volúmenes y vista 3D con control de opacidad/transparencia del modelo, de cada material y de las partes afectadas por los sondeos.

4.3. MARCO HISTÓRICO.

Desde hace mucho tiempo el hombre ha contemplado la construcción de túneles como alternativa para superar obstáculos de la naturaleza y brindar soluciones a las necesidades de una población en tanto tiempo y economía.

Se encontró que los túneles más antiguos construidos por el hombre se realizaron en la civilización egipcia, quienes realizaron galerías subterráneas para ingresar a las tumbas de los faraones. (González, Patricia , 2004)

También los romanos estudiaron que los túneles solucionaban el problema de conducciones de agua y alcantarillado, convirtiéndose en los primeros en hacer construcciones de obras de saneamiento.

Más adelante en la Edad Media se hacían túneles, pero para vías de salida de emergencia de los castillos fortificados y también para los accesos a criptas de monasterios.

Como tal los túneles de vías de comunicación se empezaron a realizar en tiempos del Imperio Napoleónico, se construían en los Alpes, pero en cualquier caso, de dimensiones reducidas. (Topografía aplicada a la excavación de túneles, 2004)

Pero en el momento que se empezaron a realizar más los túneles fue en el siglo XIX, donde se hizo la aparición del ferrocarril, esto obligó a los ingenieros a evaluar los obstáculos naturales.

En nuestro país como tal la historia de los túneles inicio a mediados de 1950 y 1960 en el departamento del Valle del Cauca, específicamente en la vía Loboguerrero – Buenaventura, en donde se construyeron 5 túneles con longitudes entre 85 y 480 m, estos se pusieron en servicio en 1966, para comunicar el valle del río Cauca con el Pacífico, atravesando la cordillera occidental por el cañón del río Agua, Actualmente estos túneles se utilizan en el proyecto Loboguerrero – Cisneros. (COLOMBIA, UN PAÍS DE TÚNELES, 2016)

Más adelante se hicieron 15 túneles con longitudes entre 90 y 1.600 m en la vía Guateque, departamento de Boyacá, estos pasaban por la cordillera oriental con la finalidad de construir la hidroeléctrica conocida como Chivor.

Después entre los años 1993 y 1995 se construyó el túnel la Llorona (435 m) en la carretera que conduce de Medellín al Golfo de Urabá. Posteriormente en la carretera entre Neiva y Florencia (Huila y Caquetá) se construyeron 4 túneles con longitudes entre 171 y 421 m.

También, por la carretera Bogotá – Villavicencio se desarrolló la construcción de túneles de altas especificaciones técnicas innovando en los sistemas de operación. Uno de los más importantes fue el túnel Bijagual (185 m), que pasa por la cordillera oriental, fue el precursor del sueño de comunicar Bogotá con el llano en 1995. Seguido a Bijagual, el túnel Argelino Durán (también conocido como el túnel del Boquerón), de 2.405 m de longitud y cuya construcción terminó en 1999, así como el túnel Misael Pastrana Borrero (Buenavista), uno de los más largos en su momento con 4.520 m de longitud, puesto en servicio en el año 2002, mejoraron la comunicación vial entre la capital de la República y la capital del Meta (COLOMBIA, UN PAÍS DE TÚNELES, 2016)

Colombia en el año 2002 contaba con 33 túneles que sumaban 18 km de longitud, Estos fueron suficientes para que las empresas nacionales tuvieran un proceso de aprendizaje e iniciaran con los propios retos de ingeniería y la construcción de nuevos proyectos de túneles.

En Antioquia para el 2005 se realizó el túnel Fernando Gómez Martínez, conocido como el túnel del occidente este tiene una longitud de 4.603 m, siendo el túnel carretero más largo de la época.

En el departamento de Risaralda en los años 2008 y 2010 se hizo el túnel Helicoidal, que va de Pereira con Manizales, este se encuentra en el par vial Dos Quebradas a Santa Rosa de Cabal, con 125 m de longitud. (COLOMBIA, UN PAÍS DE TÚNELES, 2016)

El túnel de la línea que va de Bogotá – Buenaventura, fue uno de los más importantes por su complejidad, condiciones climáticas y por los antecedentes históricos. Primero se realizó túnel piloto o túnel de rescate, este contaba con una longitud de 8 Km, después se inició como tal con el túnel de la Línea, se esperaba finalizar en el 2017, pero ha presentado algunas complicaciones.

Colombia cuenta con una historia de cincuenta años y un centenar de túneles a lo largo y ancho del país, Se puede nombrar como uno de los países que tiene desarrollo en esta obra. (COLOMBIA DE TÚNELES: TÚNELES CARRETEROS, 2016)

4.4. MARCO LEGAL.

La realización de Túneles de Colombia se debe basar en la normativa colombiana que es la siguiente:

- La ley que se aplica en la etapa de diseño es la Ley 05 de 1993 ("Por la cual se dictan disposiciones básicas sobre el transporte, se redistribuyen competencias y recursos entre la Nación y las Entidades Territoriales, se reglamenta la planeación en el sector transporte y se dictan otras disposiciones") (senado, 2005) Se tiene en cuenta esta ley puesto que los túneles hacen parte de la infraestructura de transporte a cargo de la nación. (JUAN, 2015).
- Para el diseño, construcción y operación, tenemos la Ley 223 del 2013 ("Medidas y disposiciones para proyectos de infraestructura de transporte").

También tenemos Decretos nacionales de regulación nacional aplicables a proyectos de infraestructura vial que son:

- Código nacional de tránsito No. 1344 de 1970.

Resoluciones emitidas por el Ministerio de transporte:

- Manual de diseño geométrico de carreteras No. 1400 de 2000
- Manual de diseño de cimentaciones superficiales y profundas para carreteras No. 1049 de 2013.

Resoluciones emitidas por el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

- Estudio de impacto ambiental para la construcción de túneles y sus accesos y se adoptan otras determinaciones. No.1283 de 2006.
- Diagnóstico ambiental de alternativas para proyectos puntuales y se adoptan otras determinaciones. No. 1255 de 2006.

4.5. ESTADO DEL ARTE.

Se encontraron algunos informes y documentos sobre la construcción de túneles que sirvieron además de fuente de información para guiar esta investigación, como el trabajo de grado “Estado del conocimiento de los procesos constructivos en proyectos tuneleros dentro del contexto colombiano” (Rodríguez., 2016).

También está la tesis “Construcción de túneles” de la universidad Austral de Chile, la cual detalla cuáles son las funciones y características que diferencian a cada uno de los tipos de túneles, para después continuar con la construcción de estos, los estudios preliminares, métodos de perforación y las operaciones básicas en la construcción. (SAAVEDRA, 2004)

El Trabajo de grado para optar al título de Magister en Infraestructura Vial “Diseño y construcción de túneles de ladera: Colombia” en el cual analiza las diferentes metodologías de diseño usadas en la actualidad y la identificación de las problemáticas que se presentan en condiciones geotécnicas desfavorables para la estabilidad de la excavación y de los túneles de ladera. (Diana Arias, 2016)

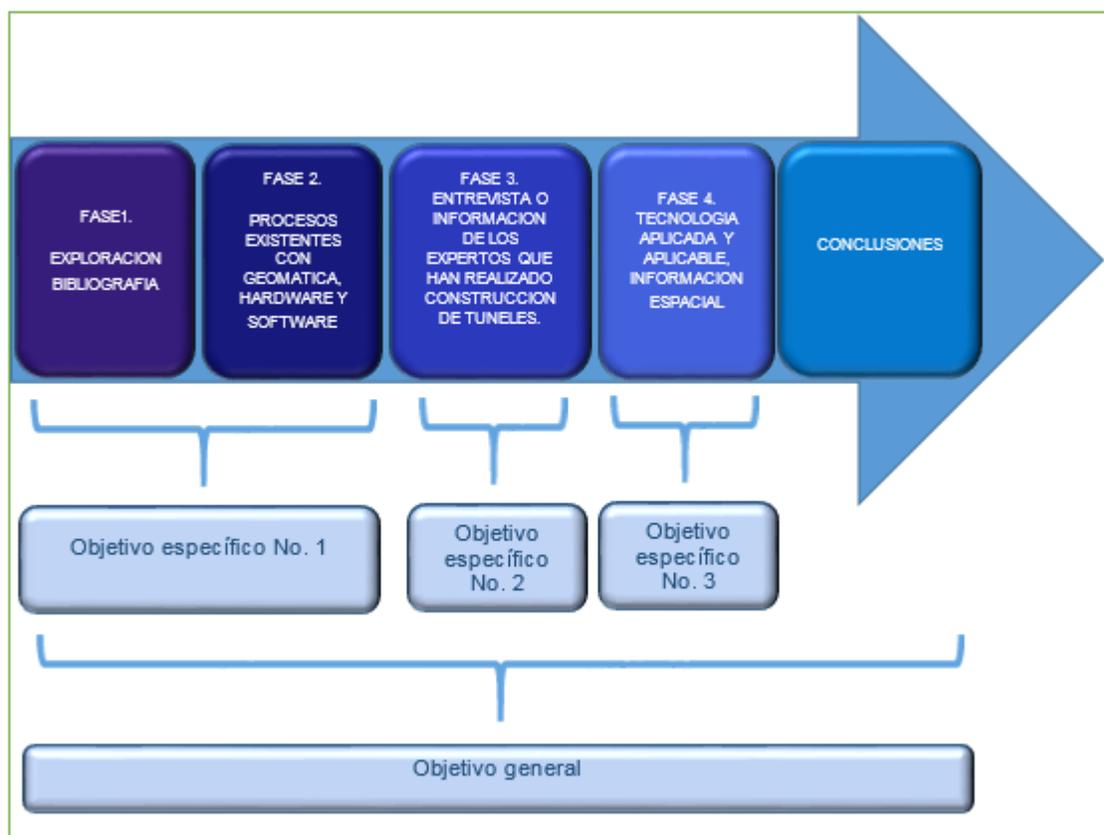
El Trabajo de grado “Procesos constructivos para túneles viales desarrollados en Colombia” en el cual estudia la construcción de túneles viales en Colombia considerando la geología, evolución y avances tecnológicos. (PINEDA, 2016)

Estos estudios expuestos anteriormente sobre la construcción de túneles en Colombia, tienen información específica y general, pero tienen grandes vacíos sobre la tecnología actual y la tecnología de punta para lograr información y datos espaciales, sobre cómo se aplica y el proceso con el cual se puede utilizar esta tecnología mediante la aplicación de la Geomática durante la construcción de túneles en Colombia, que es lo que se desea brindar con este trabajo.

5. METODOLOGÍA

Este trabajo se realizó mediante una metodología con un enfoque investigativo bibliográfico, cualitativo y descriptivo cuantitativo respecto a la nueva tecnología utilizada en la construcción de túneles en Colombia, se realizaron cuatro fases, que a continuación se describen con sus actividades:

Figura 5. Metodología de investigación.



Fuente: Propia.

Fase 1: Exploración bibliográfica

- Consistió en la búsqueda de información sobre tecnologías pueden ser aplicables para la captura de información espacial en la construcción de túneles en Colombia.

Fase 2: Procesos existentes en hardware y software

- Se revisó la información de las aplicaciones de software existentes en la construcción de túneles, sus funciones y usos.
- Se investigó sobre las diferentes herramientas de hardware que se utilizan actualmente para la construcción de túneles.

Fase 3: Entrevista o información de los expertos que han realizado trabajos constructivos de túneles.

- Se realizaron entrevistas a los expertos, indagando sobre los instrumentos, aplicaciones y métodos fueron utilizados para la construcción de túneles.

Fase 4: Tecnología aplicada y aplicable, información espacial

- Se realizó un estudio mediante la descripción del uso de tecnología y la perspectiva de nueva tecnología.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

En este trabajo se realizará mediante una metodología con un enfoque investigativo bibliográfico, cualitativo y descriptivo cuantitativo respecto a la nueva tecnología utilizada en la construcción de túneles en Colombia. La investigación se realiza por medio de documentos, informes y libros de diferentes ciudades tanto nivel nacional como internacional, revisando la información espacial para el proceso de construcción de un túnel.

También se realizó entrevistas a diferentes ingenieros que han trabajado en algunos proyectos en Colombia.

Con toda la información obtenida se recopila y realiza cuadros comparativos según cada etapa del proyecto.

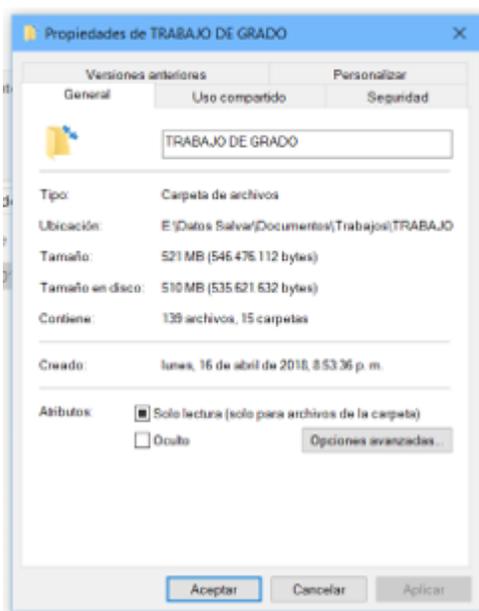
7. RECOPIACION DE INFORMACION

Se realizó una gran recopilación de información bibliográfica para el desarrollo de este trabajo, en total se utilizaron 139 archivos, 510MB, los cuales se organizaron según su importancia y temas del proyecto.

Se adjunta en el CD esta información recopilada.

En la figura 6. se muestra la totalidad de archivos utilizados para el desarrollo del trabajo.

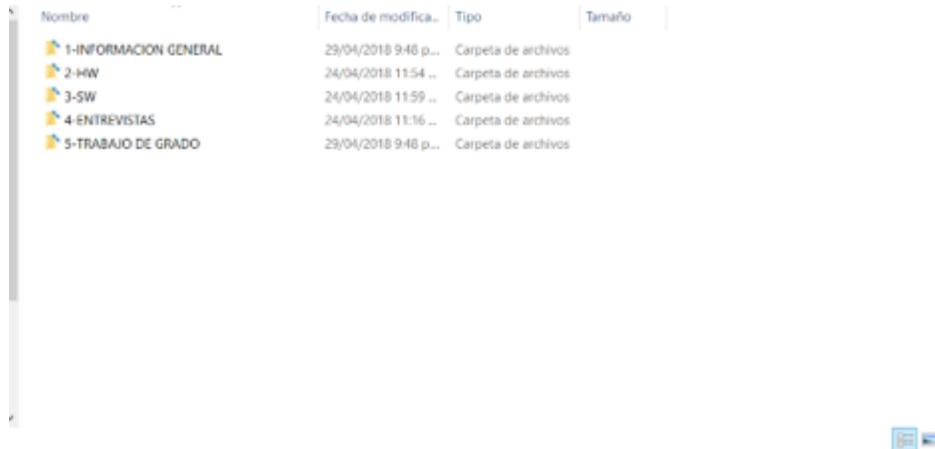
Figura 6. Total, de recopilación bibliográfica.



Fuente: Propia

En la figura 7. Se muestra la información organizada por carpetas según el orden en el que va el trabajo, primero está la información general, en la segunda esta la información de hardware, en la tercera esta la información de software, en la cuarta están las entrevistas realizadas a los ingenieros y en la quinta está el desarrollo del trabajo.

Figura 7. Toda la información organizada por carpetas.

