

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Propuesta de metodología para monitoreo estructural de
túneles, Caso Túnel de Guayasamín.
Proyecto de Investigación**

Jacob Isaías Villacis Villacis

Ingeniería Civil

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Civil

Quito, 19 de diciembre de 2016

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO CIENCIAS E INGENIERIA POLITECNICO

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Propuesta de metodología para monitoreo estructural de
túneles, Caso Túnel de Guayasamín.**

JACOB ISAIAS VILLACIS VILLACIS

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Fabrizio Yépez, Dr. Ingeniería Civil

Firma del profesor

Quito, 19 de diciembre de 2016

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Jacob Isaías Villacis Villacis

Código: 00024274

Cédula de Identidad: 1712619137

Lugar y fecha: Quito, 19 de diciembre de 2016

DEDICATORIA

El presente trabajo quiero dedicar a Dios, mi familia, mi hijo Jacob, a Paulina, y mis amigos; ellos han sido personas que han estado en momentos claves en mi vida, solo tengo como mensaje el siguiente párrafo “La mente es como un paracaídas, solo funciona si se abre” Albert Einstein.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer principalmente a la USFQ, en donde acumule y forje mis conocimientos, y en especial a tres amigos y profesores de acá, Fabricio, Ximena y Fernando; ellos han sido personas que han sabido cómo enseñar y compartir sus conocimientos y experiencias con mi persona, agradezco a mi padre, el cual siempre ha estado presente en mi vida, le agradezco a Dios por permitirme culminar con éxito este pequeño gran paso que estoy seguro será el primero de muchos más. Quiero agradecer también a una gran persona que también me enseñó a estudiar y ver las cosas desde otro punto de vista, “la Caro” como se decir yo, muchas gracias. UIO12/2016

RESUMEN

Con el presente trabajo se busca desarrollar una metodología adecuada de monitoreo geométrico estructural con el propósito de mantener estrictamente los diseños originales en túneles. En la actualidad en el Ecuador no existe una guía o metodología para realizar un correcto Monitoreo Geométrico Estructural de cualquier estructura; este análisis se realiza solamente en obras de gran importancia. No existe una documentación adecuada ni desarrollada, con fundamento y conocimiento para aplicarlo a la ingeniería civil. Una Gerencia de Proyectos adecuada debe incluir conceptos de monitoreo geométrico de las estructuras. Además, obras construidas con estos principios permiten un sencillo control de su vida útil pues con el tiempo se podría medir deflexiones, especialmente en túneles, y así poder tomar acciones adecuadas de mantenimiento y reparación de las mismas. El presente trabajo busca concientizar el uso de tecnología de monitoreo estructural, de esta forma tendremos una mejor información estadística de las estructuras del país.

Palabras clave: Monitoreo, hormigón, Túneles, Instrumentación, Geotecnia, Auscultación, GPS, Inclinómetro, Asentamiento.

ABSTRACT

The current work aims to develop an appropriate methodology for structural geometrical monitoring in order to strictly maintain the original design of tunnels. Nowadays in Ecuador there is no guide or methodology to perform an adequate structural geometrical monitoring of any type of structure; this technique is only used on constructions of great importance. There is no documentation adequate or developed with knowledge and principles to apply it on construction engineering. A correct Project Management must include concepts of geometrical monitoring of structures. Moreover, constructions built under these principles allow a simple useful life control since deflections could be measured over time, especially in tunnels; this would allow to take appropriate actions regarding maintenance y reparation of them. The present work aims to raise awareness of the use of structural geometrical monitoring technology in order to obtain better statistics on the structures over the country.

Key words: Monitoring, concrete, Tunnel, Instrumentation, Geotechnics, auscultation, GPS, inclinometer, settlements.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	9
Capítulo 1	9
1.1 Túnel Guayasamín:	15
1.2 Objetivos	16
Desarrollo del Tema	17
Capítulo 2	17
2.1 Información Técnica del Proyecto	17
2.2 Cartografía	18
2.3 Topografía	19
2.4 Mapeos Geológicos de la Zona.....	19
2.5 Parámetros de precisión.....	19
2.6 Planificación Previa o estratégica de puntos a monitorear	20
2.7 Monitoreo Asistido.....	23
2.8 Monitoreo Mecánico.....	23
2.9 Poligonales Internas.....	25
2.10 Escaneo Interno	27
2.10.1 Escaneo Preliminar del Túnel Guayasamín.....	27
2.11 Mapeo de fisuras de Túnel.....	29
2.12 Metodología de aplicación al monitoreo	30
2.13 Instrumentación Monitoreo Mecánico.....	31
2.13.1 Periodos de Monitoreo.....	31
2.14 Parámetros estructurales- geotécnicos del cuerpo a monitorear	31
2.15 Resultados y beneficios del monitoreo al túnel Guayasamín	35
2.16 Costos de aplicación y tiempos de desarrollo.....	35
Conclusiones.....	38
Referencias.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Túnel Guayasamín Interior Fuente: Jose Cartelone	17
Ilustración 2 Tabla Descripción Túnel Guayasamín	17
Ilustración 3 LIDAR	18
Ilustración 4 Métodos y Técnicas Parámetros Deslizamientos	20
Ilustración 5 Clasificación de la estructura Fuente US Army Corps and Enginners	22
Ilustración 6 Ubicación 16 puntos GPS Fuente Propia	24
Ilustración 7 Túnel Guayasamín Fuente : Google Maps/ Autoría Propia	25
Ilustración 8 Monumentación Puntos Red control Micro geodésico Fuente Universidad Técnica de Turquía	25
Ilustración 9 Monumentación Poligonales internas del túnel	26
Ilustración 10 Ubicación Prismas en Túnel Fuente Propia	26
Ilustración 11 Mini Prisma para Monitoreo Fuente Leica Geosystems	27
Ilustración 12 Puntos Escaneados del Túnel Guayasamín	27
Ilustración 13 Modelo Digital de Terreno Túnel Guayasamín Portal de Entrada	28
Ilustración 14 Leica TS15 Kumonos	29
Ilustración 15 Imágenes resultados Georadar en Hormigón Armado	30
Ilustración 16 Secciones Tipo 1 y Tipo 2 Fuente Astec	32
Ilustración 17 Secciones Tipo 3,4 y 5	32
Ilustración 18 Tipos de Sostenimiento Túnel de Guayasamín	33
Ilustración 19 Tipos de Sostenimiento Fuente ASTEC	33
Ilustración 20 Corte Implantación Túnel con Deslizamiento Activo Fuente Astec	34
Ilustración 21 Planta Ubicación deslizamiento Activo entrada de Túnel Fuente ASTEC	34
Ilustración 22 Evaluación Costos de Monitoreo	36
Ilustración 23 Cálculo Costo Personal	36
Ilustración 24 Costo entrada a Monitoreo mensual	36

INTRODUCCIÓN

Capítulo 1

En la actualidad, en el Ecuador los procesos de monitoreo en el país, son una práctica poco frecuente, debido al alto costo de los mismos. Se puede definir al Monitoreo, como el proceso continuo de recolección y análisis de datos cualitativos y cuantitativos, con base a los objetivos planteados en un programa o proyecto, que tiene como propósito descubrir fortalezas y/o debilidades para establecer líneas de acción en un proyecto o estructura, lo cual permite brindar información relevante del comportamiento físico de la estructura en su interior. (Perez & Gardey, 2016). (Vila, Jimenez, & Garzon, 2012). De manera general un monitoreo está compuesto de mediciones e inspecciones visuales.

La necesidad de encontrar nuevas metodologías que permitan evaluar el desempeño de una infraestructura, ante la ocurrencia de fenómenos naturales como, sismos, inundaciones u otros eventos y que ayuden a mitigar sus efectos es una prioridad de cualquier persona que tenga una infraestructura importante y principalmente del estado quien es el responsable de las grandes infraestructuras como túneles, hidroeléctricas, puentes, etc. (Mendoza, 2012)

En los últimos años el desarrollo de las estructuras Smart o inteligentes y el monitoreo estructural son conceptos en la ingeniería civil nuevos y que se han convertido en los más atractivos de esta década. Pero en el campo de la ingeniería civil se han tomado ideas básicas de las industrias aeronáutica, aeroespacial y automotriz; esto ha ayudado al desarrollo de tecnologías especializadas como la fabricación de sensores, diseño de sistemas de monitoreo, análisis y toma de decisiones (Glišić, Inaudi, & Daniele, 2007)

Debido al uso de nuevos materiales, tecnologías de construcción y sistemas estructurales que se utilizan en la actualidad, es necesario conocer más sobre el desempeño de los mismos, así como sus propiedades, de esta forma, a la hora del diseño, se pueda establecer mejores métodos para verificar su rendimiento. (Mendoza, 2012), pero la degradación de los materiales o el daño de los elementos estructurales son razones que reafirman aún más la necesidad de mantenimientos rutinarios y periódicos de las estructuras, principales motivos para cuestionar la necesidad de brindar mantenimiento a las construcciones existentes.

En la actualidad el número de obras civiles instrumentadas mediante monitores es muy reducido, ya que esta actividad no es obligatoria en ningún reglamento y sus aplicaciones son poco conocidas, pero las nuevas exigencias técnicas y económicas que conllevan a reducir riesgos en las obras, la seguridad de los usuarios y la minimización de los costos, hacen del monitoreo estructural una labor imprescindible, debido al actual crecimiento de la industria de la construcción y el poco espacio en las urbes.

Para el monitoreo de estructuras civiles y especialmente en túneles se tienen que definir algunos conceptos, tales como:

- El tipo de comportamiento que va a tener un túnel
- El tipo de deformación del mismo, el elemento o material de construcción

Con toda esta información se puede facilitar un monitoreo ya que estas estructuras necesitan estar equipadas con instrumentos apropiados, con puntos fijos de monitoreo de acuerdo a las características de las observaciones, tipo y tamaño de la estructura y condiciones de sitio. Un túnel en general, se encuentra sujeto a cargas externas que causan deformaciones en su misma estructura, así como en su cimentación. También hay que tener en cuenta que cualquier indicador de comportamiento anormal puede permitir establecer o definir si la obra está en riesgo o con la seguridad suficiente de la estructura. En una obra tan delicada como es un túnel se tiene que tener un monitoreo cuidadoso de las cargas de la estructura.

