



COLEGIO MÁXIMO DE LAS ACADEMIAS



RETOS DEL TÚNEL DE LA LÍNEA



Germán Pardo A - Presidente SCI
Septiembre 2 de 2020



ÍNDICE

1. Visión General
2. Reflexiones
3. Antecedentes del Túnel de la Línea
4. Lecciones
5. Aciertos y Aprendizajes
6. Conclusiones y Recomendaciones



1. Visión General

- Para entender la trascendencia y significado de una obra de infraestructura pública, debemos remitirnos al legado que dejaron los ilustres libertadores de Colombia, desde la creación de la República de Colombia.
- A partir del **año 1821**, nos trazaron el rumbo para concebir el desarrollo del país, plasmando en los diferentes documentos de la época una visión futurista con un castellano preciso y elegante. En el compendio Cuerpo de Leyes de la República de Colombia, que comprende las leyes, decretos y resoluciones instauradas **desde 1821 hasta 1827**, se consigna la **Ley de 31 de julio de 1823**, donde se establecen las directrices para la construcción de obras públicas.



1. Visión General



LEY DE 31 DE JULIO DE 1823

la facilidad de las comunicaciones interiores del país, tiene una influencia suprema en la prosperidad y civilización de sus pueblos [...] Las fuentes de la riqueza nacional, por varias y abundantes que sean en Colombia, nunca podrán nivelarse con las de otras naciones cultas, mientras carezca la República de las ventajas de un sistema de comunicaciones interiores que ellas disfrutaban con más o menos extensión [...] En fin: que la cesación de estos males podrá lograrse en gran parte, siempre que se fijen reglas claras y sencillas para la concesión de privilegios exclusivos en favor de los empresarios de la apertura y composición de caminos y canales, construcción de puentes, navegación de los ríos y sus ramales o brazos principales y demás proyectos de utilidad pública; así como también las reglas que deben guardarse para la construcción de las obras que se emprendan a costas del tesoro nacional y para la decisión en las dudas que puedan ocurrir, provenientes de la ejecución de dichos proyectos. (República de Colombia, 1840, p. 172)

Las obras públicas cuya ejecución corresponde al Gobierno, son los caminos que atravesando dos o más provincias terminan en las costas o en la capital de la República; los canales que sirvan para la comunicación de los dos mares; y la navegación de los ríos que atraviesan uno o más departamentos. (República de Colombia, 1840, p. 175)





1. Visión General

- El texto anterior, redactado hace 197 años por nuestros libertadores, plasma su visión de la época, la cual coincide con lo que actualmente se está analizando en Colombia y que se materializa, entre otros proyectos, con la terminación del túnel de La Línea.
- La finalización del túnel será, como decía el vicepresidente de la República de la época, el general Francisco José de Paula Santander, “La posibilidad de nivelarnos con otras naciones cultas”. Su puesta en operación, después de más de 15 años en construcción, encarnará el esfuerzo de varias generaciones de ingenieros y gobiernos que en el camino hemos ido aprendido grandes lecciones y, de igual manera, será la solución al mayor problema de conectividad del país.

1. Visión General

Linea de Tiempo

1902	1913	1922	1926	1929
Luciano Batlle, enviado por el presidente Murillo Toro informó que la ruta de cruce era el trayecto por la llamada depresión de Calarcá	Se ordena el primer trazo del túnel (ley 129)	(ley 102 de ese año) se ordena construir el túnel en forma definitiva	Se ordena la construcción de la vía para dar continuidad a los Ferrocarriles del Pacífico y del Tolima (103 km)	Se inicia la construcción túnel ferroviario - se detienen las obras del corredor en el mismo año por las complejidades de obra - fallas geológicas
1945	1950	1985	1996	1998 - 2000
Se reinician las obras de la vía vehicular y el túnel (ley 26)	Se declina en la construcción del túnel - se prioriza la vía vehicular	Se realizan diseños a nivel de factibilidad para la construcción del túnel vehicular	Constitución de la Corporación Pro Túnel de La Línea, por parte de los gremios de la región	Se realizan diseños de fase II para la construcción de la vía Armenia – Ibagué, incluyendo el túnel de la línea
2000 – 2001	2004	2008	2013 – 2015	2016
Se realizan 2 licitaciones declaradas desiertas (bajo la modalidad llave en mano)	Se contrata la ejecución de la galería piloto	Se contrata la ejecución del túnel principal y segunda calzada (contrato 3460 de 2008) que inicia en abril de 2009	Se estructura y contrata la ejecución de las obras complementarias del proyecto y los equipos electromecánicos	Se termina el plazo del contrato 3460 de 2008 sin que se cumpliera su objeto
2017	2019			
Se contrata la la revisión, diagnóstico y terminación de las obras del túnel de la línea.	Se contrata y da inicio a las obras de culminación de las segundas calzadas del proyecto			