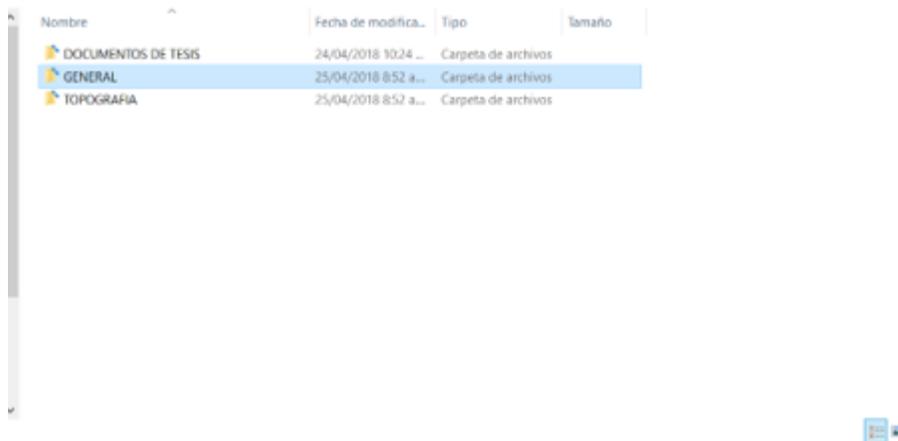


Nombre	Fecha de modifica..	Tipo	Tamaño
1-INFORMACION GENERAL	29/04/2018 9:48 p...	Carpeta de archivos	
2-HW	24/04/2018 11:54 ...	Carpeta de archivos	
3-SW	24/04/2018 11:59 ...	Carpeta de archivos	
4-ENTREVISTAS	24/04/2018 11:16 ...	Carpeta de archivos	
5-TRABAJO DE GRADO	29/04/2018 9:48 p...	Carpeta de archivos	

Fuente: Propia.

En la figura 8. Se muestra la información general organizada en 3 carpetas, primero están los documentos de tesis relacionados con la construcción de túneles, en la segunda esta la información general y en la tercera esta la información general, pero con base a la ingeniería.

Figura 8. Información general.



Nombre	Fecha de modifica..	Tipo	Tamaño
DOCUMENTOS DE TESIS	24/04/2018 10:24 ...	Carpeta de archivos	
GENERAL	25/04/2018 8:52 a...	Carpeta de archivos	
TOPOGRAFIA	25/04/2018 8:52 a...	Carpeta de archivos	

Fuente: Propia.

En la figura 9. Se muestra la información recopilada sobre el hardware y organizada por letras según su importancia.

Figura 9. Información hardware.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
A- HW Y SF CHILE	16/04/2018 9:36 p...	Archivo PDF	14.850 KB
A- HW Y SF INGLES	4/04/2018 4:24 p. ...	Archivo PDF	4.154 KB
A -LEICA CATALOGO DE CONSTRUCCION	16/04/2018 11:59 ...	Archivo PDF	16.730 KB
B- REVISTA HW Y SF	11/04/2018 7:52 p...	Archivo PDF	15.781 KB
B- SCANNER LASAR - Geocom - Nov2015	16/04/2018 9:47 p...	Archivo PDF	4.995 KB
C- Instrumentos topograficos	4/04/2018 3:30 p. ...	Archivo PDF	1.384 KB
HW Y SW CHILE	16/04/2018 9:32 p...	Archivo PDF	3.355 KB

Fuente: Propia.

En la figura 10. Se muestra la información recopilada sobre los softwares y organizada por letras según su importancia.

Figura 10. Información software.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
CATALOGO- AppTrimble	16/04/2018 11:52 ...	Archivo PDF	370 KB
CATALOGO- RISCAN-PRO	16/04/2018 11:49 ...	Archivo PDF	632 KB
CATALOGO- RISCANPRO_	16/04/2018 11:49 ...	Archivo PDF	792 KB
CATALOGO- TcpScancyr	16/04/2018 11:19 ...	Archivo PDF	932 KB
CATALOGO- TcpTunnel	16/04/2018 11:18 ...	Archivo PDF	1.132 KB
CATALOGO- Trimble-Brochure-	16/04/2018 11:32 ...	Archivo PDF	1.163 KB
CHILE- Amberg technology	16/04/2018 9:39 p...	Archivo PDF	2.792 KB
LIBRO CONTROL GEO HW Y SF	4/04/2018 4:27 p. ...	Archivo PDF	3.583 KB
Nuevas tecnologíasMaquinaria Subterrá...	16/04/2018 9:39 p...	Archivo PDF	3.245 KB
SW - CHILE MT Traffic	16/04/2018 9:32 p...	Archivo PDF	2.042 KB
SW- Sistemas de control geoespacial en ...	16/04/2018 9:40 p...	Archivo PDF	3.497 KB
SW- SOLUCIONES PARA EL POSICIONAM...	16/04/2018 9:47 p...	Archivo PDF	3.278 KB
TÚNELES Y TECNOLOGÍAS DE HORMIGÓ...	16/04/2018 9:53 p...	Archivo PDF	5.307 KB

Fuente: Propia.

8. ETAPAS DE PROYECTOS EN TÚNELES.

La construcción de túneles es una de las obras más complejas de la ingeniería, estas obras se consideran en general como una de las más “caras y de riesgo”, siendo ambos términos aplicables tanto a su construcción como a su explotación. Por esta razón algunos países no consideran la construcción túneles para sus grandes infraestructuras de transporte. Con el fin de abordar tales preocupaciones, Se trata de analizar en las etapas de planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento, todos los condicionantes que pueden afectar al comportamiento del túnel y seleccionar la solución más adecuada para resolver toda la problemática planteada.

Las investigaciones para un túnel deberán ser una actividad continua durante su proyecto, diseño y construcción, debido a la frecuente variabilidad del terreno y a los nuevos problemas que aparecen durante el avance de la obra.

8.1. ETAPA DE PLANEACIÓN.

En esta etapa se debe realizar una serie de estudios muy detallados de todo lo necesario para ser posible e eficiente el diseño, construcción y operación del túnel. Algunos de los estudios que se realizan son: Económicos, de demanda, ambientales, técnicos existentes del terreno, también es necesario la clasificación de la vía, tipología del proyecto y estudios de riesgos.

Todos estos estudios son necesarios para obtener una respuesta adecuada y para permitir optimizar el proyecto tanto desde el punto de vista técnico, como

económico; reducir el nivel de riesgos técnicos, económicos y ambientales; también garantizar a los usuarios el nivel de seguridad requerido.

A continuación, se van a explicar los estudios que son necesarios en esta etapa:

8.1.1. Modelo general del terreno.

Este estudio se realiza para conocer sobre los antecedentes del terreno donde se va ejecutar la obra, como verificar las características de la roca, esto será necesario para escoger el método de excavación y todo lo necesario para este proceso (profundidad, posición y perfil del túnel).

En esta parte también es necesario validar obras que se realizaron en esta área a ejecutar, para prevenir riesgos ya que se puede encontrar contaminación del terreno los cuales generan gases tóxicos los cuales pueden afectar la salud de los operarios.

8.1.2. Reconocimiento de la superficie:

En el reconocimiento de la superficie se valida el estado del terreno, se estudia la presencia de anomalías, fallas, discontinuidades, también se tiene en cuenta el ámbito regional, deslizamientos que alcanzasen la alineación del túnel, entre otros.

Este estudio se realiza mediante sondeos cortos, zanjas o estaciones geo mecánicas, esto se realiza a lo largo de la traza en planta del proyecto.

Con estos estudios que deben ser muy detallados se puede fijar el punto de inicio de la construcción del túnel. (Comunicaciones, 2014)

8.1.3. Fuentes de información.

- Mapas topográficos.
- Mapas históricos.
- Mapas y descripción geológicas.
- Mapas y descripciones hidrogeológicas.
- Mapas geotécnicos.
- Reportes y mapas sobre sismicidad.
- Reportes y mapas de movimientos en masa, caída de rocas, actividad volcánica, geotérmica, licuación.
- Fotografías aéreas e imágenes satelitales.
- Información meteorológica.
- Exploraciones existentes en el área de estudio.
- Experiencias previas en el área de estudio.
- Mapas fuentes de agua.
- Reportes mineros.

(JUAN, 2015)

8.1.4. Estudio hidrológico.

Este estudio hidrológico es necesario para reconocer caudales de infiltración, número y extensión de los acuíferos, efectos ambientales hidrológicos que afecte la construcción y operación del túnel así poder tomar las medidas de drenaje e impermeabilización y su adecuada previsión al avance de las operaciones constructivas, también se debe reconocer los recursos hídricos que se encuentran en esta zona y así no afectarlos.

Para esto será necesario informar la localización de estos puntos hidrológicos, la variabilidad y la capacidad que tienen.

Los ensayos necesarios para estos estudios son de Lugeon o Lefranc en los sondeos de reconocimiento. (Comunicaciones, 2014)

8.1.5. Balance hídrico.

En el balance hídrico es necesario validar la cantidad de fuentes hídricas que hay en la zona del proyecto, también tasa de infiltración de diferentes tipos de material y la cantidad de caudales y niveles de las corrientes, teniendo en cuenta los parámetros de la cuenca.

Todos estos datos son utilizados para la etapa de diseño.

8.1.6. Inventarios de punto de agua.

El servicio Geológico Colombiano brinda las indicaciones y formatos para realizar el inventario de puntos subterráneos de agua y así validar la cantidad de puntos, la distribución espacial de estos y sus niveles piezómetros.

Es estudio se realiza mediante sonda multiparametros y GPS.

8.1.7. Muestreo físico químico.

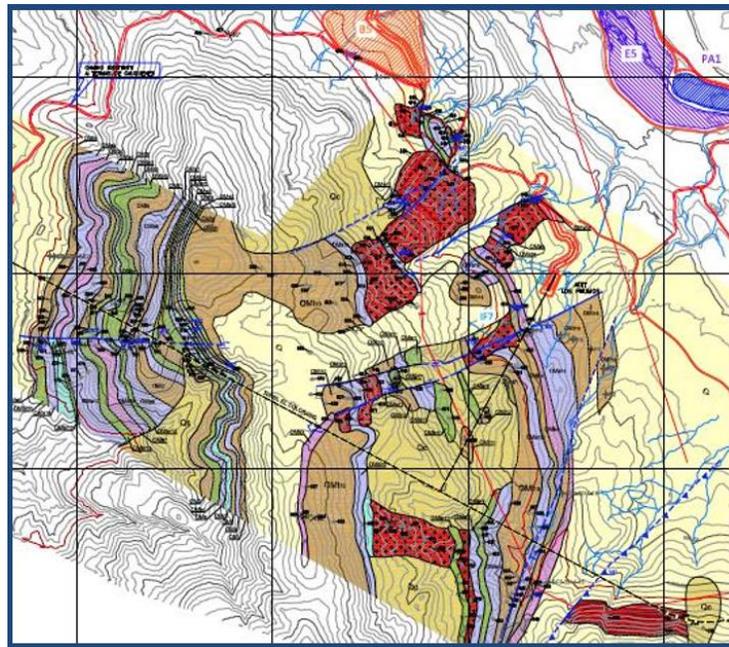
En el muestreo físico realiza una similitud de los puntos con similares características de los acuíferos que encontramos en la zona del proyecto, con esto se hacen diagramas de Piper y stiff.

8.1.8. Geológico:

En el estudio geológico se realiza verificación las condiciones del subsuelo, para conocer los módulos de deformación y velocidades de cortes, profundidades de la napa subterránea, estratificación del subsuelo, tipos de depósitos del suelo, perfil entre roca y suelo, servicios enterrados como tuberías y subestructuras.

Con la información obtenida en este estudio se realiza el mapeo geológico de superficie, el cual va obtener toda la información detallada.

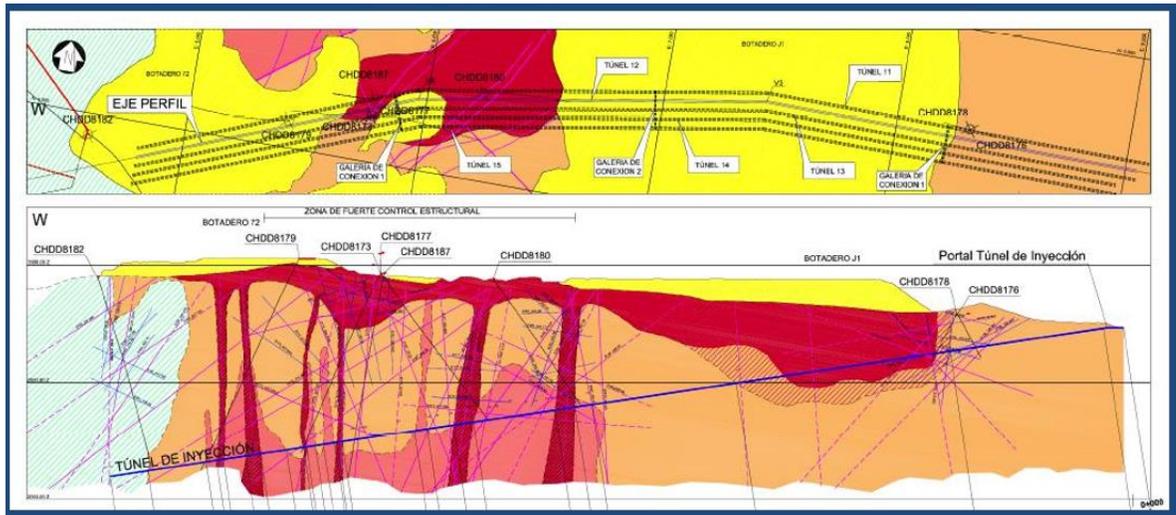
Figura 11. Mapa geológico.



Fuente: (Piaggio, 2015)

El mapeo debe ser entregado en planta y elevación, volcando la mayor información posible de manera de ser un documento auto contenido: Perfil Geológico.

Figura 12. Mapa geológico.



Fuente: (Piaggio, 2015)

Para realizar este estudio se tienen diferentes métodos, uno de los métodos más utilizado es la refracción sísmica el cual permite mediciones en sondaje y en superficie.

Este método mide las propiedades del suelo como amplitudes, velocidades, atenuación y frecuencias. También con los cambios de la velocidad de onda se puede validar la estratificación del suelo y de la roca.

Otro método que de investigación por excelencia es el de perforación de sondajes ya que es muy preciso en identificar las fallas, tipo de material, orientación de estructuras entre otros.

8.1.9. Geotécnico.

En el estudio geotécnico principalmente se valida el estado del terreno, la presencia de agua, tensiones residuales y afecciones de la obra.

Para realizar esto es necesario realizar los siguientes estudios:

- Estudio de resistencia.

Se debe verificar las estabilidades del túnel, realizando la resistencia de compresión simple a la roca

- Estudio de deformación.

Se evalúa el comportamiento del terreno, validando la deformación en el momento que se carga, así se valida el tipo del terreno y la capacidad que tiene en deformarse.

Cuando se tiene los macizos de la roca es mejor realizar ensayos en sitio. Y empíricamente.

- Estudio de Permeabilidad.

Se realiza para saber la presión, alteración en la roca y caudal, ya que eso puede afectar el proyecto, como con el agua de arrastre y un gran caudal a presión, ya que esto puede generar riesgo durante la ejecución del proyecto.

- Estudio de hinchamiento

Este estudio se realizar para validar los materiales que se pueden hinchar y afectar la construcción u operación del túnel.

- Excavabilidad

Es necesario validar el material donde se va excavar, la dureza abrasividad y tenacidad del terreno.

- Estudio de tensiones residuales.

En este estudio de valida si existe tensiones residuales y el estado tensional del terreno, el rango del coeficiente puede ser superior o inferior de 1.

Con esta información se realiza la sección transversal y las cuantías necesarias para el revestimiento del proyecto.

Pero por costos a veces este estudio no se realiza, sino que se siguen realizando métodos empíricos.

- Niveles piezométricos.

Se realizan para mediante sondeos para validar que niveles colgados hay y si se tiene nivel freático que puede afectar la obra.

8.1.10. Impacto en el medio ambiente.

Es muy importante este estudio ya que se debe validar los impactos ambientales que se pueden generar con la construcción del proyecto.

Con las normas que existen se evalúa si el proyecto se puede realizar o si es necesario realizar modificación para evitar el daño al medio ambiente.

Aunque en muchas obras a este estudio no le brindan la importancia necesaria.

8.1.11. Afectaciones del entorno social-ambiental-predial en el área del proyecto.

Se debe validar el impacto que va generar la realización del proyecto, tanto a la sociedad, nivel regional y en el desarrollo a la comunidad, en el ámbito económico, ambiental y social.