Intuitivamente las deformaciones y observaciones varían de acuerdo al tipo de estructura, así como la diferencia en los materiales de construcción, los suelos de fundición y el sitio son uno de los mayores factores que tienen incidencia en la deformación de la estructura. De igual manera pueden ocurrir deformaciones permanentes en la estructura por el proceso que sufre el subsuelo en la adaptación de nuevas cargas, envejecimiento del concreto o fatiga de la estructura de la roca. Una deformación no se puede considerar insegura para una obra si no sobrepasa los valores críticos predeterminados al momento de diseñar dicha estructura. Por esta razón la observación periódica tiene características especialmente configuradas para detectar tendencias de movimiento relativo en largos periodos de tiempo que incluyen asentamientos anormales o desplazamientos laterales. (Vila, Jimenez, & Garzon, 2012).


Los métodos de medición convencional para puntos externos que presentan precisiones de centímetros son suficientes para monitorear este tipo de movimientos en largos periodos de tiempo. Las altas precisiones son utilizadas para determinar deflexiones o movimientos relativos entre monolitos debido a la variación de temperatura o cargas hidráulicas. Estas precisiones se manejan para observaciones en cortos periodos de tiempo. Dicha precisión se la utiliza para medición de grietas o movimientos relativos entre monolitos y deben ser percibidos con una precisión de +/- .25mm



Para un túnel el sistema de monitoreo debe cumplir con la condición de medir movimientos de larga duración, así como deformaciones de corta duración. Las medidas de larga duración son más comunes y más complejas por su naturaleza externa, por eso el monitoreo debe realizarse durante largos periodos ya que se requiere observaciones desde puntos de una red de referencia externa hasta puntos emplazados sobre el mismo túnel.

Para la instrumentación de un sistema de monitoreo, se pueden utilizar algunos instrumentos que permiten determinar los numerosos parámetros requeridos. Para el control de movimientos en superficie se utilizarán Estaciones Totales, Niveles de precisión, GPS, extensómetros y sismógrafos. Para el interior se utilizan extensómetros, inclinómetros, deflectómetros; para medir presiones y tensiones se utilizan células de presión o tensión, células de carga, bandas extensométricas. (Priego de los Santos, 2009).

A continuación, se detallan los equipos a utilizar, así como el significado y aplicación de los mismos:

Equipos para monitoreo			
Nombre	Descripción	Uso	Imagen
Nivel Digital	Los niveles digitales son capaces de el procesamiento digital de imágenes para determinar alturas y distancias, el equipo trabaja con una mira de código de barras se lee de forma completamente automática. La lectura de la	Se usa para crear un línea de vista horizontal de forma que se puedan determinar diferencias de cota y replanteos.	

	<p>mira y la distancia se muestran en forma digital y además se pueden registrar; las alturas de la mira se calculan continuamente, por lo que se elimina la posibilidad de errores en la lectura, en el registro y el cálculo. Adicionalmente, se necesita un software para procesar la información de campo.</p>		
<p>Estación Total</p>	<p>Una estación total se compone de un teodolito con un distanciómetro incorporado, posibilitando la medida simultánea de ángulos y distancias. Actualmente, todas las estaciones totales electrónicas cuentan con un distanciómetro óptico-electrónico (EDM) y un medidor electrónico de ángulos, de tal manera que se pueden leer electrónicamente los códigos de barras de las escalas de los círculos horizontal y vertical, mostrándose en forma digital los valores de los</p>	<p>Las estaciones totales se usan para calcular posición y altura de puntos, o sólo su posición</p>	

	<p>ángulos y distancias. La distancia horizontal, la diferencia de alturas y las coordenadas se calculan automáticamente. Todas las mediciones e información adicional se pueden grabar.</p>		
Sistemas GPS/GNSS	<p>Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y GLONASS los 2 sistemas utilizan satélites artificiales ubicados alrededor de la tierra, y el método para determinar la posición de un punto es la triangulación.</p>	<p>Ofrecen posicionamiento en tiempo real con buena precisión, Levantamientos, Replanteos, Mapeos</p>	
Smart Station	<p>Es una Estación Total, un sistema GNSS/GPS y un Scanner Laser combinado los 3 equipos en uno solo, el cual permite tener precisiones únicas inigualables a cualquier equipo (0.5" angular y en distancia de 0.6mm +1ppm), es un equipo motorizado y puede ser operado de vía remota.</p>	<p>Monitoreo, Levantamientos de alta precisión</p>	

			
Extensómetros	Es un instrumento de precisión que nos ayuda a medir deformaciones en piezas que están sometidas a tracción o compresión	Medir deformaciones y desplazamientos	
Sismógrafo	Es un dispositivo que mide las ondas sísmicas que provocan los terremotos	Pueden instalarse en roca o suelo	
Inclinómetros	Sirve para medir la inclinación del plano con respecto a la horizontal o superficie terrestre	se calcula la distribución de los movimientos laterales, se puede determinar la profundidad de la superficie de falla y la dirección y magnitud de los desplazamientos.	
Celdas de Presión	Mide los esfuerzos en el suelo o las presiones ejercidas por el suelo sobre las estructuras.	no solo mide las presiones del suelo, sino también a las presiones del agua en el terreno o a las presiones de poro, de ahí el término	

		“presión total” o “esfuerzo total”	
Software	Sistema que ayuda a visualizar la información de cada instrumento y procesarla para programar alertas	Se puede tener informes, y alarmas para cuidar la estructura	



1.1 Túnel Guayasamín:

El túnel Guayasamín, es una obra civil de gran importancia para la ciudad de Quito y el Ecuador, ya que tiene una longitud de 1340 m, lo que lo convierte en el túnel más largo del país de movilización terrestre, este túnel permite la conexión de Quito con el Valle de Cumbaya/ Tumbaco y Aeropuerto de Quito, tiene una sección de 11,5m de ancho, con 2 carriles de 3.5m cada uno y un corredor central de 2.5m, así como corredores laterales de servicio. Este túnel se habilitó en el 2005 y fue construido por el consorcio José Cartellone Construcciones Civiles a un costo de US \$ 33 millones. Su financiamiento se lo realizó por medio del Estado y el Municipio de Quito. El túnel también cuenta con un sistema de semaforización, paneles eléctricos, 12 cámaras de video, sistema contra incendios. El Corredor central permite la movilización rápida de unidades de emergencia. (El Universo, 2005)

Dado que en la actualidad se han observado algunas fisuras internas en el túnel, se requiere encontrar explicaciones y soluciones para mantener esta obra funcionando de manera

segura, debido al gran beneficio que genera la ciudad, y como primer paso se requiere el monitoreo geométrico estructural de estructuras.

1.2 Objetivos

- El presente trabajo tiene como objetivo principal, desarrollar una metodología a adecuada para el monitoreo de túneles.
- Para poder realizar esta metodología necesitamos realizar una investigación del caso de ejemplo, el Túnel Guayasamín, el cual brindará la información requerida para aplicar dicha metodología
- Documentar, esta metodología para que sirva como referencia en el uso de futuros proyectos o en construcción de túneles.

DESARROLLO DEL TEMA

CAPÍTULO 2

2.1 Información Técnica del Proyecto



Ilustración 1 Túnel Guayasamín Interior Fuente: Jose Cartelone

Descripción General:

Túnel Guayasamín	
Dimensiones	
Longitud	1340 m
Sección de Túnel	11.5 m
# Carriles	2
# Carriles Emergencia	1
Corredores laterales	2

Ilustración 2 Tabla Descripción Túnel Guayasamín

Por el túnel Guayasamín circulan más de 31000 vehículos diarios; es un túnel de montaña bidireccional urbano, que posee 2 carriles. EL túnel tiene diferentes secciones.

Planos de Diseño y Asbuilt:

La información de planos de diseño del proyecto y los planos as built no están disponibles. Debido a esto, se procedió a escanear el túnel y es la información que se presenta en el anexo. Para el escaneo del túnel se realizó la colocación de puntos GPS y a partir de ellos se ingresa al interior del túnel por medio de una Smart Station, con la cual se realiza el escaneo del túnel como un levantamiento topográfico normal.

Como información básica de diseño se pudo obtener los informes de Geología y Geotecnia desarrollados por la firma consultora Astec, Higeco y León y Godoy. (ASTECCIA Ltda, 2002). Esta información fue un valioso aporte para la comprensión del Túnel Guayasamín. En dicho informe también se desarrolla el estudio de los 2 túneles que en un principio se iban a construir. Como información geotécnica se pudo también encontrar mapeos geológicos, ensayos de penetración dinámica, SPT, Triaxiales, Estudios de estabilidad de Taludes.

2.2 Cartografía

Se pudo obtener cartografía actualizada a escala 1:1000, en la cual se puede observar con gran detalle los grandes cambios geográficos del sector. Esta cartografía fue tomada mediante dispositivos LIDAR, (Light Detection And Ranging), es un dispositivo para escaneo aerotransportado que construye modelos detallados y precisos de la superficie terrestre, lo cual permite una alta definición en los terrenos más complejos (Cartomex, 2016). La cartografía utilizada fue desarrollada por el Municipio de Quito y a partir de la cual se pudo obtener el modelo digital del terreno y las orthofotos. Cabe señalar que dicha información se la obtuvo del SIG Tierras, departamento gubernamental perteneciente al Magap.

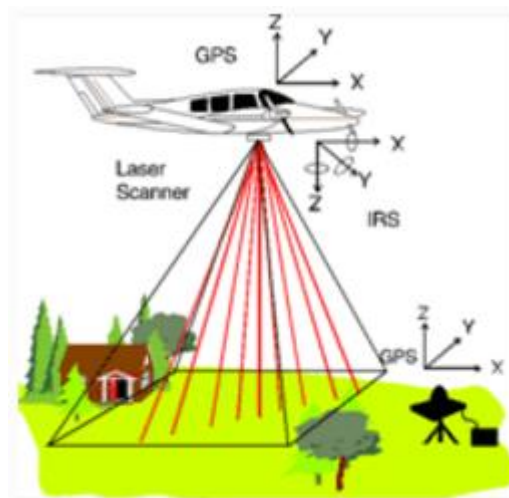


Ilustración 3 LIDAR

(Cartomex, 2016)

2.3 Topografía

Para poder realizar la topografía del proyecto, se necesita localizar puntos GPS, con equipos de precisión. Estos puntos GPS están ubicados en la topografía y cartografía ya obtenida. El sistema de coordenadas para todo el trabajo se lo realizó en WGS84 TM QUITO.