2. Reflexiones

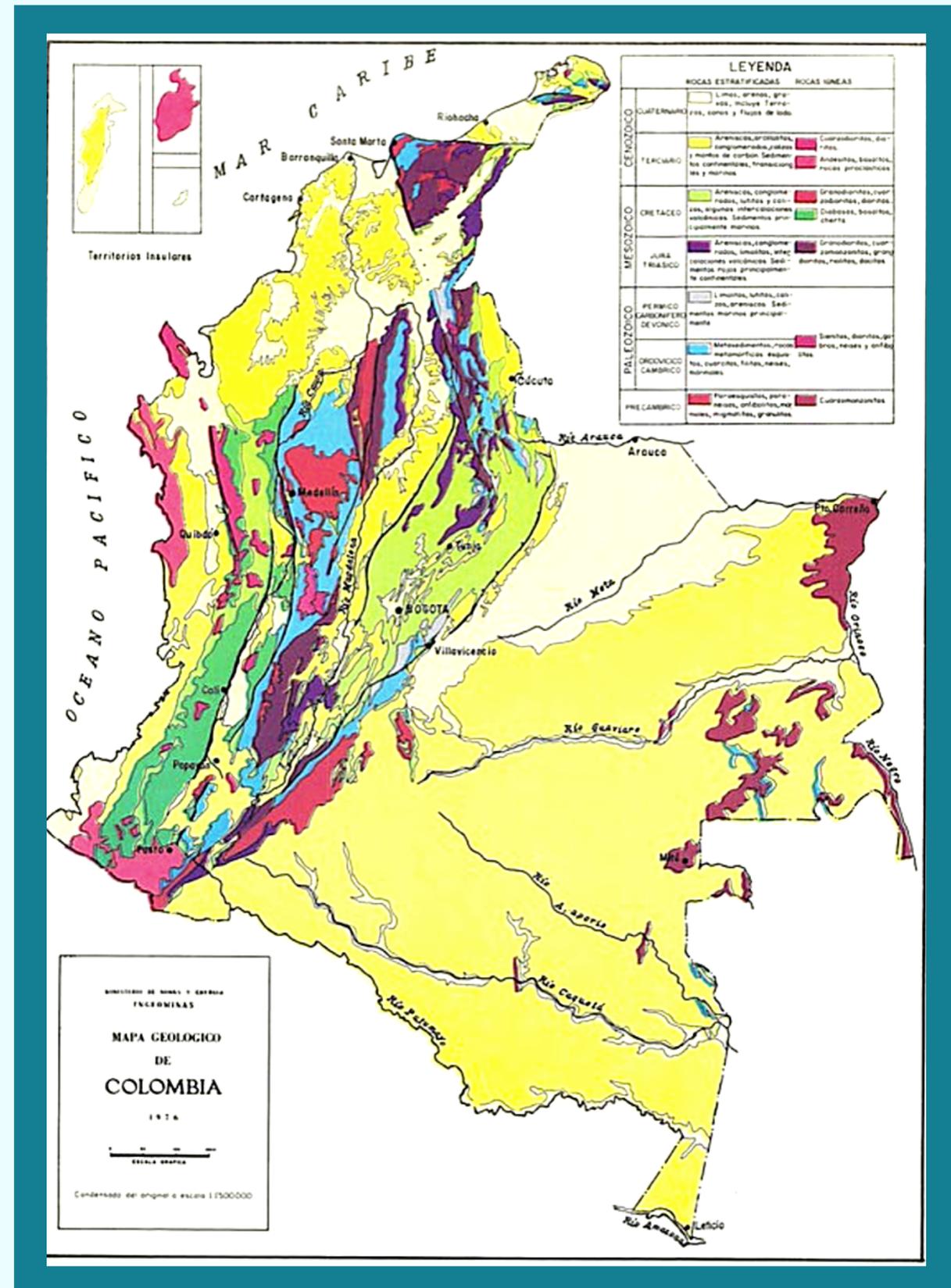


- Todos estos años construyendo el túnel de La Línea nos hace preguntarnos qué nos está pasando.
- Es esencial indagar sobre la planeación y ejecución de proyectos, en vista de que durante los últimos 30 años, si bien se ha visto un avance significativo en el sector, con la finalización de grandes obras –el túnel de Oriente (8,2 km, vía Medellín-Rionegro); el puente Alberto Pumarejo (20 km, vía Magdalena-Atlántico); el viaducto de La Paz o Gran Manglar (5,4 km, vía Cartagena-Barranquilla), etc.
- También se ha evidenciado una serie de eventos no deseados en proyectos importantes de infraestructura.
- Muchos proyectos evidencian fallas en su planeación, elaboración de pliegos, diseños incompletos, deficiente selección de contratistas o una mala dirección y gerencia.

3. ANTECEDENTES AL TÚNEL DE LA LÍNEA



- La ingeniería colombiana se enfrenta a un territorio de complejas condiciones geológicas y topográficas. En términos de geología y formación topográfica, hay una diferencia predominante entre el este y el oeste del país: el primero presenta un escaso relieve montañoso formado por rocas antiguas, mientras que el segundo se caracteriza por las imponentes rocas de la cordillera de los Andes. Por otra parte, es el único país que alberga tres subdivisiones de los Andes (occidental, central y oriental), presentando una variada y compleja geología que abarca rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, además de altas tasas de precipitaciones y gran sismicidad.



3. Antecedentes al Túnel de la Línea