Se debe tener en cuenta el plan de ordenamiento y manejo establecido. (Rodgers, 1987)

8.1.12. Seguridad durante construcción y operación.

En el desarrollo de la construcción del túnel se debe tener mucha atención a los riesgos y daños que se pueden presentar, ya que es una obra de gran magnitud que puede generar grandes accidentes no solo en la obra, sino a toda una comunidad, generando una alarma social muy grave.

Si se llegara a producir algún accidente grande, va tener mucha dificultad la evacuación y rescate de la sociedad. (Estado, 2009)

8.1.13. Viabilidad técnica y económica.

Con los estudios realizados en la planeación de valida cual es la forma más eficiente de ejecutar el proyecto y verificar si es viable financieramente, según esto se estudia cómo se va financiar cada etapa del proyecto. (Neira, 2016)

8.2. ETAPA DE ESTUDIO Y DISEÑO

El diseño de Túnel es diferente a otra obra de carreteras ya que es una obra de gran magnitud y que se debe tener en cuenta más factores como, la geología, seguridad, instalaciones, modo constructivo.

En el diseño se debe evaluar los parámetros de entrada, las diferencias estacionales, la pendiente longitudinal que es limitada, la iluminación, entre otros.

Con el diseño que se realiza de perfil y planta se realizara el diseño geométrico de la carretera mediante el Manual de Diseño Geométrico del INVIAS.

Con la velocidad que se utilizará en la circulación de los vehículos dentro del túnel se hará el diseño geométrico del trazo correspondiente, mediante lo establecido en el Manual de Carreteras.

8.2.2. Diseño geométrico.

Para este diseño se tiene que tener en cuenta, los radios de giro, las estructuras que están en el terreno, la ubicación de entrada y salida de porta, también la población y sitios protegidos.

También es necesario para el diseño la sección transversal y cumplir con las exigencias, de iluminación, señalización, tolerancias, instalación de equipos, drenaje, entre otros.

Con la nueva tecnología se puede realizar un modelo 3D (4D y 5D) que es de vital importancia, de manera de poder incorporar secuencias de construcción, programación y planeamiento (metodología BIM). (Piaggio, 2015)

En el diseño geométrico es necesario realizar lo siguiente.

- Diseño geométrico en planta:

Se debe tener en cuenta los accesos, las curvas internas, la visibilidad, la dictación de paradas, las conexiones de las galerías y curvas horizontales.

- Diseño geométrico en perfil:

En este diseño se valida los elementos que afectan el nivel de servicio como emisión de gases, pendientes máximas admisibles, curvas verticales, entre otras.

- Secciones transversales de servicio:

Es necesario verificar la geometría de las instalaciones hidráulicas, el ancho de circulación, el ancho de las veredas, las bermas y equipamientos del túnel.

- Nichos:

Esto se realiza e diseño para los sistemas de emergencia que los SOS, equipos electrónicos y control de incendio.

8.2.3. Diseño geo mecánico.

En el diseño geométrico se presenta el procedimiento específico y consistente para el túnel durante la excavación y la operación.

En este diseño se tiene en cuenta las condiciones del terreno, esfuerzos, la parte ambiental, para poder realizar un proyecto seguro.

8.2.4. Plan de seguridad geotécnica para construcción.

En este plan se debe tener en cuenta el programa de monitoreo, el esquema de diseño, umbrales de alarma y acción, además será necesario definir las responsabilidades del proyecto.

8.2.5. Medidas de soporte.

Con estas medidas se desean controlar las deformaciones que se pueden presentar durante la excavación, realizando diseños de soporte y poder reducir los riesgos que se pueden generar.

8.2.6. revestimiento definitivo.

Se debe garantizar la estabilidad durante la construcción del túnel, para poder cumplir con esto será necesario diseñar el revestimiento que será utilizado en el proyecto.

8.2.7. Impermeabilización y drenaje.

Con este diseño se debe validar que la obra no se vea afectada por la humedad, generando drenaje necesario y garantizando el mantenimiento en la operación del túnel.

8.2.8. Portales para túneles.

Estos se deben diseñar y validar el método constructivo que se empleara en el proyecto del túnel para garantizar que se afecte en lo mínimo, el medio ambiente, el entorno con los estudios realizados en la etapa de planeación.

8.3. ETAPA DE CONSTRUCCIÓN.

En esta etapa se desarrolla las actividades y control necesario que garantice el cumplimiento de los requisitos establecidos durante las etapas anteriores y para evaluar que las condiciones originales sigan igual.

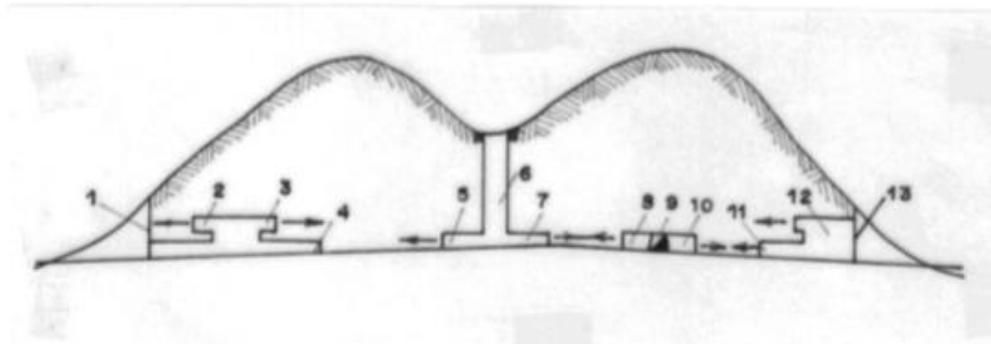
8.3.2. Frente de trabajo en el túnel.

Para reducir tiempo en la construcción del frente de trabajo es necesario poner más frentes de excavación, utilizando galerías complementarias.

Normalmente la ejecución de un túnel se realiza desde los puntos de los portales 1 y 13 que se muestran en la (Fig.12), también realizando la excavación de socavones guías 4 y 11. Después en la base de los socavones guías se transponen los socavones superiores 2 y 3, pero estos se realizan en direcciones contrarias y En la parte más baja se transpone un pique vertical auxiliar 6, en el cual se abren las frentes de trabajo 5 y 7.

El pique que realiza después se puede utilizar como ventilación. Se tiene que tener en cuenta que, si el trazado del túnel está cerca alguna pendiente, entonces es preferible emplear socavones y desde ellos abrir frentes de excavación en dos direcciones, como se indica en la Fig.12 (las frentes 8 y 10 abiertas desde el socavón 9). (GONZALEZ, 1990)

Figura 13. Apertura de frentes complementarias con ayuda de galerías auxiliares



Fuente: (GONZALEZ, 1990)

8.3.3. Fortificación de entradas y excavación de socavación.

Lo primero que se debe realizar antes de la excavación del túnel es la preparación de la entrada, se debe separar los materiales sueltos y retiro de la capa rocosa, después se debe asegurar el talud con entibado o también refuerzos según el terreno.

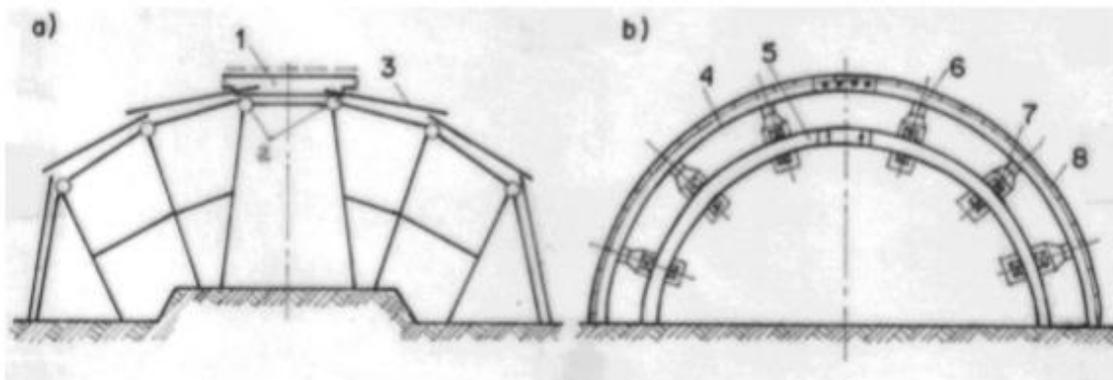
Para rocas peñascosas, el aseguramiento puede realizarse mediante pernos de anclaje y malla o también pernos de anclaje y hormigón lanzado, según los esfuerzos y grado de fracturamiento. (GONZALEZ, 1990)

8.3.4. abertura de la bóveda en los túneles.

Cuando el terreno tiene rocas débiles, la abertura de la bóveda del túnel (Fig.13), se realiza el retiro de los tablonos que fortifican los costados laterales de la galería; En la cumbrera 1, se sostiene por los extremos con los largueros 2, debajo de estos se ponen nuevos postes y seguido se retira los postes de la fortificación del socavón. En la parte superior de los largueros se ponen los primeros march avanti 3, (aguja), en sentido perpendiculares al eje del túnel, y por debajo de estos, otros largueros, este procedimiento se realiza hasta que este totalmente abierta la bóveda.

La ejecución en la bóveda y en otras partes del túnel se realizan en anillo por secciones de Long de 3 a 6 metros, entre los limites se hace una sola operación, como, excavación de la galería o el hormigonado del revestimiento.

Figura 14. Esquema del entibado temporal de las bóvedas de los túneles: a) con elementos de madera; b) con marcos de acero.



Fuente: (GONZALEZ, 1990)

Cuando se tienen rocas se resistencia el franqueo de las bóvedas se puede hacer sin poner un socavón guía como se muestra en la (Fig. 13.), con esto se puede conseguir una disminución de costos, ya que la excavación de las rocas en espacios pequeños de las galerías, es mucho más cara que en grandes galerías. Por esto es

mejor emplear materiales de acero, para el entibado en forma de arcos de franqueo 4 (cerchas), desarrolladas con rieles livianos viejos, con arcos 5 y con perfiles en U, y utilizando separadores 6, de perfil en U soldados. Los separadores que se emplean tienen iguales dimensiones, pero debido a las diferentes cuñas 7, se obtiene un arco circular a diferente distancia de la cercha de franqueo, lo cual asegura la obtención de una bóveda con las dimensiones proyectadas.

Cuando se utiliza entibado metálico en arco, estrecha menos el espacio interior de la galería que el entibado de madera y con esto se puede introducir el march avanti 8, en el techo de la bóveda en forma paralela al eje del túnel, disminuyendo el exceso de roca.

Cuando el terreno tiene rocas peñascosas resistentes, se realiza fortificación poligonal de vigas o arcos de acero.

Con estas construcciones se pueden apoyar los tablonos del encostillado del techo, en cambio se puede utilizar malla de acero para impedir la caída de bloques en sitios limitados.

El entibado poligonal y de arcos de acero, en menor porcentaje disminuyen espacio interior de la galería que el entibado de madera utilizado en rocas débiles.

8.3.5. Excavación.

Según el terreno que se tenga se realiza la excavación del túnel, si se tiene roca dura se puede realizar ataque a sección completa, pero si se tiene arenas o gravas, se tiene que realizar en secciones pequeñas e instalando blindajes.

Los métodos de excavaciones se explican en el arranque del proyecto.

8.3.6. El arranque.

En el arranque se puede emplear diferentes métodos de excavación, algunos de los métodos son:

1. Excavación mecánica con máquinas de ataque puntual, las maquinas son:
 - a) Rozadoras o minadores.
 - b) Excavadoras con martillo hidráulico y fresadoras.
2. Excavación con explosivos.
3. Excavación mecánica con tuneladoras no presurizadas como, topos o escudos.
4. Excavación mecánica con tuneladoras presurizadas como, hidroescudos , escudo mixto, doble escudo y escudos de Presión de Tierras.

8.3.7. La carga.

La carga se realiza con descarga del cucharón sobre el vehículo y en vagones metálicos en la vía.

Cuando se tienen secciones pequeñas se utilizan las palas de volteo con accionamiento neumático en la vía, esto se utilizó inicialmente en los túneles de sección pequeña y se siguen utilizando.

Ahora se cuenta con versiones eléctricas que tienen el mismo principio, combinadas con grupos hidráulicos para el volteo de cuchara.

Estas palas tienen una capacidad de 150 L que se utilizan en secciones pequeñas, también se tienen hasta 700 L para secciones medianas.

También se tienen los cargadores de racletas, que intuyen en la parte inferior del montón de escombros y después lo recogen con dos o más paletas llevándolo hasta

la cinta transportadora que lo lleva a una altura conveniente para el llenado del vehículo.

En algunos casos solo se puede realizar la carga manualmente el escombros, utilizando cintas que lo elevan al nivel conveniente.

Cuando se tiene mucho escombros, la carga se realiza mediante equipos totalmente convencionales, como ya se ha indicado al hablar del arranque. (Serra, 2003)

8.3.8. El transporte.

Para realizar el transporte se tienen varios medios, algunos de ellos son:

- Palas rápidas:

Estas son utilizadas desde hace varios años y son muy recomendadas las palas cargadoras de estricte gálbo, además tiene alta velocidad de desplazamiento que efectúan la carga y el transporte conjuntamente, con volúmenes de 6 hasta 11 m³ y tiene una velocidad de hasta 50 km/h.

Estas son muy rentables, ya que pueden ser la solución ideal para túneles de hasta 600 o 700 m de longitud.

Cuando se tiene una sección mayor se puede utilizar el cruce de dos palas en pleno recorrido, son convenientes para longitudes de 1200 a 1500 m.

-Transporte sobre vías:

Se pueden utilizar en secciones pequeñas o medianas, la tracción puede ser de gasóleo o eléctrica, según los requerimientos de ventilación.

Se tiene que tener en cuenta que las pendientes no deben pasar el 3% ascendente, pero se pueden utilizar rampas de hasta el 7% si son cortas.

Es de gran importancia para para el ciclo total de excavación del túnel la carga y transporte, cuando se tiene excavación con explosivos estas operaciones significan como mínimo el 50% del ciclo. Por tanto, es muy importante tener una buena conservación de la vía y hacer una adecuada elección del sistema de cambio de vagones (vacíos-cargados) en el frente.

-Transporte sobre camión:

Por lo general se emplean camiones tipo Dumper que acoplan a la rapidez de descarga por basculado una gran maniobrabilidad.

Existe una gran gama que se adaptan a las limitaciones de sección y a las características de la cargadora adoptada. (Serra, 2003)

8.3.9. El sostenimiento.

8.3.9.1. Bulones:

Como se mostró anteriormente los bulones se usan como método de sostenimiento de galerías mineras. Este puede ser un método provisional o definitivo.

Por lo normal los bulones son barras de acero que tienen un diámetro de 25 a 32 mm y una longitud de 3 a 4 m, estos deben juntar los estratos alrededor de la sección excavada para hacer una bóveda natural, estos quedan anclados por adherencia del mortero o resina que se implantan en el fondo y a lo largo del taladro. El extremo que queda en el exterior del taladro cuenta con una rosca para tuerca y arandela plana que se une contra la superficie de la roca. (Serra, 2003)

8.3.9.2. Cerchas:

Antes se utilizaban cerchas en madera, pero ahora también se cuenta con cerchas metálicas, estas son viguetas de acero de sección en H y curvadas a la sección transversal del proyecto del túnel, usualmente tiene tres cerchas, dos en los hastiales (pies de marco) y una en la bóveda (corona), con la cual se puede cubrir la sección completa. Cuando se tiene roca poco compacta o suelta entre dos secciones con cerchas, se pueden poner tablonos o planchas de acero entre éstas.

8.3.9.3. Hormigón proyectado:

Este es un método que se utiliza cada vez más y sirve para el sostenimiento del terreno, se puede utilizar solo o combinado con bulones, cerchas o con refuerzo de malla de acero.

Antes de utilizar el hormigón, se utilizaba el mortero proyectado, este creaba un anillo protector de la roca en las formaciones con poca meteorización rápida.