2.4 Mapeos Geológicos de la Zona

La información geológica fue solicitada a la Dirección de Gestión de Riesgos del Municipio de Quito, así como la Geología base, la misma que tiene una escala 1:25000. Dicha información se la localiza y ubica en la cartografía base del proyecto. Adicionalmente, en el informe desarrollado por Ing. Rubén Montalvo se manifiesta la siguiente observación “en la zona se manifiesta que existen lavas en forma masiva con ciertos fracturamientos y en otros sitios estas lavas andesíticas han sufrido un fuerte fracturamiento; la zona donde se encuentra construido el Túnel está en alto peligro sísmico por encontrarse muy cerca de una falla geológica” (Montalvo, 2012)

Dado este panorama es imprescindible la monitorización del túnel de Guayasamín, con el fin de cautelar la súper estructura instalada.

2.5 Parámetros de precisión

Para poder realizar un monitoreo integral del Túnel Guayasamín, se tiene también que tener un monitoreo de deslizamientos. Como se puede observar en la ilustración en corte de la implantación del Túnel, los taludes que se encuentran sobre el túnel tienen grandes pendientes, lo cual indica la necesidad de realizar el Monitoreo de Pendientes, basado en el principio de determinar los cambios de distancias, alturas, ángulos o coordenadas relativas de puntos de control distribuidos en la zona de estudio (Djaja, Rais, Abidin, & Kuntjoro, 2004),

Tabla 1. Métodos y técnicas de medición para deslizamientos (en base a Gili y col., 2000).

Método/Técnica	Resultados	Rango Típico	Precisión Típica
Cinta de precisión	Cambio de distancia	< 30 m	0,5 mm/30 m
Extensómetro de cable fijo	Cambio de distancia	< 10-80 m	0,3 mm/30 m
Varilla para la apertura de grietas	Cambio de distancia	< 5 m	0,5 mm
Desplazamiento desde el inicio	Diferencia de coordenadas (2D)	< 100 m	0,5-3 mm
Triangulación	Diferencia de coordenadas (2D)	< 300-1000 m	5-10 mm
Oblicuo/polígono	Diferencia de coordenadas (2D)	Variable, usualmente < 100 m	5-10 mm
Nivelación	Cambio de altura	Variable, usualmente < 100 m	2-5 mm km ⁻¹
Precisión de nivelación	Cambio de altura	Variable, usualmente < 50 m	0,2-1,0 mm km ⁻¹
EDM (Medición electrónica de distancia)	Cambio de distancia	Variable, usualmente 1-14 km	1-5 mm + 1-5 ppm
Fotogrametría terrestre	Diferencia de coordenadas (3D)	Idealmente < 100 m	20 mm desde 100 m
Fotogrametría aérea	Diferencia de coordenadas (3D)	H volado < 500 m	10 cm
Clinómetro	Cambio de ángulo	± 10°	± 0,01-0,1°
Teodolito de precisión	Cambio de ángulo	Variable	± 10°
Monitoreo con GPS	Diferencia de coordenadas (3D)	Variable	2-5 mm + 1-2 ppm

Ilustración 4 Métodos y Técnicas Parámetros Deslizamientos

2.6 Planificación Previa o estratégica de puntos a monitorear

Con toda esta información básica se procedió a realizar una planificación de las actividades de monitoreo. En esencia se tienen que cumplir dos principios básicos, garantizar la seguridad de la obra a través de la detección temprana de eventuales anomalías y aumentar el conocimiento de las relaciones causa y efecto de los parámetros en estudio, de esta forma se logra una retroalimentación para futuros proyectos. (Serafino, 2012).

Una estructura sufre diferentes tipos de escenarios, tales como: Variación climática, Peso Propio, Cargas Hidrostáticas, Presión Intersticial, Variación de temperatura debido al calor de fraguado del hormigón, retracción, expansión y deslizamiento elasto- plasto viscoso del hormigón, desplazamientos de los vínculos por traslación y rotación de los planos de fundición, esto se debe a la causa de las acciones transmitidas por las estructuras, expansión de las rocas, movimientos sísmicos, asentamientos, etc. Dados tantos efectos las mediciones a realizar deben tener precisiones ya presentadas anteriormente, de esta forma

se requiere comprender la necesidad de aplicar métodos directos e instrumental de fácil manejo, fácil lectura y comprensión (Serafino, 2012).

El monitoreo se puede implementar en cualquier tipo de estructura civil; el Ingeniero Civil tomará la decisión de aplicarlo o no en un proyecto. Se pueden definir algunos tipos de monitoreo, de los cuales hay que seleccionar el más adecuado para aplicar en un túnel, claro está que antes de seleccionar un tipo de monitoreo, se requiere definir el método constructivo que se utilizó en el Túnel Guayasamín. El método constructivo utilizado fue el nuevo método austriaco "New Austrian Tunneling Method" (Linares, y otros, 1977). Este método ha tenido mucho éxito a nivel mundial y utilizado en túneles en roca.

Existen 2 tipos de Monitoreo, los monitoreos Asistidos y Autónomos.

Los Monitoreos autónomos y Asistidos tienen similares componentes, como la instrumentación de equipos Topográficos, y Geotécnicos (Mecánicos). Pero se debe entender, que todo monitoreo tiene sus fases desde Pre Construcción, Fase de Estabilización, Operación Normal, Fase de Reparación. (US ARMY CORPS OF ENGINEERS , 2002).

Todo proyecto a desarrollarse debe tener:

En Pre construcción, se deben realizar mediciones geodésicas y piezométricas antes de construcción.

Fase de Estabilización: Las mediciones geodésicas pueden ser efectuadas en cuatro ocasiones en un año, así como acompañarlas de mediciones geotécnicas con una frecuencia de una cada uno o dos semanas.

Operación Normal: Luego que la estructura se estabiliza, lo que puede llevar de 5 a 10 años o más, la frecuencia antes mencionada puede ser disminuida a la mitad. Puede ser reducida de acuerdo a cómo se ha comportado en los primeros cinco años de operación.

Fase de Reparación: Cuando una estructura comienza a mostrar signos significativos de estrés o deterioro avanzado, la frecuencia de las mediciones basadas en la fase de estabilización puede ser disminuida dadas las condiciones de fallo potencial. Se deben intensificar las investigaciones en áreas donde ocurren los problemas más críticos para determinar las causas de las deformaciones y establecer un plan de reparaciones. (Vila, Jimenez, & Garzon, 2012).

Adicionalmente, se presenta la siguiente tabla en donde se describe la categorización del estado de una estructura, basado en la amenaza de la misma.

Estructura en estrés		Estructura sin estrés			
Clase I: Riesgo Alto		Clase II: Riesgo Medio		Clase III: Riesgo Bajo	
Monitoreo continuo impoundment		Monitoreo anualmente o cada dos años		Monitoreo cada año	
Tipo A	Inminente fallo potencial	Tipo A	Grandes estructuras	Tipo A	Grandes estructuras
Tipo B	Se espera un fallo potencial				
Tipo C	Las presas o el embalse comienza su inicial represamiento	Tipo B	Pequeñas estructuras	Tipo B	Pequeñas estructuras

Ilustración 5 Clasificación de la estructura Fuente US Army Corps and Enginners

Clase I

Estructura de alto riesgo, se debe llevar un monitoreo continuo de la estructura.

Tipo A: Inminente fallo potencial, los datos son de gran valía para un análisis posterior y establecer porqué falló la estructura. Se deberá emplear cualquier método para adquirir los datos sin riesgo para la vida o interferencia del proceso de salvación de estructura o alerta del riesgo a la población.

Tipo B: Se espera un fallo potencial, monitoreo continuo de la estructura, hasta que se aplique una solución potencial para salvar la estructura se debe emplear el monitoreo continuo hasta la estabilización.

Tipo C: Las Presas o el embalse comienza a represar agua por primera vez. Se deben registrar los datos iniciales antes de que comience el proceso de represamiento. Se prosigue el monitoreo continuo hasta que se determine que la estructura se estabilizó y se mantiene como se la planificó.

Clase II

Estructura de riesgo medio, son de cierta categoría de riesgo por lo que es prudente que el monitoreo se realice anualmente; son estructuras estables, pero su fallo puede afectar a un área poblada, causando devastación e interrupción de los servicios de la estructura. (US ARMY CORPS OF ENGINNERS , 2002)

Clase III

Estructuras de Bajo Riesgo, el monitoreo debe efectuarse cada 2 años. (US ARMY CORPS OF ENGINNERS , 2002)

El monitoreo Autónomo, tienen una gran ventaja sobre los asistidos, debido a que no utiliza mucho recurso humano, son mucho más fiables y necesitan una sola planificación (Mendoza, 2012), puesto que requiere contar con una gran infraestructura tecnológica y un sitio adecuado para el desarrollo de el mismo; una de las grandes desventajas de este tipo de monitoreo, es que tienen un elevado costo de inversión en infraestructura tecnológica de equipamiento e instrumentación, este monitoreo funciona en tiempo Real, las 24 horas del día y los 365 días del año. Según varios autores, se recomienda este tipo de monitoreo en obras importantes o de seguridad nacional, tales como hidroeléctricas, accidentes geográficos. (Perez & Gardey, 2016). En ocasiones es mejor realizar una evaluación adecuada de la obra a monitorear y analizar si es justificativo este tipo de inversión a futuro, aclarando que para utilizar este tipo de monitoreo se agotaron las instancias previas como el Monitoreo Asistido.

2.7 Monitoreo Asistido

El monitoreo asistido tiene 2 componentes

Monitoreo Topográfico

Para el monitoreo topográfico, se tiene varios componentes que son

- Diseño Micro Geodésico
- Poligonales internas del Túnel /Nivelación Geométrica de Precisión.
- Escaneo interno del túnel
- Mapeo de fisuras del túnel.