En los años 50 se empezó a utilizar hormigón proyectado, esta es una mezcla con áridos de hasta 16 o 18 mm. Pero tiene un problema en los aditivos para la aceleración del fraguado.

8.3.9.4. Pre anillos de hormigón:

En el diseño estructural es necesario tener en cuenta las acciones a las cuales están sometidas, empezando con el desencofrado, después con las etapas de manipulación, almacenamiento y también con la colocación, estudiando después los empujes generados por los gatos y por último en la entrada en carga del anillo debido a la acción del terreno.

Algunos métodos son:

a) Pre anillos sobre chapa desplegada (método Bemold):

Este método lo que hace es hormigonar sobre un encofrado formado por cerchas metálicas y placas acuchilladas que están unidas al hormigón y que tienen una triple función, protegen contra la caída de piedras sueltas, como encofrado y como armadura del hormigón de relleno.

b) Preserrado de la roca:

Se realiza primero un preanillo, que sostiene provisionalmente, revestido por el propio terreno y hormigonado por partes.

Este método corta con sierras mecánicas de cadena, parecidas a las utilizadas en trabajos forestales, un anillo tiene un grosor de 15 a 20 cm y cuenta con una anchura aproximada de los 50 cm.

8.3.9.5. Dovelas

Este consta de unos anillos circulares fraccionados, por lo general de hormigón. Este tiene un revestimiento permanente y cuenta con la ventaja de que después de que se han colocado generaran una fuerte estructura de soporte, Pero teniendo en cuenta que la inyección de hormigón entre el terreno y el anillo se realice lo más rápido.

Existen diferentes tipos de dovelas.

a) Dovelas ordinarias inyectadas.

Estas emplean hormigón con armado que utilizan llaves sencillas para su unión. El trasdós es necesario que se inyecte inmediatamente a su colocación.

b) Dovelas expandidas.

Estas utilizan hormigón en masa o también poco armadas. Un erector las coloca encima del soporte de anillo metálico y utilizando una dovela en cuña se genera la expansión o aumento del diámetro hasta el contacto total con el terreno.

e) Dovelas atornilladas

Esta tiene hormigón fuertemente armado o utiliza acero fundido; después se atornillan entre sí y también con el anillo anteriormente puesto. Esta genera una geometría perfecta y la inyección en el trasdós se hace con óptimas condiciones. (Serra, 2003)

8.3.10. Micro túnel.

El micro túnel se realiza con un pequeño diámetro aproximado de 3 metros y con una longitud de 200 metros, este se utiliza para la instalación de conductos subterráneos y tuberías. Este es el método Cut and Cover.

Este también se emplea para conducir colectores y para la parte eléctrica, de gas y agua.

Cuando se realiza en terrenos de gran densidad demográfica, tiene problemas por asentamientos en la superficie, también por vibraciones, ruidos y obstáculos al tráfico.

Esta técnica afecta muy poco la superficie urbana, porque solo necesita de pozos de acceso de pequeñas dimensiones.

8.4. ETAPAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

8.4.2. Operación.

La operación de debe desarrollar orientándose principalmente a la seguridad.

Es esta etapa se debe tener en cuenta los siguiente:

- Documentar las actividades de operación que se van a realizar en el túnel.
- Planificar las medidas de información y prevención que deben tener los usuarios en el caso que se tenga algún accidente.

- Se tiene que asegurar el establecimiento de un procedimiento para la mejora continua de la operación.
- Se tiene que hacer cumplir la norma de vías. (Hun, 2016)

8.4.3. Mantenimiento.

Recoge los medios y procedimientos para mantener en las mejores condiciones de servicio a las instalaciones disponibles en la carretera o autopista.

Para realizar el mantenimiento se debe tener en cuenta:

- Mejorar la disponibilidad del tramo viario, disminuyendo los problemas en la infraestructura y el tiempo de solución el mismo.
- Se debe asegurar la disponibilidad de las instalaciones para poder ser utilizadas en el momento en que éstas se requieren.
- Mejorar la vida útil de la infraestructura, instalaciones y equipos.
- Manejar bien los recursos materiales y humanos empleados en los trabajos de mantenimiento.
- Brindar buena seguridad.
- Disminuir el impacto sobre el medio ambiente en las actividades desarrolladas en la operación (Hun, 2016)

9. PROCESOS EXISTENTES, GEOMATICA.

9.1. proyecto de un túnel.

Para la planeación de las líneas generales, posibles rutas, rasantes y diseño de detalle, es necesario reunir información sobre aspectos físicos. Para esto será necesario la topografía como la cartografía existente con mayor escala y con curvas de nivel, sino se dispone de esta información, es necesario realizar levantamiento topográfico de la zona, además datos geológicos y geotécnicos.

9.1.2. Planos topográfico base.

En algunas ocasiones no se dispone de un levantamiento topográfico previo y a una escala adecuada, en estos casos se realizará un levantamiento topográfico, este debe especificar la localización de túneles ya existentes, fachada de las calles, sótanos, nivel de la acera, calle y edificaciones.

9.1.3. Planos de proyecto.

Los documentos necesarios para el proyecto del túnel son:

- Memorias y anexos.
- Planos.
- Presupuestos.
- Plante de situación y emplazamientos.
- Topografía y replanteo.
- Geología y geotecnia.
- Planta general.
- Plantas.
- Alzados.
- Secciones.
- Perfil longitudinal.
- Detalles.

9.1.3.1. Planta general.

General de replanteo:

En el proyecto de un túnel, la conformación de la planta dependerá de las alineaciones de entrada y de salida, así como del estudio geotécnico de la zona que atraviese. La planta será como la de cualquier obra lineal en recta, en curva o como combinación de ambos tipos de alineaciones.

En la planta general se sitúan los puntos definitorios del estado de alineaciones. (SOSA, 2006)

Parcial:

Se muestra zonas de acceso al túnel, como son las boquillas y las rampas y pozos de ataque intermedios.

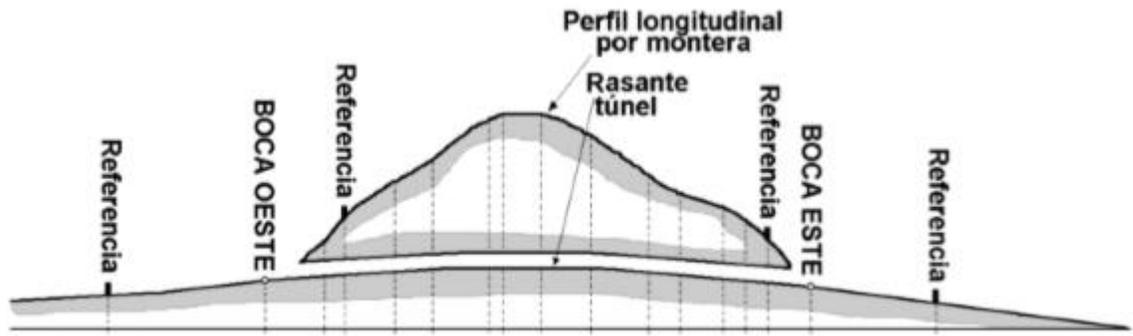
9.1.3.2. Perfil longitudinal.

El trazado del perfil longitudinal se puede obtener en el levantamiento topográfico tanto del terreno, como de la rasante (figura 14). Se indicarán las pendientes, acuerdos parabólicos, cotas, etc. Se indicarán todas las obras subterráneas con las que se cruce o a las que pueda afectar el túnel proyectado.

Para ello, y suponiendo el caso más sencillo de un túnel de trazado recto, se establecerá un itinerario de exterior encuadrado comenzando por una de las bocas y acabando en la otra. Todas las estaciones estarán situadas en el plano vertical que contiene al eje del túnel y, por tanto, las proyecciones horizontales de todos los tramos del itinerario estarán alineadas y sus acimuts coincidirán con el de la alineación que forman las dos bocas. Una vez comprobado que los errores son inferiores a la tolerancia fijada, podemos emplear este itinerario para situar una serie de referencias que se emplearán posteriormente para el replanteo de la excavación. El itinerario nos permitirá también situar plan métricamente posibles puntos de ataque adicionales (pozos) que no hubieran sido enlazados previamente con las otras bocas.

Si el túnel fuese en curva, o una combinación de tramos rectos y curvos, se replantean sobre el terreno las trazas de las distintas alineaciones que lo forman y, a continuación, se realiza el itinerario de exterior siguiendo estas trazas. (SOSA, 2006)

Figura 15. Perfil longitudinal.

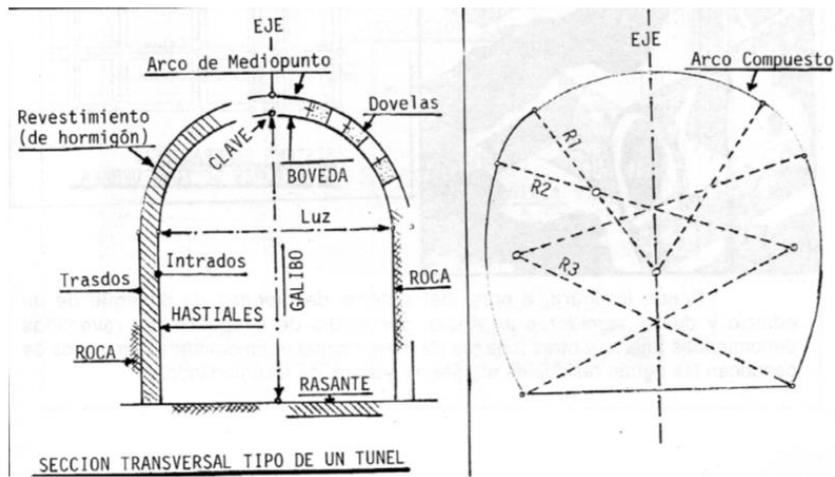


Fuente: (MARTIN, 2003)

9.1.3.3. Secciones.

Esta sección dependerá del estudio geotécnico del terreno en su aspecto constructivo, con esto se indicará las dimensiones, elementos y revestimientos en los diferentes tramos del túnel.

Figura 16. Perfil longitudinal.



Fuente: (Salgueiro, 2002)

9.2. TRABAJOS EN EL EXTERIOR

Los trabajos en el exterior son de gran importancia ya que se realiza en la parte superficial y subterránea para unir plan métricamente y altimétricamente las bocuillas entre sí.

9.2.2. Planímetros.

9.2.2.1. Red de enlace entre bocas.

Esta parte del proyecto es muy importante y es necesario que se realice con la mayor precisión.

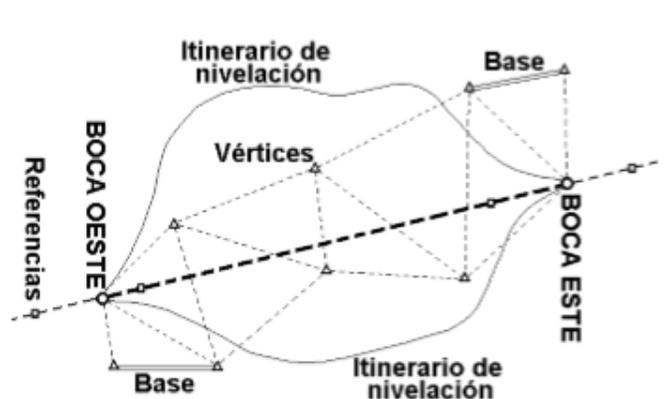
Esto para evitar la acumulación de errores en el replanteo, es necesario enlazar topográficamente los puntos de ataque en la obra, como se muestra en la figura.

Con esto se determina las coordenadas, acimuts y distancias necesario para replantear la excavación.

Primero es necesario escoger los puntos de ataque, se incluye la red de triangulación de levantamiento topográfico y medirlos como si fueras vértices de la red. Lo normal es habitual establecer una red en forma de cadena con bases distintas, cada una de las proximidades de una de las bocas del túnel.

Se tiene dos opciones para realizar el itinerario la primera es de la forma habitual y debe enlazarse con la red geodésica y la otra es si se dispone de equipos suficientemente precisos, el enlace también puede hacerse determinando las coordenadas de las bocas mediante GPS.

Figura 17. Enlace de puntos de enlace entre bocas



Fuente: (MARTIN, 2003)

9.2.2.2. Paso de línea por montera.

El paso de línea por montera es uno de los trabajos topográficos que se deben realizar antes de la excavación del túnel, y si las condiciones del terreno lo permiten, es el denominado paso de línea por montera. Supongamos un túnel en recta: conocidas las coordenadas de los puntos que definen los extremos del túnel, una vez realizado el enlace entre bocas, calculamos el acimut de la alineación recta “boca norte” ‘boca sur”.

Si estacionando en boca norte y orientando el aparato prolongásemos dicho acimut, con las estaciones intermedias que fuesen necesarias, deberíamos llegar al punto boca sur, suponiendo nulos los errores accidentales propios de la prolongación de dicha alineación. Sin embargo, es muy posible que lleguemos a un punto separado transversalmente del teórico una magnitud "d". Esto es debido a que las coordenadas de estos dos puntos no están exentas de pequeños errores residuales. (SOSA, 2006)

Se puede decir que el paso de línea por montera es una comprobación a cielo abierto del cierre en dirección del trabajo que posteriormente se realizará en el interior del túnel.

9.2.3. Altimétricos.

9.2.3.1. Nivelación entre bocas.

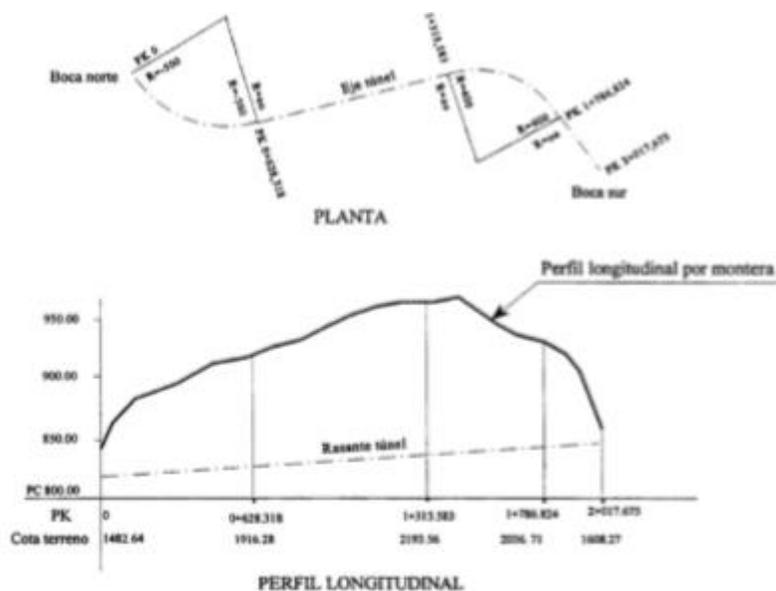
Se realiza la nivelación entre bocas para relacionar las cotas de ambas bocas, también dejar cota próxima al pozo o rampa proyectada, también con estos datos se pueden utilizar para proyectar la rasante definitiva del túnel.

Este procedimiento se puede desarrollar altimétricamente, lo más recomendable es establecer una nivelación geométrica de precisión, a partir de un punto de la red de nivelación de alta precisión (NAP).

9.2.3.2. Perfil longitudinal por montera.

Para tener una mayor precisión para multiplicar los frentes de excavación por medio de pozos o rampas de ataque se realiza el perfil longitudinal por montera.

Figura 18. Perfil longitudinal por montera.