2.8 Monitoreo Mecánico

En el monitoreo mecánico se utilizará

- Inclínómetros
- Extensómetros

Diseño Micro Geodésico

Para el diseño micro geodésico, se utilizará la proyección local WGS84 TM QUITO, y hay que definir claramente el uso de proyecciones locales en este tipo de trabajos; existen 2 tipos de proyecciones TM o UTM, las proyecciones TM (Transversa Mercador), están diseñadas para aplicarlas en proyectos de Ing. Civil; se aplican estas proyecciones para eliminar errores en distancias debidas a convergencia, altura geométrica, presión atmosférica, y gracias a que el túnel Guayasamín está construido en Quito, se puede utilizar esta proyección TM. Por el contrario, las proyecciones UTM están diseñadas para aplicarlas en proyectos más extensos o en geodesia clásica (Ghilani & Wolf, 2014), pero el control micro geodésico, abarca conceptos de geodesia clásica con algunas hipótesis de la topografía, de esta forma no se tiene errores en las mediciones.

Se ubicarán varios mojones alrededor del proyecto; estos mojones tendrán que ubicarse en lugares fijos y estratégicamente seleccionados, los tiempos de observación serán mínimo de 2 horas en tiempo común por cada vector a levantar.

Como mínimo se colocarán 16 puntos GPS de control siendo todos de control vertical y horizontal. A continuación, se muestra un esquema de ubicación de los puntos



Ilustración 6 Ubicación 16 puntos GPS Fuente Propia



Ilustración 7 Túnel Guayasamín Fuente : Google Maps/ Autoría Propia

Para la monumentación de estos mojones, se utilizó el principio de centrado forzado, los cuales pueden ser en hormigón armado y en Acero

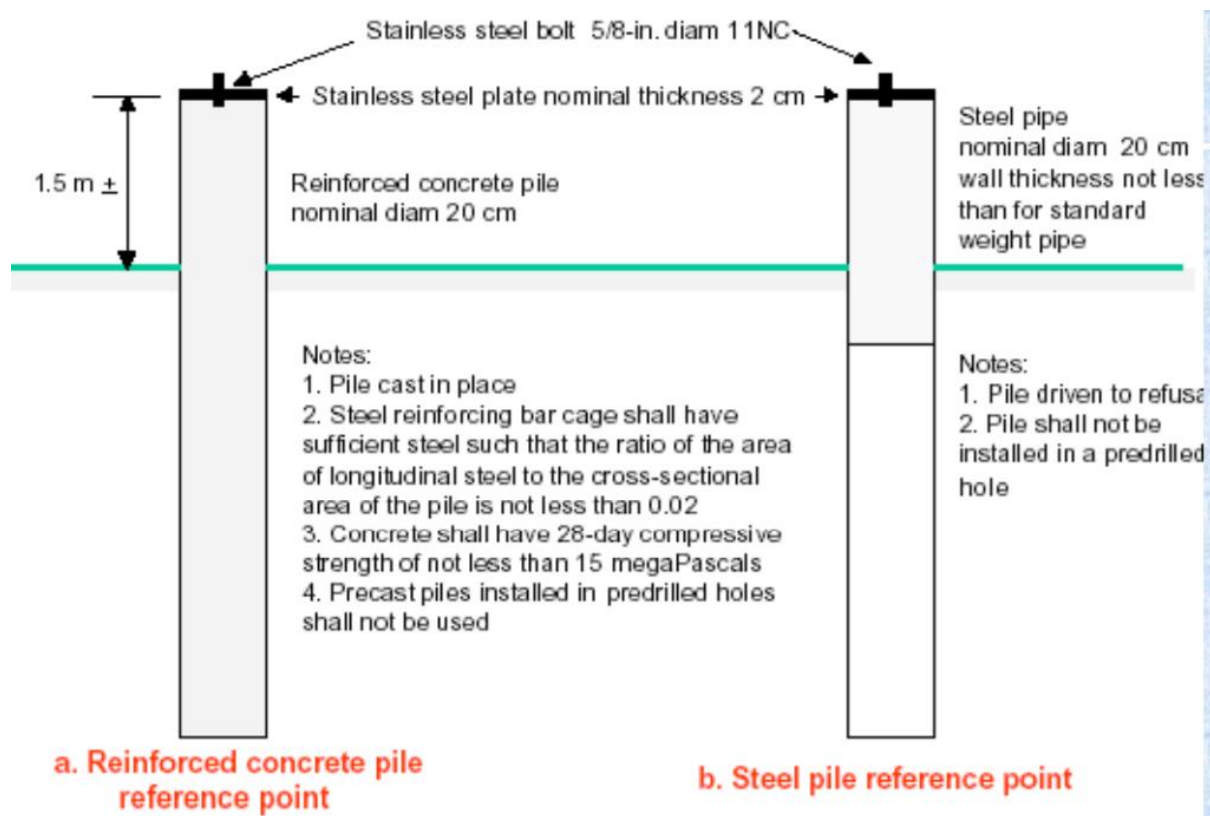


Ilustración 8 Monumentación Puntos Red control Micro geodésico Fuente Universidad Técnica de Turquía

2.9 Poligonales Internas

Dado que el interés es el monitoreo no solo externo del túnel, se tienen que realizar algunas mediciones periódicas; para poligonales internas, éstas se desarrollarán en el eje del túnel y por recomendación se establecerán puntos cada 20 metros, así como la colocación de

prismas en la bóveda del túnel. Esta monumentación será a nivel de la calzada y también servirá para realizar la nivelación geométrica dentro del túnel. Para la monumentación de los puntos de control de las poligonales se utilizará la siguiente especificación.

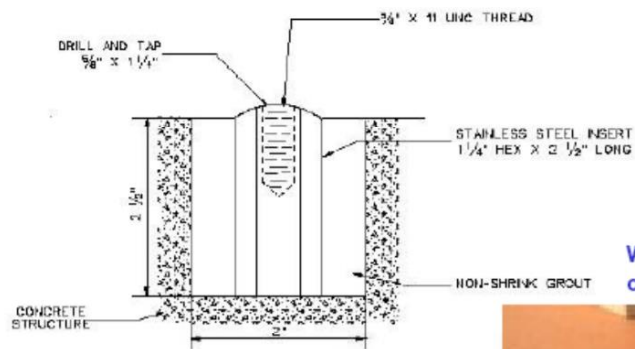


Ilustración 9 Monumentación Poligonales internas del túnel

Otro parámetro a considerar es la ubicación de los prismas en la bóveda del túnel. Se ubicarán de acuerdo al siguiente esquema cada 50 m de distancia, los cuales servirán como puntos de referencia para establecer el tipo de comportamiento de la estructura del túnel. Estos prismas quedarán embebidos en el hormigón y podrán ser reemplazados debido a su desgaste por tiempo de uso. El prisma a instalar será circular del estilo mini prisma roscable con apoyo auto nivelante y auto-soportante.

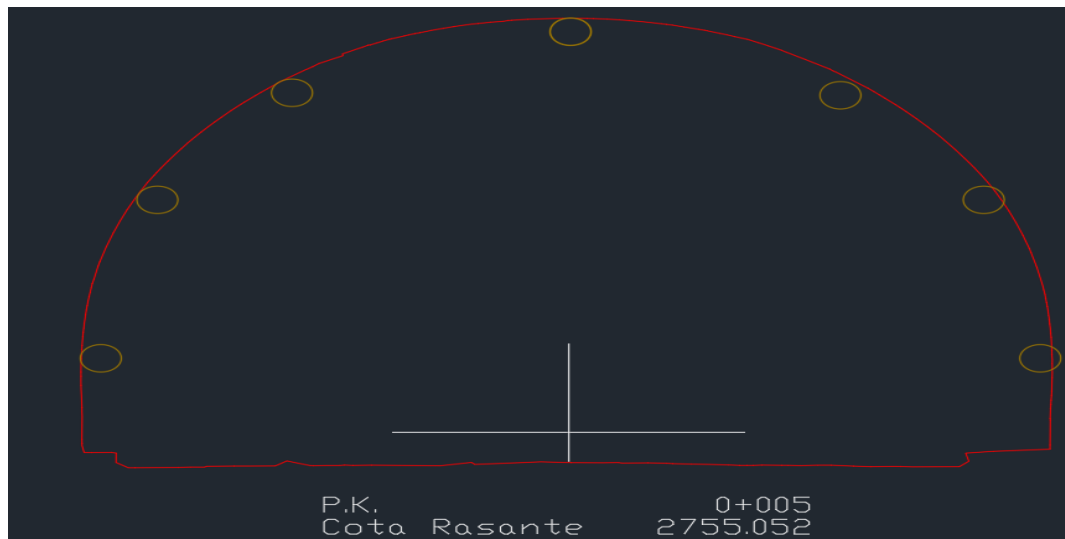


Ilustración 10 Ubicación Prismas en Túnel Fuente Propia



Ilustración 11 Mini Prisma para Monitoreo Fuente Leica Geosystems

2.10 Escaneo Interno

Para el escaneo se utilizará un Smart Station el cual tiene incorporado un escáner de alta precisión. Este escaneo se lo realizara periódicamente cada 3 meses.