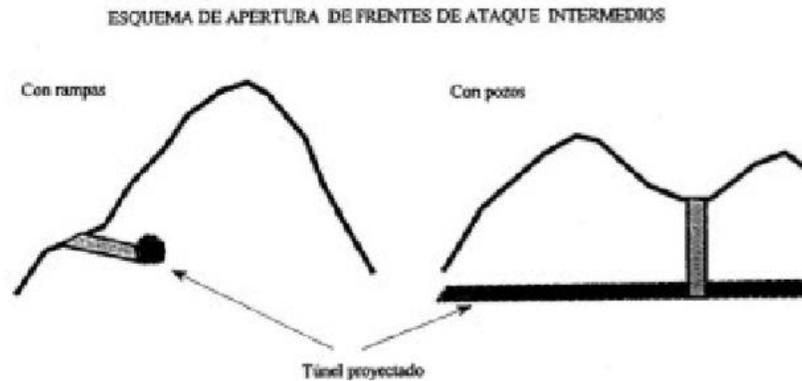


Fuente: (SOSA, 2006)

9.3. REPLANTEO DE POZOS Y RAMPAS DE ATAQUE.

Se puede realizar el enlace interior mediante 2 formar, la primera es a través de rampas y la otra es a través se pozos, estas dos formas se realizan para multiplicar los frentes de ataque principalmente en túneles de gran longitud.

Figura 19. Esquema de apertura de frentes de ataque intermedios.



Fuente: (SOSA, 2006)

Si el túnel pasa próximo a una ladera o bajo un collado puede ser más cómoda y rentable la excavación de una rampa de acceso en lugar de un pozo. en zonas urbanas también suele ser la solución única de acceso directo para la construcción de un túnel, por ejemplo, en el Metro.

Sobre el topográfico base, o mejor aún sobre un levantamiento a escala mayor (1:200), se proyecta dicha rampa, definiendo el punto del eje del túnel al que debe acceder y. el punto de inicio en la superficie. La definición en planta suele ser una recta, por ser el trayecto más corto entre dos puntos, y la rasante dependerá del tipo de vehículos que deban circular por ella. (SOSA, 2006)

9.3.1. Replanteo exterior.

En el replanteo altimétrico se sitúa en las proximidades de la boca del pozo un punto con cota conocida, para ello se habrá realizado una nivelación secundaria partiendo de la principal. Calculada la rasante del túnel en el fondo del pozo deduciremos fácilmente la profundidad de éste.

9.3.2. Control de la excavación.

Los pozos excavados para la construcción de un túnel no son tan profundos como los utilizados en explotaciones mineras: las profundidades mayores se encontrarán generalmente en las construcciones hidroeléctricas, pero lo normal es que no superen los 100 m debido al alto coste de este tipo de excavaciones. El diámetro del pozo no debe ser menor de una vez y media el diámetro del túnel, ya que resulta difícil construir la abertura que se forma con la intersección de dos cilindros casi iguales. (SOSA, 2006)

En la actualidad el uso del rayo láser ha sustituido a las plomadas para el control de la verticalidad, que se realiza efectuando la medida desde la pared del pozo al rayo interceptado por una pantalla como un punto luminoso. Se debe tener especial cuidado en comprobar la verticalidad del rayo, efectuando el giro de 360° (si el aparato lo permite) y comprobando que el punto en el blanco inferior permanece estacionario. En esta posición se fijan unas placas a las paredes del pozo, con un orificio central por donde debe pasar el rayo

Estas placas permitirán situar el emisor láser en su posición original, en el caso de haber tenido que quitarlo, o bien revelarán al instante si éste ha sido movido o desplazado por cualquier causa. De la misma manera que se utilizan las plomadas de gravedad y el emisor láser, se pueden utilizar las plomadas ópticas al nadir, con el inconveniente de la necesidad de la presencia física del técnico cada vez que se requiera hacer una medición que consistirá simplemente en leer una cinta o mira en posición horizontal y en contacto con la pared del pozo. (SOSA, 2006)

9.3.3. Captura de la planimetría y la altimetría.

En planimetría los métodos de transmisión de datos son:

- Por medio de plomadas (ópticas o de gravedad)
- Con taquímetro o teodolito
- Con rayo láser
- Con brújulas o declinatorias
- Con teodolito giroscópico (giro teodolito).

Las particularidades en el caso de replanteos es que los dos puntos transmitidos suelen ser los que definen el eje del túnel y si son cuatro los otros dos definirán la perpendicular que pase por el centro del pozo, teniendo de esta manera comprobación en el fondo del pozo de la transmisión efectuada.

Por otro lado, al ser por lo general los pozos poco profundos, comparados con los de las explotaciones mineras, muchos de los inconvenientes se reducen: las visuales ópticas suelen ser buenas, la estabilidad de las plomadas de gravedad se consigue con mayor rapidez; sin embargo, las brújulas y declinatorias no suelen ser útiles debido a la alta presencia de elementos perturbadores. El giro teodolito, debido a su alto coste, sólo se suele utilizar en proyectos de gran envergadura.

Se recuerda la importancia de la transmisión de la orientación, que posteriormente será prolongada en el interior del túnel, y que si no se obtiene con la precisión deseada provocará errores inadmisibles en el futuro encuentro de los frentes. La precisión obtenida dependerá en parte del método utilizado, pero también del cuidado y meticulosidad con que se haya realizado la observación. (SOSA, 2006)

En planimetría los métodos de transmisión de datos son:

- Medida con cinta
- Método de Firminy
- Distanció metros.

En la medida de la profundidad con cinta las lecturas se realizan con nivel. Dos niveles estacionados uno en la superficie y otro en el fondo toman la lectura en la cinta. El de la superficie previamente observa la base de nivelación situada próxima a la zona, y el del fondo a la primera del itinerario interior, a la que de esta manera se transmite altimetría. (SOSA, 2006)

9.4. REPLANTEO DEL TUNEL. METODOLOGIAS.

Podemos decir que conviven en la actualidad dos metodologías aplicables al replanteo de túneles. La primera es heredada de los primeros largos túneles, construidos entre forales del siglo pasado y comienzos de éste, época en la que se disponía de teodolitos ópticos de precisión, pero no de aparatos para la medida electrónica de distancias (MDE), es la de replanteo por el eje.

Actualmente el avance técnico en la instrumentación para la medida de distancias y su coste asequible permiten su utilización en cualquier tipo de replanteo, fabricándose de las precisiones necesarias para cada caso. Por lo que se suele replantear estacionando el aparato en puntos fijos (bases de replanteo, BR) de

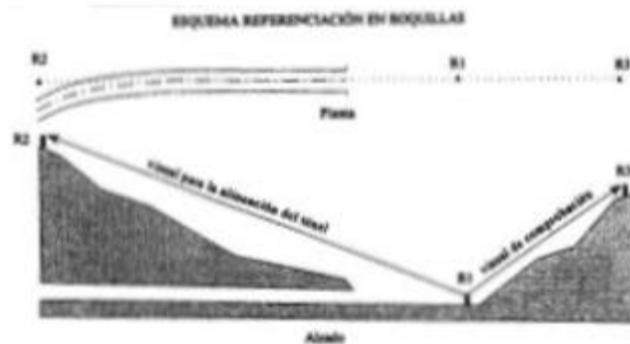
coordenadas conocidas y obtenidas por métodos topográficos adecuados a la precisión requerida (triangulación, itinerario, intersecciones...). (SOSA, 2006)

9.4.1. Replanteo por eje.

9.4.1.1. Replanteo en las boquillas.

Una vez efectuada la observación de la red incorporando los puntos definitivos de las bocas del túnel, si ha sido el caso, y realizado el paso de línea por montera si las condiciones del terreno lo permiten, se fijarán fuera de cada boca y en la alineación del eje del túnel al menos tres puntos, a partir de los cuales comenzarán las operaciones de replanteo subterráneo.

Figura 20. Replanteo en las boquillas.



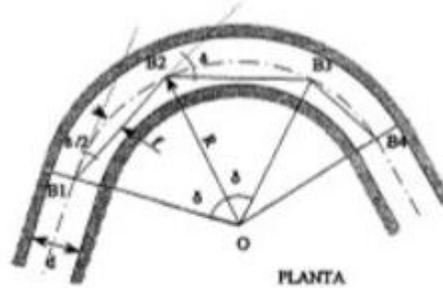
Fuente: (SOSA, 2006)

9.4.1.2. Calculo del replanteo óptimo.

Las condiciones de espacio físico en las que se trabaja, obligan a un estudio del replanteo que permita visuales lo más largas posibles, siempre dependiendo del alcance del aparato. Si tanto la definición en planta del túnel como la de su rasante son rectas, el replanteo no tendrá dificultades de espacio y visibilidad. Pero cuando la planta es en curva y la rasante parabólica, hemos de diseñar un replanteo que se ciña al eje del trazado y que dependerá de la anchura libre del túnel.

Figura 21. Esquema de la optimización del replanteo

Esquema de la optimización del replanteo (caso de una curva circular)



d : Ancho útil del túnel
R : Radio de la circular
f : Flecha óptima
δ : Ángulo en el centro óptimo

Fuente: (SOSA, 2006)

9.4.1.3. Replanteo de los puntos básicos y de los intermedios.

Desde el punto situado en el interior y próximo a la boca del pozo se comenzarán los trabajos de prolongación de la alineación del túnel. Si se trata de una recta la prolongaremos a medida que avance la excavación, proyectándola sobre el frente y arrastrando cota de la nivelación exterior que se va prolongando al interior según se necesite

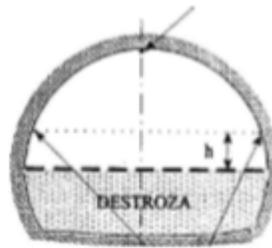
Se procede de este modo hasta llegar a la tangente de entrada de la curva que se trate. Para mayor simplicidad de la explicación se describirá el caso de que la curva sea circular. Cuando el frente de excavación se encuentre situado en la tangente de entrada de la circular, éste se replanteará como uno intermedio más. Incluso desde el punto básico anterior aún se han de replantear algunos intermedios que lo sobrepasen, con el fin de que el frente se aleje lo suficiente del nuevo punto básico y permita su replanteo con la precisión requerida.

Una vez alejados los trabajos de excavación del nuevo punto básico, se replantea con precisión, para continuar desde aquí el replanteo del eje.

Existen en el mercado regletas de centraje o ajuste que permiten, efectuando varias lecturas con el anteojo en círculo directo y en círculo inverso sobre una regleta graduada, obtener un promedio y situar con exactitud el punto a replantear (Figura 29). Las hay que disponen también de regleta para el ajuste en distancia.

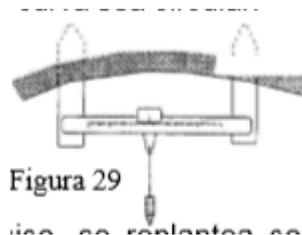
Una vez estacionados en el nuevo punto base y orientando al anterior, se replantean los puntos intermedios por cualquiera de los métodos enunciados (Figura 30).

Figura 22. Replanteo de los puntos básicos y de los intermedios



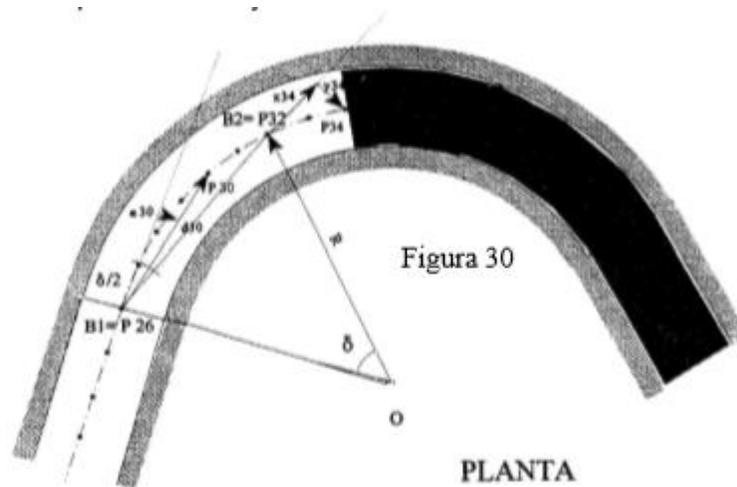
Fuente: (SOSA, 2006)

Figura 23. Regletas de centraje



Fuente: (SOSA, 2006)

Figura 24. Replanteo de puntos intermedios

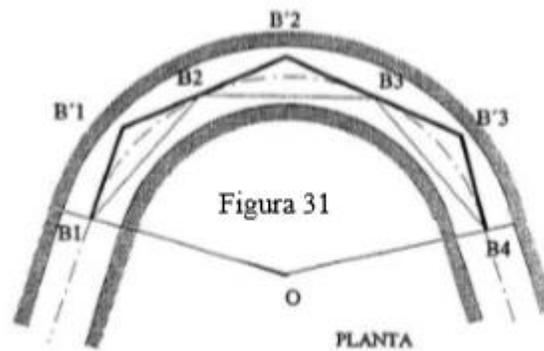


Fuente: (SOSA, 2006)

9.4.1.4. Comprobación. Replanteos dobles.

A medida que progresa la excavación será necesario comprobar que los replanteos efectuados se mantienen dentro de la precisión requerida y que la situación de los puntos no se ha visto afectada por asentamientos del terreno excavado. Por ello se debe realizar el llamado replanteo doble que, basándose en los puntos básicos anteriores o en otros nuevos, realizará los ajustes precisos.

Figura 25. Esquema de la poligonal base para el replanteo doble



Fuente: (SOSA, 2006)

9.4.2. Replanteo desde una red subterránea.

La red superficial, utilizada en el enlace entre bocas, se deberá prolongar en el interior del túnel según avance la excavación, para utilizarla en el replanteo del eje en la zona del frente, y también en la colocación del revestimiento: es la que llamaremos red inicial. Esta red subterránea deberá someterse repetidas veces a sucesivas comprobaciones y ajustes, para mantener la precisión deseada. Estos trabajos son los que se describen en la red de control.

9.4.2.1. Red inicial.

A partir de la red superficial se establecen unas estaciones en el interior del túnel. Deben ser estaciones sólidas y que fijadas a los hastiales o a la bóveda del túnel garanticen su inmovilidad frente a golpes propios de las condiciones del trabajo en espacios reducidos. No obstante, convendrá realizar una cuidadosa reseña del punto. Se deberá tener en cuenta a la hora de elegir su situación, que el sistema de excavación, el de revestimiento y el de transporte del escombros no puedan obstaculizar las observaciones. Convendrá que la base sobre la que se sitúe tanto el aparato como las señales y los prismas sea de centraje forzoso, con la ventaja de la eliminación de los errores de estacionamiento y puntería.

9.4.2.2. Red de control.

La roca e incluso el revestimiento no están inmunes a los movimientos, por lo que se hace imprescindible el control y la verificación constante de la red inicial. Se podrán utilizar las mismas estaciones que en la red primaria o disponer unas nuevas que mejoren la distribución. Incluso en ocasiones se proyecta una red cruzada con la primaria, ambas en zig-zag, y se efectúa el control de ambas.

Figura 26.Red de control.



Fuente: (SOSA, 2006)

9.4.2.3. Control del frente.

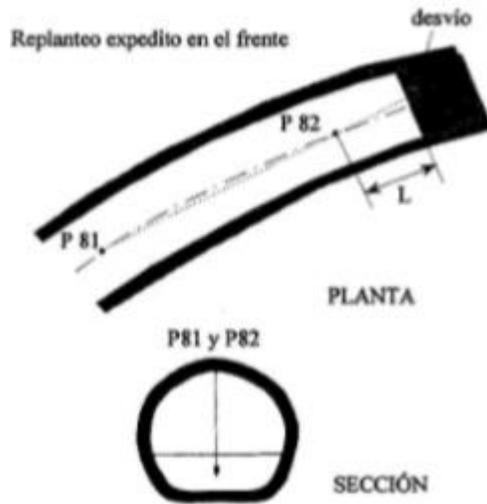
Consistirá en asegurar que la excavación como el revestimiento estén dentro de los límites requeridos. Los instrumentos utilizados en la observación de esta red serán, a ser posible, teodolitos de los de apreciación con distancia metro de precisión, aunque siempre dependerá de la longitud del túnel y de la tolerancia admitida en el encuentro, como ya se ha comentado.

9.4.3. Replanteos expeditos.

Sea cual sea la metodología empleada en el replanteo del eje del túnel, basándose en los puntos replanteados, situados normalmente cada 20 m, el encargado del tajo podrá marcar tanto eje como rasante en el frente de una manera expedita. Para ello utilizará los últimos dos puntos replanteados, situados en el techo del túnel, de los que colgará una plomada. La alineación definida por los hilos de las plomadas la proyectará en el frente de excavación, dirigiendo desde atrás a un operario situado en el frente que será el que marque la línea del eje.

Sin embargo, el replanteo expedito se puede utilizar incluso en curvas más cerradas calculando y tabulando los desvíos, tanto en planta como en alzado, del eje con respecto a la prolongación de la cuerda (Figura 32).

Figura 27. Replanteo expedido en el frente.



Fuente: (SOSA, 2006)

9.4.4. Replanteos con láser.

Un simple emisor de rayos láser situado y alineado con el teodolito suministra una línea fácilmente identificable y un punto reconocible proyectado continuamente sobre el frente del túnel.

Situado convenientemente en la dirección del eje del túnel, o de un eje paralelo, y con la pendiente adecuada, materializa fácilmente tanto la línea como la pendiente. Los emisores de rayos láser pueden disponer de elementos para su perfecto estacionamiento sobre la plataforma en la que se ha replanteado el punto del eje, y tornillería para dirigirlo hacia otro también conocido.

Una de las precauciones necesarias será el uso de al menos una placa con un orificio central por el que atravesará el rayo, y que lo cortará en el caso de que se desvíe inadvertidamente (Figura 26); la zona de utilización del rayo será a partir de dicha placa. Además, se deberán hacer comprobaciones periódicas de su correcta situación.

Figura 28. Placa con orificio.

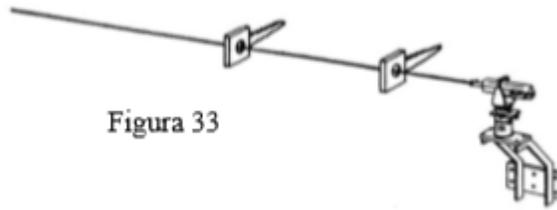


Figura 33

Fuente: (SOSA, 2006)

9.4.5. Guiado de máquinas tuneladoras.

El replanteo de un túnel cuando la excavación se realiza con máquinas tuneladoras, se ve facilitada por la utilización de sistemas de guiado que indican al conductor la posición de la máquina en tiempo real respecto al trazado previsto.

Existen distintos sistemas: los más desarrollados son los dos que a continuación se describen, y que han sido los utilizados en el guiado de las tuneladoras usadas para la construcción del túnel bajo el Canal de la Mancha.

9.4.5.1. Sistema de guiado ZED

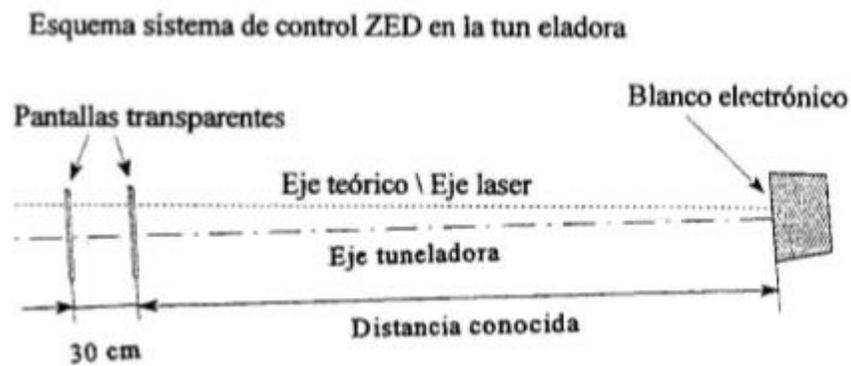
De fabricación inglesa, se trata de un sistema que marca un punto sobre un blanco electrónico solidario con la máquina tuneladora, y situado a unos metros por detrás de la cabeza de corte. El punto es la materialización sobre el blanco, de un haz láser que se emite desde una estación de la red, de coordenadas conocidas, y con una dirección y pendiente también conocida.

La posición del punto respecto al eje de la tuneladora se compara con las teóricas del trazado en el ordenador del sistema, y aparecen visualizadas en una pantalla situada junto al puesto de conducción las diferencias en milímetros entre la posición teórica y la real.

El sistema también calcula la tendencia de avance, que se consigue conocer comparando la posición del impacto del láser al atravesar dos placas transparentes separadas 30 cm. situadas en el mismo eje de la tuneladora que contiene al blanco electrónico, y a una distancia conocida de éste (Figura 34).

El centro de los impactos del haz láser se determina con perfección mediante sensores fotoeléctricos muy precisos. Dos clinómetros magnéticos controlan constantemente el cabeceo y el balanceo de la máquina. Se hace una impresión de dichas informaciones, sistemáticamente en cada avance correspondiente a la anchura de un anillo.

Figura 29. Esquema sistema de control ZED



Fuente: (SOSA, 2006)

9.4.5.2. Sistema de guiado TUMA

Este sistema, ideado por un geómetra alemán, pone en funcionamiento una estación total "de cabeza buscadora" (o motorizada) que, situada en una base de coordenadas conocidas y orientada, está conectada a un ordenador colocado en la cabina de conducción de la tuneladora. Dos prismas reflectores, fijos a la máquina y situados en una posición y eje (paralelo al de la tuneladora) conocidos, son leídos regularmente por la estación total que busca su puntería.

Las diferencias con relación al eje teórico aparecen en la pantalla del ordenador a cada avance de un anillo. También se visualiza la tendencia de la máquina y se imprimen los datos.

Este sistema exige la presencia constante de un operario, debido a la fragilidad del material empleado; no obstante, en caso de avería, es posible reemplazar la estación total motorizada por una clásica y realizar el trabajo manualmente.

9.4.6. Control de la zona del cale.

Cuando la excavación del túnel se realiza desde dos o más frentes, norma habitual, los trabajos de replanteo deben tener la precisión necesaria para que el encuentro de los frentes se realice dentro de las tolerancias establecidas, según el tipo de túnel de que se trate.

La precisión no será igual para un túnel excavado en roca y sin revestimiento, que para uno cuyo revestimiento sea a base de dovelas prefabricadas, que apenas disponen de holgura para su ensamblaje.

Cuando no se tenga la seguridad de poder cumplir las tolerancias, será necesaria la excavación de una larga galería piloto, con el fin de comprobar los errores de cierre de los trabajos topográficos en dirección, cota y distancia, éste último de menor importancia sobre todo en caso de alineación recta.

Esta operación permitirá rectificar la traza del túnel, en caso necesario en el tramo aún no excavado, y obtener un perfecto entronque. Los ajustes de la traza se realizarán manteniendo los límites especificados de curvatura y pendiente. Normalmente será suficiente cambiar los puntos de tangencia de la misma curva o encajar una curva de gran radio si el enlace es en recta. (SOSA, 2006)

10. PROCESOS CON TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA CAPTURA DE INFORMACIÓN ESPACIAL EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES

10.1. herramientas (hardware) utilizadas.

- Estaciones totales.

Sirve para realizar monitoreo en la ejecución del túnel, con una mayor precisión, velocidad y mejora la gestión de información.

Figura 30. Estación total.



Fuente: (GEOSYSTEMS, 2017)

- Escáner laser.

Sirve para obtener datos Geoespaciales de una manera más rápida y precisa, también cuenta con mayor alcance, permitiendo medir un millón de puntos por segundo. Esto se puede utilizar es varios lugares ya sean públicos. (GUÍA DE MATERIALES Y PRODUCTOS , 2017)

Figura 31. Escaner laser.



Fuente: (GUÍA DE MATERIALES Y PRODUCTOS , 2017)

- Tromino para monitoreo de vibraciones.

Esta herramienta obtiene las vibraciones que tiene en terreno, además también sirve para detectar las fallas que son difíciles de detectar por el analista.

Figura 32. Tromino para monitoreo de vibraciones



Fuente: (GUÍA DE MATERIALES Y PRODUCTOS , 2017)

- Geo radar para medición de espesores de hormigón.

Mediante ondas electromagnéticas se puede evaluar es espesor de hormigón utilizado en el proyecto. Esta herramienta es muy precisa.

Figura 33. Geo radar para medición de espesores de hormigón.



Fuente: (GUÍA DE MATERIALES Y PRODUCTOS , 2017)

- Teodolitos de mina.

Estos son diseñados para trabajar dentro de galerías subterráneas, el uso queda exclusivo a tareas de topografía minera, pues todas las tareas de observación y replanteo en un túnel pueden ser efectuadas con instrumental de tipo convencional.

Figura 34. Teodolito mina



Fuente: (GUÍA DE MATERIALES Y PRODUCTOS , 2017)

- Teodolito giroscópico.

Uno de los problemas que se presenta a la hora de trabajar dentro de una galería subterránea es el de la orientación de los trabajos con relación a un sistema de referencia, ya que se tiene de transmitir la orientación desde el exterior a cielo abierto al fondo de un pozo o a una galería. Este teodolito determina la dirección de la meridiana y obtiene la latitud de un punto.

Figura 35. Teodolito giroscópico



Fuente: (GUÍA DE MATERIALES Y PRODUCTOS , 2017)

- Niveles ópticos.

Este calcula el nivel con alta precisión, para ejecutar terrenos, realizar excavaciones, fosas sépticas, entre otras obras.

Figura 36. Niveles ópticos



Fuente: (GUÍA DE MATERIALES Y PRODUCTOS , 2017)

- Niveles digitales electrónicos.

Con esta herramienta se puede validar las alturas, desniveles y distancias en el terreno. El nivel digital facilita, disminuye errores y obtiene más rápidos los datos.

Figura 37. Niveles ópticos



Fuente: (GUÍA DE MATERIALES Y PRODUCTOS , 2017)

- Localizadores y transmisores de señal.

Este localizador encuentra muy fácilmente tuberías y cables que pueden estar en el terreno. Con esto se ahorra mucho dinero y tiempo.

Figura 38. Localizadores y transmisores de señal.



Fuente:(Catálogo para construcción Herramientas para la obra, 2018)

- Extensómetros.

Con esta herramienta se miden la variación de distancia entre 2 puntos, sirve para utilizaron tanto en el exterior como en el interior del túnel, también calcula las deformaciones que se tienen en el terreno.

UTILIDADES

- Monitorea el asentamiento que se genera en la ejecución de las excavaciones, fundaciones y terraplenes.
- Sirve para validar el control del hundimiento del terreno.
- Valida los movimientos de las rocas y el terreno.
- Se valida la compresión de los pilotes.
- también monitorea la convergencia que se genera en las aberturas.

Figura 39. Extensómetros.



Fuente: (Construcción, 2016)

OTRAS HERRAMIENTAS:

- Consolas y plataformas de ajuste:
Sirve para fijar cualquier aparato en pared o superficie rocosa.
- Plataforma de ajuste:
Con esta plataforma se puede variar la plataforma de los instrumentos.
- Mesas de centrado:
Son empleadas en el replanteo y para poder calcular las coordenadas.
- Regletas de centrado o ajuste:
Con estas regletas se puede situar con precisión una marca de referencia de un punto transferido señalado en plata sobre la rasante de excavación.
- Emisores láser:
se utilizan para conocer el direccionamiento de la obra tanto en planta como en alzado.
- Plomadas cenit-nadir:
sirven para efectuar la transferencia de puntos a lo largo de una visual vertical cenit-nadir.
- Plomadas de gravedad (mecánicas):
se usan en trabajos de baja a media precisión y están basadas en un peso colgado a través de un hilo que pasa por el centro del instrumento. Su gran problema son las oscilaciones, actualmente están prácticamente en desuso.

- **Plomadas ópticas:**
para trabajos de alta a muy alta precisión, ya que, para distancias cortas tienen un elevado grado de precisión.
- **Oculares acodados:**
en las tareas de replanteo de un túnel, en muchas ocasiones, debido a la angostura de la galería o las características del estacionamiento que no permite las observaciones para una posición normal del operador, es necesaria la utilización de oculares acodados a fin de poder efectuar lecturas cenitales cercanas a la vertical. También permiten utilizar el taquímetro como plomada cenit-nadir.
- **Miras especiales industriales:**
son miras adaptadas a trabajos en lugares angostos y de poco gálibo. Son de menor longitud que las convencionales y van provista de regatones para su estacionamiento sobre diferentes tipos de señales.
- **Perfiló metros:**
serie de instrumentos especialmente diseñados para la obtención de los perfiles transversales de una galería de túnel.
- **Instrumentación especial para el control de deformaciones:**
son instrumentos diseñados para conocer con un alto grado de fiabilidad las posibles deformaciones que se pueden producir en una galería; se conocen como hilos invar y se basan en un hilo sometido a tensión constante que gracias a un medidor permite conocer con gran rapidez y precisión las variaciones de convergencia entre dos puntos prefijados.

- Señalización de puntos:
se utiliza pintura fluorescente, clavos o, en trabajos de gran importancia, hitos de hormigón. (Salgueiro, 2002)

10.2. APLICACIONES (SOFTWARE) UTILIZADAS, FUNCIONES Y USOS:

- **Software trimble realworks.**

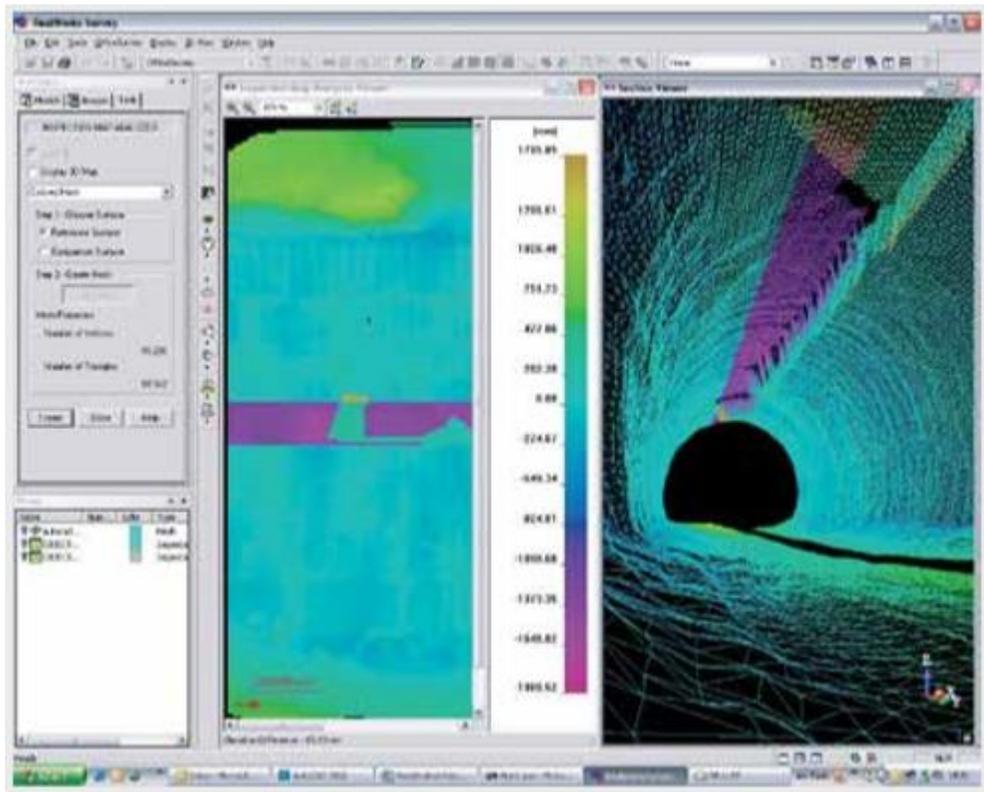
Trimble Realworks es un potente software de oficina que importa numerosos datos de instrumentos de escáner láser 3D y los transforma en resultados 3D. Diseñado para los profesionales multitareas de hoy en día, transformándolo en un referente para la administración de datos de escáner laser 3D y manipulación de éstos datos para su análisis en proyectos de ingeniería.