2.10.1 Escaneo Preliminar del Túnel Guayasamín.

A continuación, se muestra un escaneo preliminar del Túnel Guayasamín

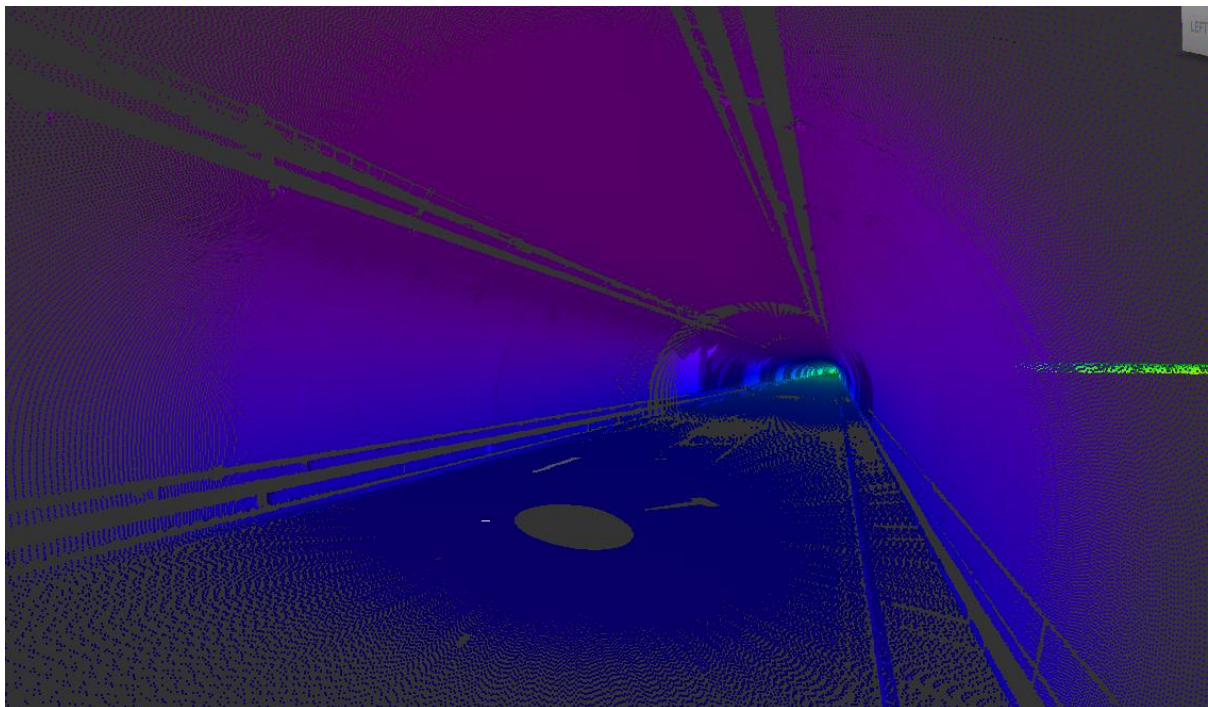


Ilustración 12 Puntos Escaneados del Túnel Guayasamín

El escaneo preliminar se lo realizó con una densificación de puntos de cada 50 cm, de esta forma se tuvo la información base para realizar el modelo digital del terreno, uno de los principales motivos para desarrollar este escaneo preliminar fue la comprobación de una parte de esta metodología a implementar en el monitoreo geométrico estructural del túnel Guayasamín, para desarrollar el escaneo preliminar del túnel se consideraron los siguientes pasos.

Ubicación de puntos GPS, en el exterior del túnel, se ubicaron 4 puntos de control, 2 a la entrada del túnel y 2 a la salida del mismo.

Con los 2 puntos de entrada, posicionamos el equipo en el eje del túnel con el criterio de una poligonal abierta y procedemos a comenzar el escaneo preliminar del túnel. Al finalizar el escaneo se cerrará la poligonal para llevar un control de precisión del trabajo. En los anexos del presente trabajo se encuentran los resultados de este escaneo preliminar.

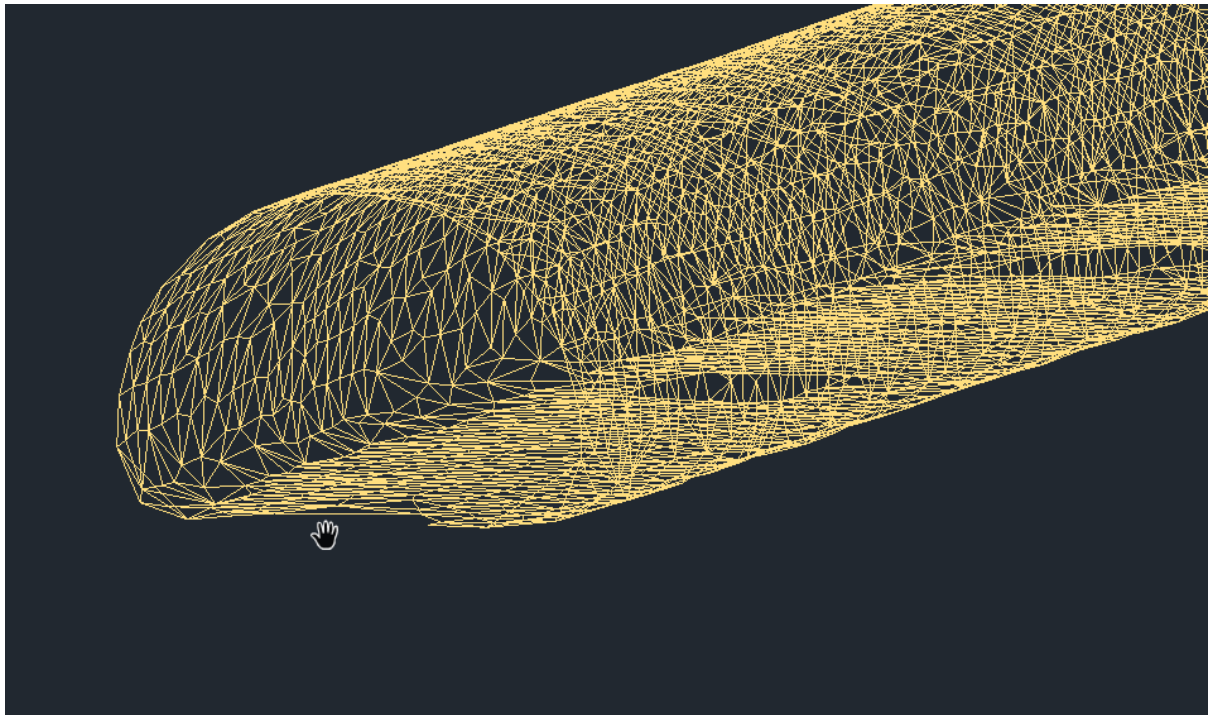


Ilustración 13 Modelo Digital de Terreno Túnel Guayasamín Portal de Entrada

2.11 Mapeo de fisuras de Túnel

El mapeo de fisuras del túnel se lo realizará en un principio cada mes; para este trabajo se utilizará la Estación Total Leica TS11- TS-15 Kumonos la cual permite realizar la medición de las grietas en el hormigón, esto incluye posición, longitud y espesor de la grieta.

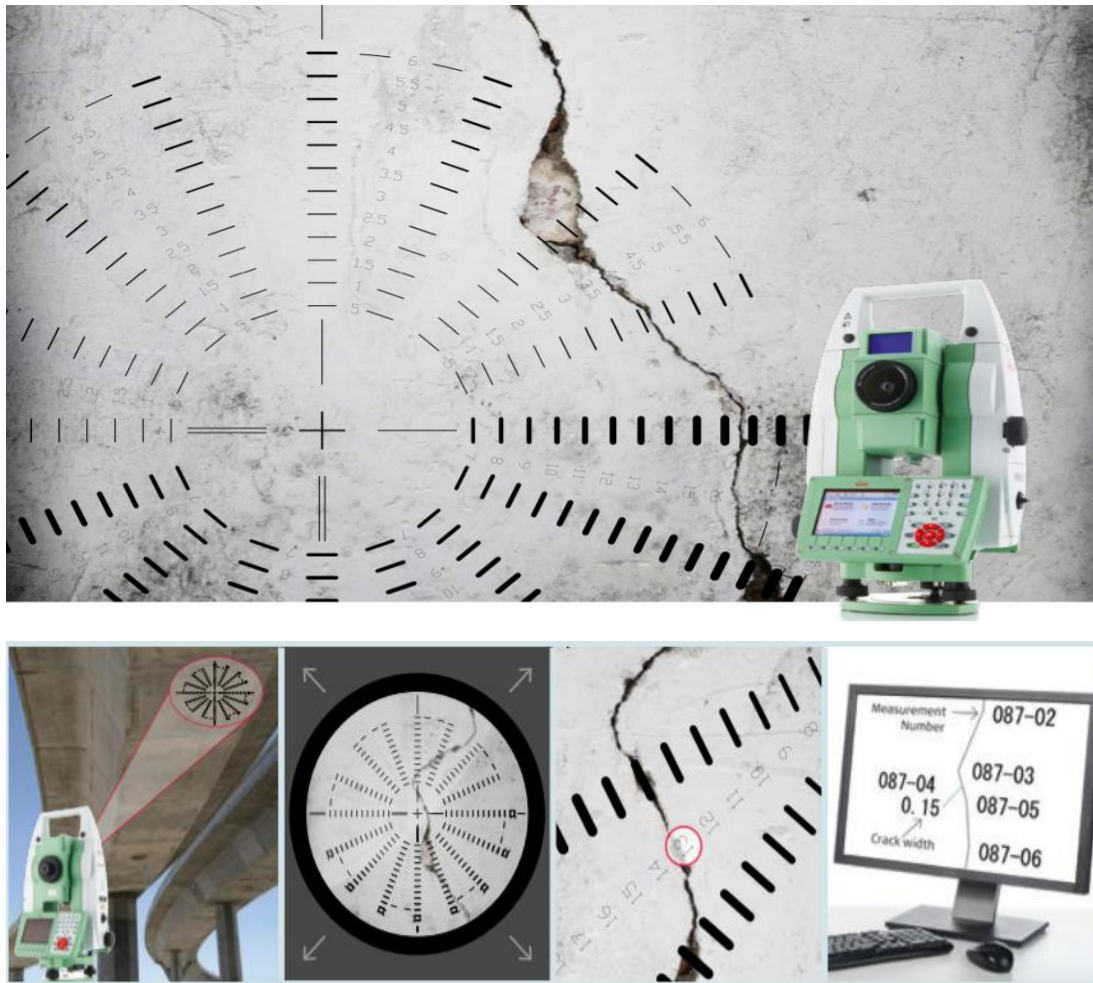


Ilustración 14 Leica TS15 Kumonos

Esta información se la puede cargar a AutoCAD y así tener un registro histórico del comportamiento de las fisuras.

Para la evaluación de concreto, se utilizará un Geo radar el cual ayudará a través de métodos no destructivos a localizar anomalías u objetos dentro de las estructuras de concreto, así también localizar huecos, fracturas y varillas dentro de las estructuras de concreto. El equipo adecuado para este tipo de trabajo será el SIR-3000, de gran precisión y de fácil utilización en túneles.