Es el componente de escritorio para las herramientas de captura en terreno de datos geoespaciales 3D mediante escáner laser 3D como el caso del Trimble TX8, el software Trimble Realworks permite administrar, procesar y analizar eficientemente bloques de datos de gran tamaño con rapidez y precisión, proporcionando confianza en los resultados presentados. (TRIMBLE, 2017)

- APLICACIONES
 - Administrar, procesar y analizar conjuntos de datos de gran tamaño • Administrar conjuntos de datos de gran tamaño con eficiencia mediante técnicas de carga parcial
 - Realizar mediciones de forma inteligente: altura libre semiautomática, proyecciones verticales y horizontales
 - Extraer fácilmente objetivos de los datos escaneados

- Comunicar los resultados mediante generación de vídeo y la exportación a Google Earth (formato kml) en caso de ser requerido
- Realizar un registro totalmente automático de las nubes de puntos capturadas
- Comprobar rápidamente la calidad de los objetivos utilizados en el registro de la nube de puntos
- Generar informes de registro de nube de puntos • Integrar con eficiencia los datos de sensores Trimble GNSS, Ópticos y de instrumentos de escaneado 3D
- Exportar con facilidad al software de diseño CAD de su elección
- Publique resultados de proyecto autónomos para la visualización, medición y anotación independiente.

Figura 40. Software trimble realworks



Fuente: (GUÍA DE MATERIALES Y PRODUCTOS , 2017)

Compara los levantamientos de captura de datos 3D de ejecución con información del diseño, antes y después de los eventos. Las herramientas de inspección avanzadas de Trimble RealWorks se enfocan para aplicaciones de control tales como la ingeniería civil (túneles, carreteras y puentes) y minería. Los productos resultantes proporcionan información más abundante, más detallada y de mayor utilidad para sus clientes. Inspeccione los datos de ubicación, comparándolos con el diseño concreto. Genere y visualice inspecciones, detectando todas las variaciones. Obtenga visualizaciones gráficas 2D y 3D de espacios y deformaciones para analizarlas con facilidad. Importe perfiles y primitivos geométricos de un archivo de diseño CAD en. dxf o dwg, y exporte archivos gráficos en dxf y dgn. Comparta información imprimiendo los resultados directamente utilizando la interfaz de impresión integrada de RealWorks. (GUÍA DE MATERIALES Y PRODUCTOS , 2017)

- Este software también tiene otras versiones para cada etapa.
 - Amberg Tunnel 2.0
Administración de datos de proyecto y evaluación de mediciones.
 - Amberg Geotechnics
Para mediciones Geotécnicas.
 - Amberg Navigator
Solución Basada en Tablet para guiado y control de tareas.
 - Amberg Control
Evaluación de Perfiles con facilidad.
 - Amberg Applications
Solución “a bordo” para la orientación y el control de topografía.

- **Tcp TUNNEL**

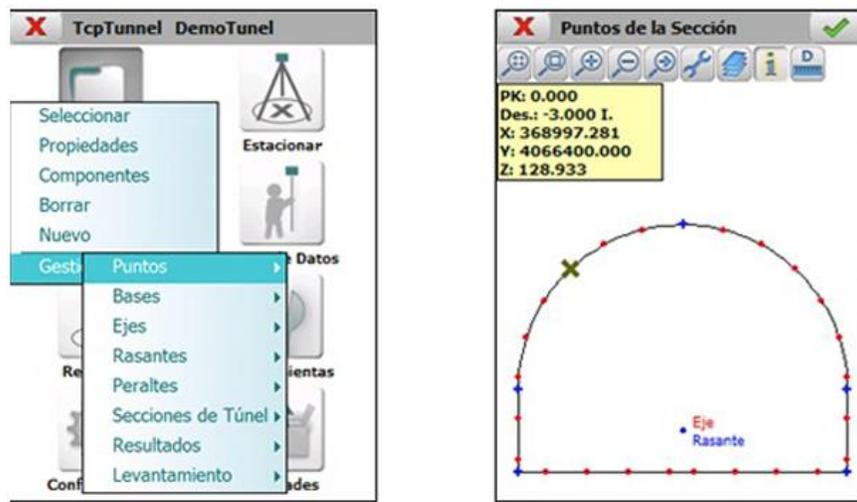
Este Software es para realizar Levantamientos y Replanteos de Túneles, puede ser instalado en la propia estación total convencional o motorizada o en un colector de datos, y dispone de opciones para la toma automática de perfiles y replanteo del frente, pavimento o perfiles del túnel.

El programa tiene el control absoluto sobre la estación total, incluyendo el compensador, el puntero láser, la medición con o sin prisma, en modo fino o grueso, y el estado de la batería, que son monitorizados continuamente. (S.L., 2017)

Permite:

- Definición del proyecto
- Estacionamiento y Orientación
- Toma de perfiles
- Replanteo
- Cálculo de Superficies
- Utilidades

Figura 41. Software Trimble realworks



Fuente: (microgeo, 2017)

- **Tcp Scancyr para túneles.**

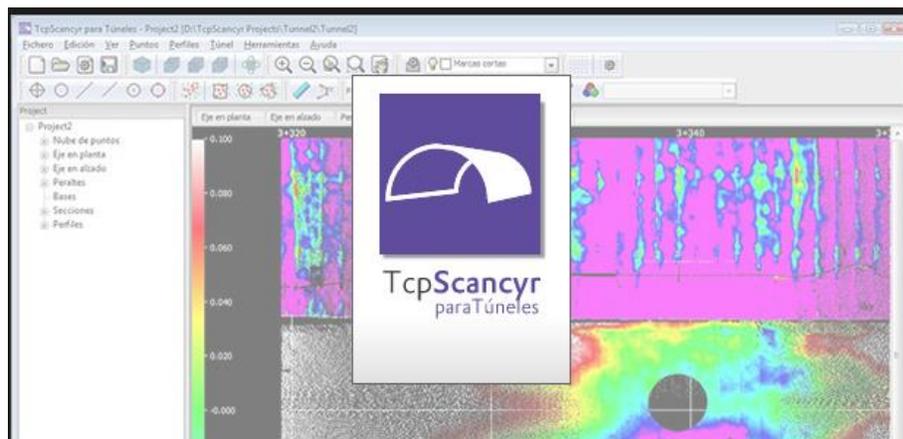
Esta aplicación calcula perfiles transversales de túneles para carreteras o ferrocarriles, a partir de datos de láser escáner.

El proyecto se define a partir del eje en planta y alzado, nubes de puntos en los formatos más habituales y secciones de proyecto. Existen diversas herramientas para el filtrado de puntos manual o automático.

A partir de la nube se calculan los perfiles transversales, que pueden ser modificados mediante un potente editor. Pueden mostrarse en 2D o 3D, mostrando las zonas de infra y sobre-excavación, y también pueden exportarse a DXF, con múltiples opciones de personalización.

El programa también genera otros resultados tales como informes de áreas y volúmenes, desviación del eje real, mapa de inspección, orto imágenes y simulación en video de recorrido por el túnel. (Tunnels, 2017)

Figura 42. Tcp Scancyr para túneles.



Fuente: (aplitop, 2018)

- **Riscan pro, Riegl's**

RiSCAN PRO es el software complementario para RIEGL Terrestre 3D Laser Scanner Systems. RiSCAN PRO está orientado a proyectos, es decir, los datos completos adquiridos durante una campaña de medición se organizan y almacenan en la estructura del proyecto RiSCAN PRO. Estos datos incluyen escaneos, escaneos finos, imágenes digitales, datos de GPS, coordenadas de puntos de control y puntos de enlace, y todas las matrices de transformación necesarias para transformar los datos de escaneos múltiples en un sistema de coordenadas común bien definido. (RIEGL, 2017)

- **IBM**

Es el software de análisis predictivo que ofrece técnicas avanzadas en un paquete fácil de usar que ayuda a encontrar nuevas oportunidades, mejorar la eficiencia y minimizar el riesgo. Así mismo, proporciona informes y análisis estadísticos, minería de datos y análisis de big data. (IBM, 2018)

11. EXPERIENCIAS DE USO DE TECNOLOGÍAS.

11.1. Construcciones en Colombia.

En el siguiente cuadro se muestra la información lograda sobre los hardware y software utilizada en Colombia, esta información fue obtenida mediante las entrevistas a los ingenieros que trabajan o han trabajado en los proyectos de los tuneles, No se brinda información personal de estos ingenieros debido a su indicación de no autorización debido a su solicitud en acuerdo al compromiso de confidencialidad que tienen con sus empresas.

De acuerdo a las entrevistas algo que causa preocupación es la falta de seguimiento en la etapa de operación, ya que allí se observa que no se están realizando todos los estudios y seguimientos de mediciones espaciales necesarios.

Tabla 1. Información de hardware y software utilizada en túneles de Colombia.

TUNEL							
No.	Tecnología	1	2	3	4	5	6
		Boquerón	Línea	Occidente	Ruta del sol	Daza	Túnel 8
		Bogotá - Villavicencio	Ibagué - Armenia	Medellín - Antioquia	Cune - troncal del caribe	Pasto - Popayán	Guaduas - puerto salgar
HARDWARE							
1	Teodolito de mina	√	√	√	√	√	√
2	Teodolito giroscópico.	√	√	√	√	√	√
3	Estación total	√	√	√	√	√	√
4	Estación total Laser						
5	Scanner laser	√	√	√			
6	Niveles ópticos.	√	√	√	√	√	√
7	Niveles digitales.						
8	Localizadores y trans- misores de señal.						

9	Tromino para monitoreo de vibraciones.						
10	Geo radar para medición de espesores de hormigón.						
11	Extensómetros	√	√	√	√	√	√
SOFTWARE							
1	Hojas de calculo	√	√	√	√	√	√
2	Riscan pro, riegls						
3	Tcp Scancyr para túneles.						
4	Tcp TUNNEL						
5	software trimble realworks.						
6	International Business Machines Corporation	√	√	√	√	√	√

Fuente: Propia.

12. TECNOLOGÍA APLICADA Y APLICABLE, INFORMACIÓN ESPACIAL EN TÚNELES

Tabla 2. Información de hardware y software utilizada en túneles de Colombia.

Etapa	Proceso	Objetivo	Producto	Hardware	Hardware-Tecnología de punta	Software
PLANEACION	Modelo general del terreno	Estudios sobre el estado actual del terreno	Mapas e informes	Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira, ploma Mira, teodolito, rayo laser, brujulas, Tromino para monitoreo de vibraciones.	Teodolito, Tromino para monitoreo de vibraciones, Niveles ópticos, Niveles digitales, Localizadores y transmisores de señal	Hojas electrónicas, Amberg Geotechnics
DISEÑO	Planta general	Se sitúan los puntos definitorios del estado de alineaciones y Se muestra zonas de acceso al túnel, como son las boquillas y las rampas y pozos de ataque intermedios.	Mapas e informes	Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira, ploma Mira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Niveles ópticos, Niveles digitales, Localizadores y transmisores de señal.	*Amberg Control, Amberg Applications, Amberg Navigator, Tcp TUNNEL, Tcp Scancyr para túneles, Riscan pro, Riegl's, IBM,
	perfil longitudinal	Indicarán las pendientes, acuerdos parabólicos, cotas, etc. Se indicarán todas las obras subterráneas con las que se cruce o a las que pueda afectar el túnel proyectado.	Mapas e informes	Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira, ploma Mira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Niveles ópticos, Niveles digitales.	*Amberg Control, Amberg Applications, Amberg Navigator, Tcp TUNNEL, Tcp Scancyr para túneles, Riscan pro, Riegl's, IBM,
	secciones	Se indican las dimensiones, elementos y revestimientos en los diferentes tramos del túnel.	Mapas e informes	Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira, ploma Mira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Teodolitos de mina, Niveles ópticos, Niveles digitales.	*Amberg Control, Amberg Applications, Amberg Navigator, Tcp TUNNEL, Tcp Scancyr para túneles, Riscan pro, Riegl's, IBM,
	planimétricos	Se realiza la red de enlace entre bocas y paso de línea por montera	Mapas e informes	Gps, Estaciones totales, Teodolitos de mina, Niveles ópticos, Niveles digitales, Extensómetros.	Estaciones totales, Escáner laser, Teodolitos de mina, Teodolito giroscópico, Niveles digitales, Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	*Amberg Control, Amberg Applications, Amberg Navigator, Tcp TUNNEL, Tcp Scancyr para túneles, Riscan pro, Riegl's, IBM,

DISEÑO	Altimétricos	Se realiza la nivelación entre bocas y el perfil longitudinal por montera	Mapas e informes	Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira, ploma Mira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Estaciones totales, Escáner laser, Teodolitos de mina, Teodolito giroscópico, Niveles digitales, Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	*Amberg Control, Amberg Applications, Amberg Navigator, Tcp TUNNEL, Tcp Scancyr para túneles, Riscan pro, Riegl's, IBM,
	Replanteo exterior	proyecta de rampa, definiendo el punto del eje del túnel al que debe acceder y el punto de inicio en la superficie. Se define la planta suele ser una recta, por ser el trayecto más corto entre dos puntos.	Mapas e informes	Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira, ploma Mira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Estaciones totales, Escáner laser, Teodolitos de mina, Teodolito giroscópico, Niveles digitales, Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	*Amberg Control, Amberg Applications, Amberg Navigator, Tcp TUNNEL, Tcp Scancyr para túneles, Riscan pro, Riegl's, IBM,
	Control de excavacion	prevenir daños	Mapas e informes	Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira, ploma Mira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Estaciones totales, Escáner laser, Teodolitos de mina, Teodolito giroscópico, Niveles digitales, Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	*Amberg Control, Amberg Applications, Amberg Navigator, Tcp TUNNEL, Tcp Scancyr para túneles, Riscan pro, Riegl's, IBM,
	transmisión de la planimetría y la altimetría	comprobación en el fondo del pozo de la transmisión efectuada	Mapas e informes	Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira, ploma Mira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Estaciones totales, Escáner laser, Teodolitos de mina, Teodolito giroscópico, Niveles digitales, Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	*Amberg Control, Amberg Applications, Amberg Navigator, Tcp TUNNEL, Tcp Scancyr para túneles, Riscan pro, Riegl's, IBM,
	Replanteo por el eje	observación de la red incorporando los puntos definitivos de las bocas del túnel	Mapas e informes	Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira, ploma Mira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Estaciones totales, Escáner laser, Teodolitos de mina, Teodolito giroscópico, Niveles digitales, Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	*Amberg Control, Amberg Applications, Amberg Navigator, Tcp TUNNEL, Tcp Scancyr para túneles, Riscan pro, Riegl's, IBM,
	Replanteo desde una red subterránea	se prolonga en el interior del túnel según avance la excavación, para utilizarlar en el replanteo del eje en la zona del frente, y también en la colocación del revestimiento,	Mapas e informes	Extensómetros, Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira, ploma Mira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Estaciones totales, Escáner laser, Teodolitos de mina, Teodolito giroscópico, Niveles digitales, Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	*Amberg Control, Amberg Applications, Amberg Navigator, Tcp TUNNEL, Tcp Scancyr para túneles, Riscan pro, Riegl's, IBM,