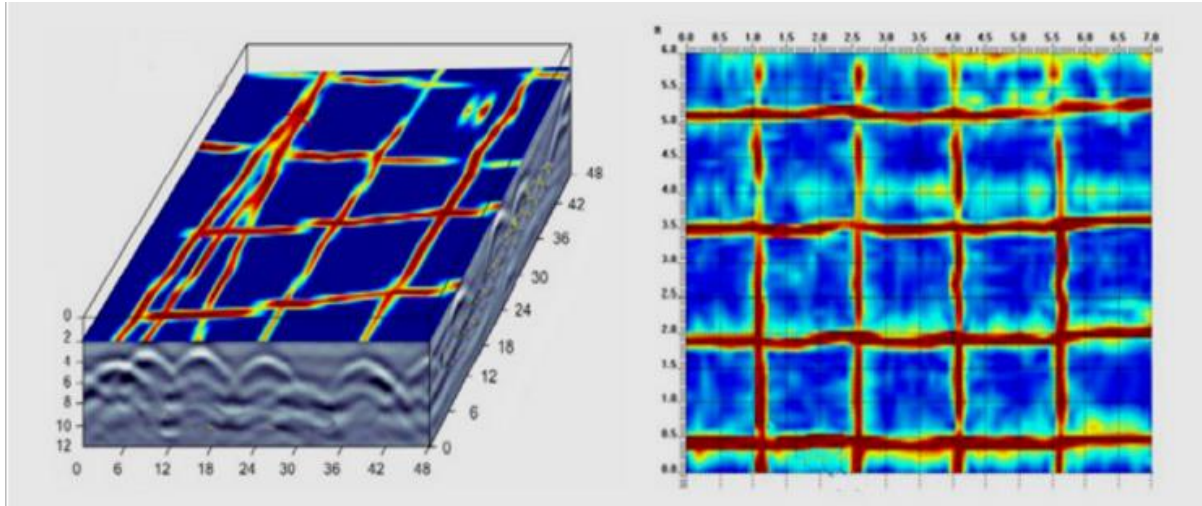


Ilustración 15 Imágenes resultados Georadar en Hormigón Armado

2.12 Metodología de aplicación al monitoreo

Una vez instalada la instrumentación en el túnel, se procederá a realizar una planificación de las mediciones. El trabajo se lo realizará cada mes. Los trabajos a realizar el primer mes consistió en la medición de la red de control micro geodésico, nivelación geométrica de precisión en circuitos de ida y vuelta, medición de portales de túnel y bóveda, escaneo total del túnel, mapeo de fisuras de todo el túnel y evaluación del concreto; este proceso se tendrá que realizar en 2 días cada mes, de preferencia la selección de los días serán en los que menos tráfico exista en el túnel, y los horarios se establecerán a partir de las 10 pm hasta las 5 am.

Toda esta información se descargará en su respectivo software, se la procesará y analizará. Cabe señalar que todo este proceso se lo realizará durante 3 meses continuos. Con los 3 meses continuos de información se analizará el estado del túnel, y si los resultados son positivos se podrán realizar con menor frecuencia las mediciones.

El escaneo y el uso del georadar se los realizará cada 3 meses a partir del estado de diagnóstico.

2.13 Instrumentación Monitoreo Mecánico

Para la instrumentación de inclinómetros y Extensómetros, se tendrá que analizar los datos de nivelación geométrica del túnel, así como el mapeo de fisuras.

2.13.1 Periodos de Monitoreo

El tiempo para realizar dicho estudio será por lo mínimo 15 años, tiempo en el cual se podría tener un conocimiento aceptable de la estructura monitoreada. A partir del primer año de monitoreo, se podrán evaluar los datos obtenidos y tomar una decisión si se continua o no con los tiempos de ejecución de las medidas, sobre todo en el mapeo de Fisuras.

2.14 Parámetros estructurales- geotécnicos del cuerpo a monitorear

Por el túnel Guayasamín circulan más de 31000 vehículos diarios, es un túnel de montaña bidireccional urbano, que posee 2 carriles. EL túnel tiene diferentes secciones debido a factores geológicos encontrados en los estudios desarrollados por Astec, en el 2002. A continuación, se presentan las diferentes secciones propuestas para construcción.

Sostenimiento		TIPO - I	TIPO - II
Unidad Geotécnica		VS-I	VS-b
Longitud de avance		1,60 - 2,00 m	1,20 -1,60 m
Tipo de arranque		Voladura con precorte	Voladura con precorte
Cerchas		-----	Perfiles cada 1,5 m
Malla		si es necesario	si es necesario
Homigón lanzado reforzado	Nº de capas	1 de sellado + 2	1 de sellado + 2
	Grosor total	20 cm	20 cm
Pemos de anclaje	Bóveda	5+4 al tresbolillo; L = 5,0 m	7+6 al tresbolillo; L = 5,0 m
	Hastiales	En caso de ser necesario	En caso de ser necesario
Paraguas en bóveda			
Perfil transversal túnel			

Ilustración 16 Secciones Tipo 1 y Tipo 2 Fuente Astec

TIPO - III	TIPO - IV	TIPO - IV - A
PS4-7 y VB2-3	Zona fallas y cizallas	Zona de edificios
0,50 -1,00 m	0,50 - 0,76 m	0,50 - 0,76 m
Mecánico (voladura esporádica)	Mecánico (voladura esporádica)	Mecánico
Perfiles cada 1 m	Perfiles cada 0,75m	Perfiles cada 0,75 m
si es necesario	si es necesario	si es necesario
1 de sellado + 2	1 de sellado + 2	1 de sellado + 2
20 cm	20 cm	20 cm
9+9 al tresbolillo; L = 5,0 m	9+9 al tresbolillo; L = 5,0 m	-----
En caso de ser necesario	En caso de ser necesario	En caso de ser necesario
		Prebarrenados 200 mm tubos def 140 y 10 mm de espesor

Ilustración 17 Secciones Tipo 3,4 y 5

En los estudios desarrollados por (ASTEC Cia Ltda, 2002), se implementó un diseño geológico y geotécnico para sostenimiento de túnel en el cual se aplicaron 4 tipos de

sostenimiento debido a la variación geología existente en el terreno, en la figura se puede observar dichos diseños.

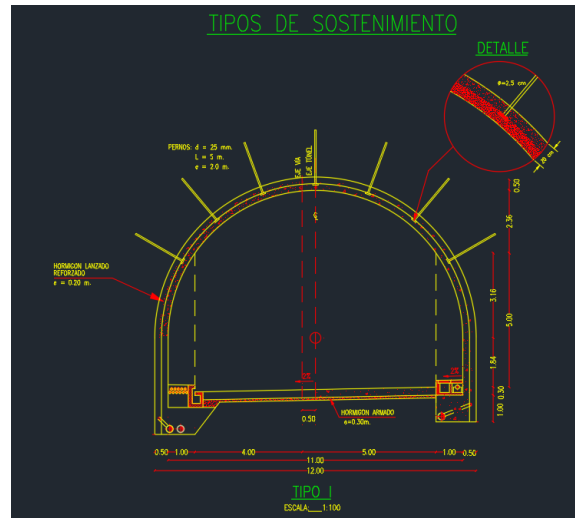


Ilustración 18 Tipos de Sostenimiento Túnel de Guayasamín

TIPOS DE SOSTENIMIENTO						
TIPOS	INDICE DE BARTON 'O'	LITOLÓGIA Y UNIDADES GEOTÉCNICAS	HORMIGÓN LANZADO REFORZADO	PERNOS SISTEMÁTICOS	MARCOS	REFUERZO ESPECIAL
I	>1.5- <4.0 CATEGORÍA (5)	Lavas fracturadas (3.2)	E = 20 cm.	d=25 mm L = 5 m. e = 2.0 m		
II	0.15-1.50 CATEGORÍA (6) y (7)	Aglomerados volcánicos (4.3-4.5) Tobas (4.2-4.4-4.6) Brechas volcánicas (4.7) Lavas en bloques (3.1)	E = 20 cm.	d=25 mm L = 5 m. e = 1.5 m	Marcos donde se requiera e=1.5 m I 110	
III	<0.15	Intercalaciones de Tobas, lapilli, ceniza	E = 20 cm.	d=25 mm L = 4 m. e = 1 m	Marcos donde se requiera e=1.0-1.5m I 110	
IV	FUERA DE CLASE	Portal oriental, zonas de fallas y zonas cizalladas	E = 20 cm.	d=25 mm L = 5 m. e = 1 m	Marcos e = 0.75 m I 140	
IV-A	FUERA DE CLASE	Portal occidental	E = 20 cm.		Marcos e = 0.75 m I 200	Paraguas de micropilotes L = 9 m d=180 mm

E= Espesor d= diámetro L= longitud e= espaciamiento I 100 tipo de perfil

Ilustración 19 Tipos de Sostenimiento Fuente ASTEC

Como se puede observar, el diseño de sostenimiento da un motivo para la aplicación de un sistema de monitoreo; adicionalmente en el informe presentado por Astec se menciona la evidencia de un deslizamiento activo en el portal de entrada al túnel en sentido Quito-Cumbaya.

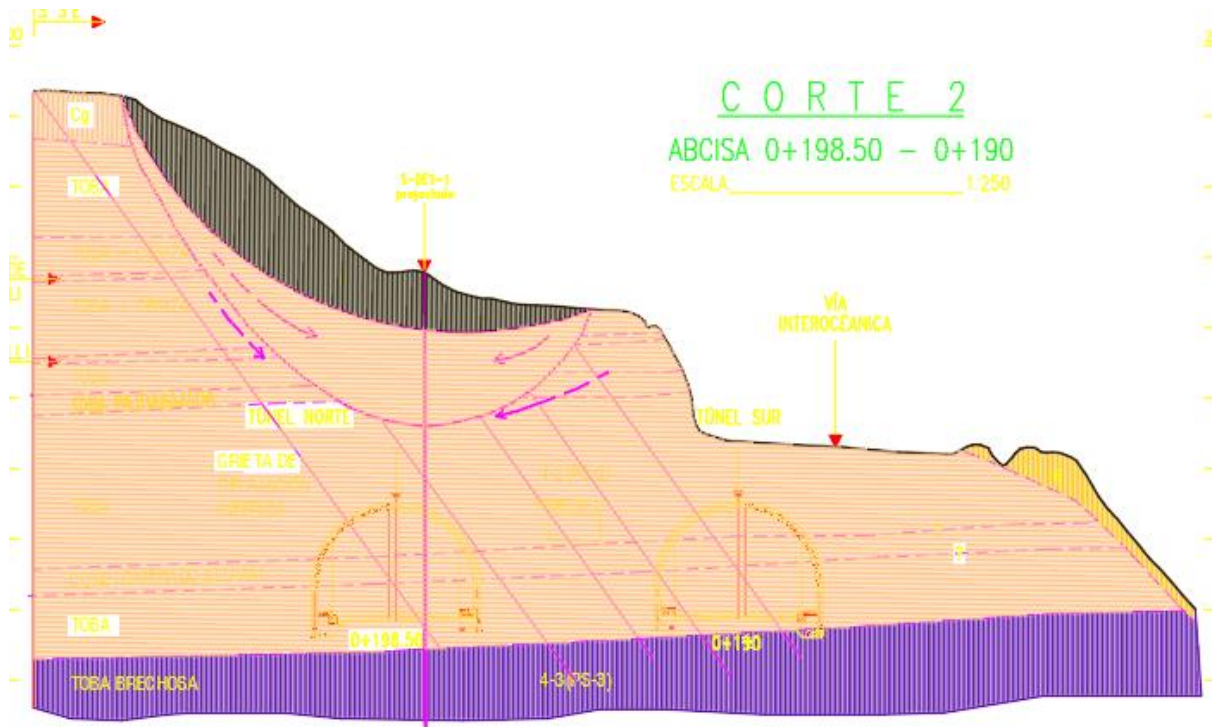


Ilustración 20 Corte Implantación Túnel con Deslizamiento Activo Fuente Astec

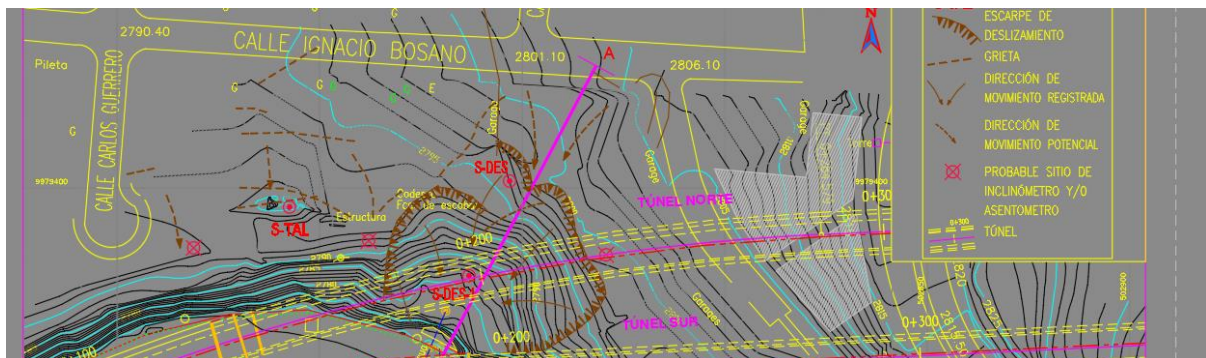


Ilustración 21 Planta Ubicación deslizamiento Activo entrada de Túnel Fuente ASTEC

En la figura 21 se puede observar la ubicación del deslizamiento activo en la abscisa 0+200 del túnel, también se muestran los probables sitios de asentamiento según estudio de Astec realizado (ASTEC Cia Ltda, 2002).

Con estos parámetros de diseño y consideraciones, la metodología constructiva utilizada para la construcción del túnel fue el Nuevo método Austriaco, el cual para dicho túnel se lo realizó en tramos de cada 5 metros dando como resultado de tiempo de obra 18 meses solo para construcción del túnel.

2.15 Resultados y beneficios del monitoreo al túnel Guayasamín

Con el monitoreo geométrico estructural, se obtienen grandes beneficios, tales como comprender de mayor manera el comportamiento de una estructura. Los parámetros que se podrán cuantificar serán: la cantidad de fisuras que tiene el túnel, así como el grosor de las fisuras, información muy valiosa y requerida a nivel mundial, puesto que este mapeo de fisuras servirá para determinar la durabilidad de estructura.

Los entregables del monitoreo son:

Monitoreo micro geodésico de puntos GPS 16 puntos.

Nivelación Geométrica de Precisión.

Escaneo interior del túnel.

Mapeo de Fisuras.

Medición interna de las secciones con la ubicación de los prismas en cada una de ellas.

2.16 Costos de aplicación y tiempos de desarrollo

Para desarrollar el costo del monitoreo geométrico estructural para el túnel Guayasamín se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos.

El monitoreo geométrico estructural no puede ser aplicado solo por 2 o 3 años, esto se debe al alto costo de equipos y tecnología, por tal razón debe ser aplicado mínimo por 15 años, este tiempo se determinó ya que el túnel tiene tiempo de construcción de 13 años.

A continuación, se presentan los cálculos de costos del monitoreo túnel Guayasamín:

<i>Evaluación costos de monitoreo</i>				
Cantidad	Equipos a utilizarse en Monitoreo	Costo Unitario	Costo Total	Costo Diario Rentado
2	Multi Smart Station	65000	130000	75
16	Antenas GPS	15000	240000	50
4	Nivel LS15	16000	64000	35
364	Prismas (26 Secciones)	350	127400	14.2
1	Software Leica Geomos	35000	35000	4
10	Laptop	1800	18000	2
1	Tcp Scancyr	15000	15000	1.7
1	Auto Civil 3d	12000	12000	1.35

26	Placas en eje	320	8320	1
16	Mojones GPS	550	8800	1
90	Señalización Equipo de Protección Personal	350	31500	3.5
10	Ventilación	2500	25000	2.8
10	Planta eléctrica	7000	70000	7.8
4	Lámparas	600	2400	0.3
20	Vehículo	35000	700000	80
			Total	279.65

Ilustración 22 Evaluación Costos de Monitoreo

Para el desarrollo del presente cuadro se solicitó proformas de los equipos necesarios, y también se desarrolló un análisis de los costos con equipo rentado, para poder cuantificar de mejor manera ya que hay que ingresar 1 vez por mes.

Las cantidades de los equipos se deben a que se hizo una planificación a 25 años de trabajo. De igual manera, para el costeo de personal se realizó un proporcional de una semana de trabajo por mes como se muestra a continuación, incluyendo costos indirectos:

Costo Personal				
Cantidad	Personal	Costo Unitario	Costo Total	Costo por 7 dias
1	Ing Civil - Geotecnico - Estructural	4500	4500	1050
1	Ing Geografo	4000	4000	933.34
3	Topografos	2500	7500	1750
12	Asistentes- Cadeneros - Chofer	800	9600	2240
2	Ing Civiles Junior	1800	3600	840
			Total	6813.34

Ilustración 23 Calculo Costo Personal

Se muestra un resumen, del costo total que tiene el trabajo por semana con indirectos incluido

Costo entrada mensual de 7 dias	
Equipos	\$ 1,957.55
Personal	\$ 6,813.33
Informes	\$ 2,631.27
Sub Total	\$ 11,402.15
Indirectos	\$ 4,560.86
Total Iva incluido	\$ 15,963.01

Ilustración 24 Costo entrada a Monitoreo mensual

Se realizó, una corrida financiera del costo del monitoreo a valor futuro con un porcentaje de inflación del 8%, a 30 años, donde se puede encontrar el costo real de este monitoreo para el Túnel Guayasamín.

Evaluación económica del monitoreo de túneles				
Años	Entradas	Costo por Entrada	Total Anual	Costo Total
1	6	15963	95778	
2	4	17240.04	68960.16	
3	4	18619.2432	74476.9728	
4	4	20108.78266	80435.13062	
5	4	21717.48527	86869.94107	
6	4	23454.88409	93819.53636	
7	4	25331.27482	101325.0993	
8	4	27357.7768	109431.1072	
9	4	29546.39895	118185.5958	
10	4	31910.11086	127640.4434	\$ 956,921.99
11	6	34462.91973	206777.5184	
12	4	37219.95331	148879.8132	
13	4	40197.54957	160790.1983	
14	4	43413.35354	173653.4142	
15	4	46886.42182	187545.6873	\$1,834,568.62
16	4	50637.33557	202549.3423	
17	4	54688.32242	218753.2897	
18	4	59063.38821	236253.5528	
19	4	63788.45927	255153.8371	
20	4	68891.53601	275566.144	
21	6	74402.85889	446417.1533	
22	4	80355.0876	321420.3504	
23	4	86783.49461	347133.9784	
24	4	93726.17417	374904.6967	
25	4	101224.2681	404897.0724	
26	4	109322.2096	437288.8382	
27	4	118067.9863	472271.9453	
28	4	127513.4252	510053.7009	
29	4	137714.4992	550857.997	
30	4	148731.6592	594926.6367	
		Total a 30 años	\$7,483,017.15	

CONCLUSIONES

Como principal conclusión del presente trabajo podemos resumir una guía de pasos para realizar el monitoreo geométrico estructural de un túnel:

- Investigación y recopilación de información técnica del proyecto a analizar, esta información incluye: Topografía y Cartografía, Geología Regional, Geotecnia, Hidrología, Diseño Estructural, Tipo de materiales utilizados, Planos Asbuilt o Estudios Definitivos de Construcción, en el caso de no disponer la misma se tendrá que desarrollar o buscar no diseños definitivos, si no diseños de factibilidad y pre factibilidad del proyecto.
- Diseño de Red de control micro geodésico y monumentación de mojones, los mojones tienen que estar en la proyección vertical del eje del túnel a nivel del terreno.
- Planificación de mediciones con un cronograma de control de actividades
- Levantamiento Topográfico en coordenadas de proyecto o proyección adoptada en el proyecto.
- Con el eje de este levantamiento topográfico se procederá a instalar los mojones de centrado forzado de igual manera se instalarán los prismas en la bóveda, a una distancia no mayor de 50 metros por sección transversal.
- En la ejecución del trabajo de campo se realizarán las siguientes actividades simultáneamente: Mediciones con sistemas GPS mínimo 3 horas de medición simultánea, levantamiento topográfico del eje del túnel, nivelación geométrica de alta precisión en sentidos de ida y vuelta, escaneo de túnel, mapeo de fisuras.
- Proceso y análisis de información recolectada de campo.
- Elaboración de informes, conclusiones y recomendaciones.