CONSTRUCCION	Frente de trabajo en el túnel.	Disminuir el tiempo construcción	Informes	Extensómetros, Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira,plomaMira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Estaciones totales,Escáner laser, Teodolitos de mina,Teodolito giroscópico, Niveles digitales,Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	Amberg Tunnel 2.0 Amberg Navigator, Amberg Applications, Tpc Scancyr para túneles, IBM, Riscan pro, Riegl's
	Fortificación de entradas y excavación de socavación.	Se realiza para iniciar los trabajos de excavacion	Mapas e informes	Extensómetros, Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira,plomaMira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Estaciones totales,Escáner laser, Teodolitos de mina,Teodolito giroscópico, Niveles digitales,Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	Amberg Tunnel 2.0 Amberg Navigator, Amberg Applications, Tpc Scancyr para túneles, IBM, Riscan pro, Riegl's
	Abertura de la bóveda en los túneles.	inicio de excavacion	Mapas e informes	Extensómetros, Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira,plomaMira, teodolito, rayo laser	Estaciones totales,Escáner laser, Teodolitos de mina,Teodolito giroscópico, Niveles digitales,Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	Amberg Tunnel 2.0 Amberg Navigator, Amberg Applications, Tpc Scancyr para túneles, IBM, Riscan pro, Riegl's
	Excavación.	Según el terreno se puede realizar la excavación del túnel con una sección más o menos grande	Informes	Extensómetros, Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira,plomaMira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Estaciones totales,Escáner laser, Teodolitos de mina,Teodolito giroscópico, Niveles digitales,Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	Amberg Tunnel 2.0 Amberg Navigator, Amberg Applications, Tpc Scancyr para túneles, IBM, Riscan pro, Riegl's
	El arranque.	Se realiza empieza la excavacion según el metodo escogido.	Informes	Extensómetros, Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira,plomaMira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Estaciones totales,Escáner laser, Teodolitos de mina,Teodolito giroscópico, Niveles digitales,Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	Amberg Tunnel 2.0 Amberg Navigator, Amberg Applications, Tpc Scancyr para túneles, IBM, Riscan pro, Riegl's
	El sostenimiento.	Evitar derrumbe en el proyecto	informes	Extensómetros, Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira,plomaMira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Estaciones totales,Escáner laser, Teodolitos de mina,Teodolito giroscópico, Niveles digitales,Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	Amberg Tunnel 2.0 Amberg Navigator, Amberg Applications, Tpc Scancyr para túneles, IBM, Riscan pro, Riegl's
	Micro túnel.	proporcionar un método no destructivo para la instalación de tuberías y conductos subterráneos en comparación con la apertura de zanjas	Mapas e informes	Extensómetros, Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira,plomaMira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Estaciones totales,Escáner laser, Teodolitos de mina,Teodolito giroscópico, Niveles digitales,Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	Amberg Tunnel 2.0 Amberg Navigator, Amberg Applications, Tpc Scancyr para túneles, IBM, Riscan pro, Riegl's
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	operación	Se enfoca en la parte de seguridad y prevencion de accidentes, ademas el procedimiento para la correcta operación del tunel.	Informe	Extensómetros, Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira,plomaMira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Estaciones totales,Escáner laser, Teodolitos de mina,Teodolito giroscópico, Niveles digitales,Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	Amberg Tunnel 2.0 Amberg Navigator, Tpc Scancyr para túneles, IBM, Riscan pro, Riegl's
	mantenimiento	Recoge los medios y procedimientos para mantener en las mejores condiciones de servicio a las instalaciones disponibles en el tunel.	Informe	Extensómetros, Perfil metro, plomadas de gravedad, emisor láser cinta o mira,plomaMira, teodolito, rayo laser, brujulas,	Estaciones totales,Escáner laser, Teodolitos de mina,Teodolito giroscópico, Niveles digitales,Niveles ópticos. Localizadores y transmisores de señal.	Amberg Tunnel 2.0 Amberg Navigator, Tpc Scancyr para túneles, IBM, Riscan pro, Riegl's

Fuente: Propia

13. Conclusiones.

- De acuerdo a la investigación realizada sobre tecnología para producir información espacial en proyectos de construcción de túneles viales en Colombia, se observa que en Colombia no se cuenta con la suficiente información y conocimiento sobre los proyectos de túneles, debido a que este campo es prácticamente nuevo y poco estudiado académica y profesionalmente, como lo podemos ver en la Universidad Católica de Colombia en la cual no se ha propuesto una asignatura obligatoria o electiva sobre túneles.
- De acuerdo a la investigación y entrevistas realizadas, en Colombia no se están implementando los Hardware de tecnología de punta y los softwares para los proyectos de túneles de carreteras, ya que no se cuenta con el suficiente conocimiento de estos implementos y también creen que los costos del proyecto se incrementan mucho, lo cual habría que demostrar en función de los riesgos de no contar con información oportuna.
- Según las entrevistas realizadas a los ingenieros, encontramos que una de sus grandes preocupaciones es que en Colombia no se está realizando el seguimiento necesario en las etapas de construcción y operación-mantenimiento, lo que puede estar generando un alto grado de riesgos, imprevistos, accidentalidad y mala operación en el túnel, estas etapas deberían tener un sistema casi automático de medición de deformaciones y presiones detrás de los revestimientos dentro de todo el sistema de instrumentación y control debido al riesgo natural, social y económico que implica la infraestructura.
- De acuerdo a la investigación y a las entrevistas realizadas, el hardware y software de punta, sirven para reducir, tiempo, riesgos, costos y también para prevenir accidentes en la ejecución del proyecto.

14. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda al programa de ingeniería civil de la Universidad católica de Colombia y de las demás Universidades en Colombia, incluir asignatura sobre túneles debido a la importancia que esto tiene en la ingeniería civil, además es muy importante para los egresados ya que así pueden disponer de mayor visión de su campo profesional y ser más competitivos en el área laboral.

15. Bibliografía

aplitop. 2018. aplitop aplicaciones de topografía. *aplitop aplicaciones de topografía*. [En línea] © 2018 Aplitop S.L., 01 de 01 de 2018. [Citado el: 05 de 04 de 2018.]
<https://www.aplitop.com/software/tcp-scancyr-tuneles>.

Austria, Juan de. 2008. TOPOGRAFIA, ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS TECNICOS EN. *geoasbuilt.es*. [En línea] ABRIL de 2008. [Citado el: 8 de Septiembre de 2017.]
<http://geoasbuilt.es/tutoriales/articulos/contenido.pdf>.

Blessent, Daniela. 2016. *ANALISIS DE LA AFECTACIÓN HIDROGEOLOGICA DE LA CONSTRUCCIÓN DE TUNELES VIALES*. medellin : Universidad de Medellín, Ingeniería Ambiental, 2016.

Castro, Paola. 2013. *GEOMETRIA APLICACION A LA INGENIERIA CIVIL*. Bogota : Universidad la gran colombia , 2013.

Catálogo para construcción Herramientas para la obra. AG, Leica Geosystems. 2018. Heerbrugg, Suiza : leica-geosystems., 2018, Vol. 1.

COLOMBIA DE TÚNELES: TÚNELES CARRETEROS. OSORIO, JESÚS DAVID. 2016. bogota : COPYRIGHT CONCRETO, 2016, Vol. I.

COLOMBIA, UN PAÍS DE TÚNELES. OSORIO, JESÚS DAVID. 2016. Bogota : 360 GRADOS, 2016, Vol. I.

Comunicaciones, Ministerio de Transporte y. 2014. *Manual de tuneles*. Lima : Progreso para todos PERU, 2014. NTC 15-2014.

Construcción, Patología Rehabilitación. 2016. Patología Rehabilitación Construcción. *Patología Rehabilitación Construcción*. [En línea] constrccion , 01 de 01 de 2016. [Citado el: 06 de 04 de 2018.] <https://www.patologiasconstruccion.net/2016/05/instrumentacion-aplicada-la-edificacion-5-extensometros-1-2/>.

Diana Arias, William Diaz. 2016. *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES DE LADERA: COLOMBIA*. Bogota : UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, 2016. 1.

Elliot, Ledezma Monreal Irving. 2003. *Aplicaciones de la trigonometría en la ingeniería civil*. s.l. : © All Rights Reserved, 2003.

ELTIEMPO. 2. EL TIEMPO. *EL TIEMPO*. [En línea] 2 de 2 de 2. [Citado el: 1 de SEPTIEMBRE de 2017.] <http://www.eltiempo.com/multimedia/fotos/colombia8/tuneles-mas-largos-de-colombia/16421007>. 1.

Estado, carreteras del. 2009. *REQUISITOS MÍNIMOS SEGURIDAD EN TÚNELES*. s.l. : SEGURIDAD EN TÚNELES , 2009.

FCFM, Pregrado Departamento de. 2017. Facultad de ciencias físicas y matemáticas universidad de Chile. *Facultad de ciencias físicas y matemáticas universidad de Chile*. [En línea] 2017. [Citado el: 10 de 09 de 2017.] <http://ingenieria.uchile.cl/carreras/4974/ingenieria-civil-matematica.uchile.cl/i4974>.

ferrocarriles., Direccion general de caminos y. 2014. *MANUAL DE CARRETERAS TUNELES, MUROS Y OBRAS COMPLEMENTARIAS*. Lima : PERU, progreso para todos, 2014. N°15-2014-MTC/14.

GEOSYSTEMS, HEXAGON. 2017. HEXAGON GEOSYSTEMS. *HEXAGON GEOSYSTEMS*. [En línea] Leica Geosystems AG - Part of Hexagon, 01 de 02 de 2017. [Citado el: 16 de 05 de 2018.] <https://leica-geosystems.com/products/construction-tps-and-gnss/robotic-total-stations/leica-icon-robot-60>.

GONZALEZ, HUMBERTO SOSA. 1990. *FUNDAMENTOS SOBRE EXCAVACION DE TUNELES*. Quito : s.n., 1990.

González, Patricia . González, Patricia Ortega. Topografía aplicada a la excavación de túneles. 2004. 1, s.l. : Cimbra, 2004, Vol. I.

GUÍA DE MATERIALES Y PRODUCTOS . ALVAREZ, Mauricio. 2017. Marchant Pereira 221 Of.11,, CHILE : Beplan Estudio SpA, 2017, Vol. 5.

herramientas, emaquinas y. 2014. *emaquinasyherramientas. emaquinasyherramientas*. [En línea] espaciomarketing, 18 de 12 de 2014. [Citado el: 02 de 04 de 2018.] <http://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-de-medicion/introduccion-al-nivel-optico>.

Hun, Clemente Poon. 2016. *Manual de diseño y construcción de túneles de carretera*. Mexico : dgst, 2016. 03240 México, D.F.

Hung, Clemente Poon. 2016. *Manual de diseño y construcción*. Mexico : Col. Acacias, 2016. 03240.

IBM. 2018. IBM. *IBM*. [En línea] IBM , 01 de 01 de 2018. [Citado el: 06 de 04 de 2018.] <https://www.ibm.com/analytics/co/es/technology/spss/>.

Juan garcia, Juan davila. 2015. Manual para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de túneles. Quindío : s.n., 2015.

Litis. 2018. arquitectura y construccion. *arquitectura y construccion*. [En línea] parro, 2018. [Citado el: 01 de 04 de 2018.] <http://www.parro.com.ar/definicion-de-emplazamiento>.

lopez, Andres. 2012. upcommons. *upcommons*. [En línea] 29 de 06 de 2012. [Citado el: 01 de 04 de 2018.] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16327/722-TES-CA-5655.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

López, José Hilario. 2015. El mundo. *Túneles viales en Colombia*. [En línea] 1 de julio de 2015. [Citado el: 10 de 09 de 2017.] http://www.elmundo.com/portal/opinion/columnistas/tuneles_viales_en_colombia.php#.WbtctL LyjIU.

lopez, Miguel. 2015. *Manual excava tuneles*. 2015.

MARTIN, Antonio GARCIA. 2003. *AMPLIACIÓN DE TOPOGRAFÍA MINERA*. MADRID : EICM, 2003. IT Minas .

microgeo. 2017. microgeo . *microgeo*. [En línea] geodesia, 01 de 01 de 2017. [Citado el: 03 de 04 de 2018.] <http://geodesia.microgeo.cl/producto/tcp-tunnel/>.

Ministerio de Obras Públicas, MOP. 2010. Dirección de Vialidad chile. *Dirección de Vialidad chile*. [En línea] Ministerio de Obras Públicas, MOP, 2010. [Citado el: 8 de septiembre de 2017.] <http://www.vialidad.cl/acercadeladireccion/Paginas/default.aspx>.

Moratalla, Agripina Sanz y Ascensión. 1998. *Geometría en la Arquitectura*. Madrid : Publicaciones de la E.T.S., 1998.

NAVARRO, SALVADOR. 2010. *GEOTECNIA APLICADA A LA CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES*. 2010.

Neira, Merari. 2016. *Factibilidad del Proyecto Empresarial*. s.l. : Cooperativa de ahorro y credito endogena mapuche Kume mogen Limitada., 2016.

Piaggio, Giorgio. 2015. *Diseño y construcción de túneles*. chile : cdt, 2015.

PINEDA, PABLO FRANCISCO HUERTAS. 2016. *PROCESOS CONSTRUCTIVOS PARA TÚNELES VIALES DESARROLLADOS EN COLOMBIA*. Bogota : UNIVERSIDAD SANTO TOMAS, 2016. 11.

—. **2016.** *PROCESOS CONSTRUCTIVOS PARA TÚNELES VIALES DESARROLLADOS EN COLOMBIA* . Bogota : universidad, 2016.

Piqueras, Víctor Yepes. 2013. *Método belga de construcción de túneles*. Valencia : Universidad politecnica de valencia, 2013.

RIEGL. 2017. RIEGL . *RIEGL* . [En línea] RIEGL , 01 de 1 de 2017. [Citado el: 06 de 04 de 2018.] <http://www.riegl.com/products/software-packages/riscan-pro/>.

- Rodgers, Kirk P. 1987.** *oas. oas.* [En línea] 1987. [Citado el: 01 de 04 de 2018.] <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea49s/ch01.htm#TopOfPage>.
- Rodriguez, Jorge E. Ardila & Antonio J. 2013.** *Túneles Viales de Carretera en Colombia, Historia, Desarrollo y Perspectivas.* Buenos Aires : actos, 2013. 1.
- Rodriguez., Daniel Monroy y Jaime. 2016.** *ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN.* bogotav : UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, 2016. 1.
- Rojas, John J. 2010.** CivilGeeks.com. *CivilGeeks.com.* [En línea] WordPress |, agosoto de 2010. [Citado el: 08 de septiembre de 2017.] <https://civilgeeks.com/nosotros/>.
- S.L., Aplitop. 2017.** *TcpTunnel.* Málaga - Spain : Setting Out and Surveying for Tunnels, 2017.
- SAAVEDRA, PEDRO ROBERTO SOTO. 2004.** *CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES.* chile : s.n., 2004. 1.
- Salgueiro, Gabriel Lorenzo. 2002.** *TOPOGRAFIA DE TUNELES.* CHILE : 35.569.418-X, 2002. 35.569.418-X.
- Sena. 2005.** Toposena files wordpress. *Toposena files wordpress.* [En línea] 2005. [Citado el: 9 de septiembre de 2017.] <https://toposena.files.wordpress.com/2012/07/tuneles.pdf>.
- senado, Secretaria del. 2005.** Secretaria del senado. *Secretaria del senado.* [En línea] 2005. [Citado el: 8 de septiembre de 2017.] http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0105_1993.html.
- Serra, Miquel Estruch. 2003.** *Topografía subterránea para minería y obras.* Cataluña : LIGHTNING SOURCE, 2003. B-8544-2003 .
- SOSA, Adrián GUSTAVO. 2006.** *TOPOGRAFIA SUBTERRANEA.* CHILE : s.n., 2006.
- T, Mario R. Zabala. 2008.** *ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS DE TIPO AMBIENTAL GENERADOS EN CONSTRUCCIONES DE TÚNELES VIALES.* Barcelona : s.n., 2008.
- Termogram. 2018.** Termogram. . *Termogram.* . [En línea] iTarget Marketing |, 01 de 01 de 2018. [Citado el: 01 de 04 de 2018.] <https://termogram.com/analizadores-de-vibracion-portatiles/azima-expertalert>.
- Topografía aplicada a la excavación de túneles.* **patricia, Gonzales. 2004.** 1, s.l. : cimbra, 2004, Vol. I.
- TRIMBLE. 2017.** Copyright & Trademark . *Copyright & Trademark* . [En línea] Partners, 02 de 01 de 2017. [Citado el: 16 de 05 de 2018.] <http://www.trimble.com/survey/trimble-access-is-tunnels.aspx>.

Tunnels, TcpScancyr for. 2017. *TcpScancyr for Tunnels* . Málaga - Spain : - © APLITOP, 2017.

VIÉ, G. 1971. *Excavion de tuneles en seccion total y perforacion en roca*. España : revisata csic, 1971. Vol. 24, nº 233 .