El monitoreo de una estructura importante, garantiza las acciones a ser tomadas para el mantenimiento rutinario del túnel a costos ínfimos comparado con lo que costaría realizar reparaciones mayores durante una emergencia declarada de una infraestructura.

Por tal razón es más económico, mantener monitoreado el túnel que asegurar la estructura para una catástrofe, es así que el monitoreo costaría el primer año 95000 dólares mientras que asegurar la estructura costaría 800000 dólares.

Así mismo en el año 10 se habría invertido en monitoreo 956000 dólares, en tanto que en seguros se gastaría cerca de 9 millones de dólares.

Analizando esta proyección a los 50 años de vida útil del túnel y pagando la anualidad en seguros se podría haber construido otro túnel más. Por supuesto que un seguro cuando existe un siniestro natural cubre a todo riesgo, pero lo importante aquí es que los seguros deben funcionar a la par con un sistema de monitoreo de estructuras, lo cual le da herramientas al cliente para demostrar y exigir la cobertura de la póliza, de igual manera para la aseguradora servirá esta información en forma contundente para prestar el servicio de asegurar el bien.

Con el mapeo de fisuras, se podría determinar medidas preventivas necesarias para disminuir o eliminar su aparición, puesto que pueden orientar acerca de la o las causas que motivan la aparición de las mismas.

El monitoreo geométrico estructural aportará información de los taludes activos, lo cual evidenciará de mejor manera el posible deslizamiento activo del portal de entrada. además de comprender el comportamiento de los taludes con respecto al peso propio de los edificios sobre él.

Otro factor importante que puede inferirse del monitoreo exterior, son los asentamientos que está sufriendo la estructura, con respecto a los diseños originales de proyecto. La nivelación geométrica del túnel proporcionará, el asentamiento del pavimento y una posible inclinación de alguno de los andenes de caminería del túnel.

El escaneo del túnel servirá para obtener un modelo digital tridimensional de su estado actual, ayudando en tareas de mantenimiento futuro. La medición interna de la bóveda ayudará a verificar si existe algún desplazamiento de la alineación de la sección típica histórica.

Con este trabajo se puede evidenciar la necesidad de dar la importancia adecuada al control y mantenimiento de grandes obras. Hay que recordar que un monitoreo no solo se lo debe aplicar cuando una estructura ya está desarrollada. El éxito del monitoreo geométrico estructural se basa en la Planificación y Control antes de obra, lo cual lleva a desarrollar menores inversiones en los proyectos. Resulta imprescindible que en grandes proyectos de ingeniería desarrollados por el Estado se incluya un rubro de monitoreo geométrico estructural proyectado a 40 años. De esta forma se podrá tener mejores rendimientos en la

estructura. Las buenas prácticas de monitoreo ayudarán a crear una conciencia profesional del proceso constructivo que se esté aplicando a la obra.

Sin duda alguna, el monitoreo reduce costos de mantenimiento e imprevistos, y esto se logra gracias a una planificación sustentada en un estudio de monitoreo, herramienta que facultad la tomar decisiones adecuadas y correctas en el momento indicado, y con esta programación los gastos recurrentes del proyecto disminuirán.

El monitoreo geométrico estructural tiene como objetivo principal la preservación de la estructura y también proteger a sus usuarios de posibles riesgos que puedan tener en el proyecto.

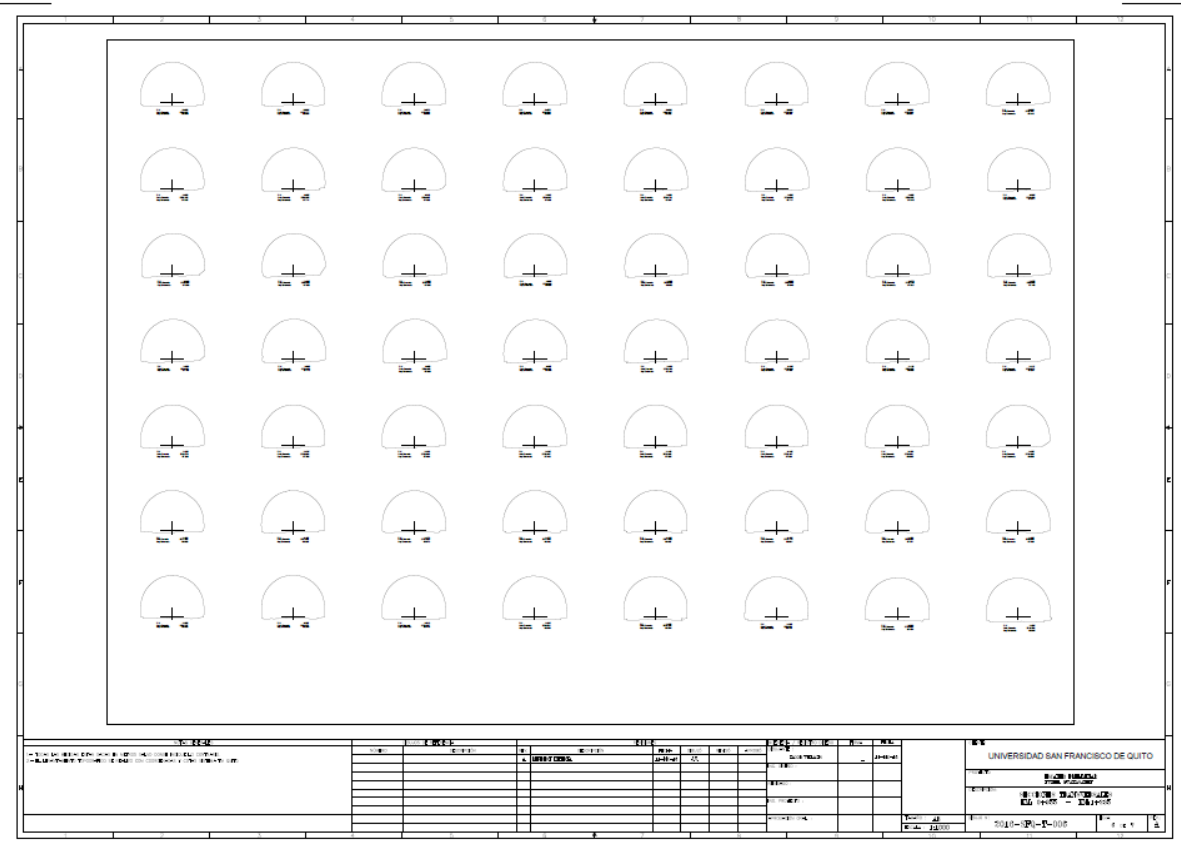
REFERENCIAS

- ASTEC Cia Ltda. (20 de Junio de 2002). Estudios y Diseños Definitivos de la Solucion Vial en el Km 1 de la Via Interoceanica. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Cartomex. (18 de 11 de 2016). *Cartomex*. Obtenido de Cartomex:
<https://www.cartomex.com/lidar-ecuador.html>
- Djaja, R., Rais, J., Abidin, H., & Kuntjoro, W. (2004). *LAND SUBSIDENCE OF JAKARTA METROPOLITAN AREA (2004)*. Indonesia.
- El Universo. (11 de 08 de 2005). Listo el túnel más grande del país. *El Universo*.
- Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2014). *Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics*. Pennsylvania: Pearson College Division.
- Glišić, B., Inaudi, & Daniele. (2007). *Fiber Optic Methods for Structural Health Monitoring*. Lugano: Wiley.
- Linares, A., Saenz, C., Luciano, J., Ynzenga, R., Marchal, F., Dechamps, J., . . . Wenzel, K. (1977). *Tuneles y Obras Subterranas*. Barcelona: Editores Tecnicos Asociados S.A.
- Mendoza, M. A. (29 de 03 de 2012). Instrumentación para el monitoreo de obras civiles. Mexico DF, Mexico, Mexico.
- Montalvo, R. (2012). *Informe de la Inspeccion Tecnica al Tunel Guayasamin*. Quito.
- Perez, J., & Gardey, A. (15 de 09 de 2016). *Definicion.de*. Obtenido de
<http://definicion.de/monitoreo/>
- Priego de los Santos, E. (2009). *Tuneles y Tuneladoras, Nociones generales y topografia para su guiado*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Serafino, A. (2012). *Control y Vigilancia de Obras*. San Juan: UNSJ.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS . (2002). Manual de Ingenieria EM 1110-2-1009. En US ARMY CORPS OF ENGINEERS, *Structural Deformation Surveying* (pág. 279). Washington, Washington, Estados Unidos: US ARMY CORPS OF ENGINEERS.
- Vila, J. J., Jimenez, G., & Garzon, J. (2012). *Monitoreo y Control Topografico de Obras*. Obtenido de
<http://repositorio.uniquindio.edu.co/bitstream/123456789/9/1/Control.pdf>

Plano Preliminar Secciones Transversales

C.C.	C.C.P.C.		T.I.C.		E.C.C.			M.C.C.			M.C.		
	NO.	DESCRIPCIÓN	NO.	DESCRIPCIÓN	NO.	DESCRIPCIÓN	NO.	DESCRIPCIÓN	NO.	DESCRIPCIÓN			
													UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
													ESTR. DE INGENIERÍA
													GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL
													PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL
													GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL
													PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL
													GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL
													PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL

C.C.	C.C.P.C.		T.I.C.		E.C.C.			M.C.C.			M.C.		
	NO.	DESCRIPCIÓN	NO.	DESCRIPCIÓN	NO.	DESCRIPCIÓN	NO.	DESCRIPCIÓN	NO.	DESCRIPCIÓN			
													UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
													ESTR. DE INGENIERÍA
													GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL
													PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL
													GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL
													PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL
													GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL
													PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL
													GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA CIVIL



Plano Isométrico Escaneo Preliminar Túnel Guayasamín