- En un país con estas condiciones, se necesita un gran número de proyectos de túneles para interconectar con éxito las regiones, reducir la distancia, el tiempo y el costo del transporte de personas y mercancías, así como para reducir las barreras comerciales. A pesar de ello, el país ha sufrido de varias décadas de retraso en el desarrollo de la infraestructura, entre muchas razones, por el fenómeno de la corrupción.



3. Antecedentes al Túnel de la Línea

- En la actualidad, la carga que llega al puerto de Buenaventura se transporta a Bogotá a través de un antiguo corredor (construido hace 50 años, con 512 km de longitud, con un tiempo de viaje de 10,5 h) que asciende a la cima de la cordillera Central de los Andes, a 3260 m s. n. m., en lo que se conoce como el alto de La Línea. El trayecto implica enfrentar dificultades climáticas y topográficas y genera un alto costo operativo
- En términos netamente económicos, hoy en día en Colombia, se estima más barato enviar una tonelada de carga desde Tokio al puerto de Buenaventura (aproximadamente, US\$20) que desde el puerto a Bogotá (aproximadamente, US\$35)





3. ANTECEDENTES AL TÚNEL DE LA LÍNEA

Ante este tipo de situaciones, y en un intento por desarrollar su economía, Colombia está invirtiendo fuertemente en la **mejora de la infraestructura vial**. Por ello, en reconocimiento de la necesidad de interconectar las regiones y ser más competitivos, el Gobierno puso en marcha en 2015 su **Plan Maestro de Infraestructura 2015-2035**, que incluye 250 km de túneles, entre los cuales se encuentra el túnel de La Línea (8,65 km) –el punto estratégico del plan.

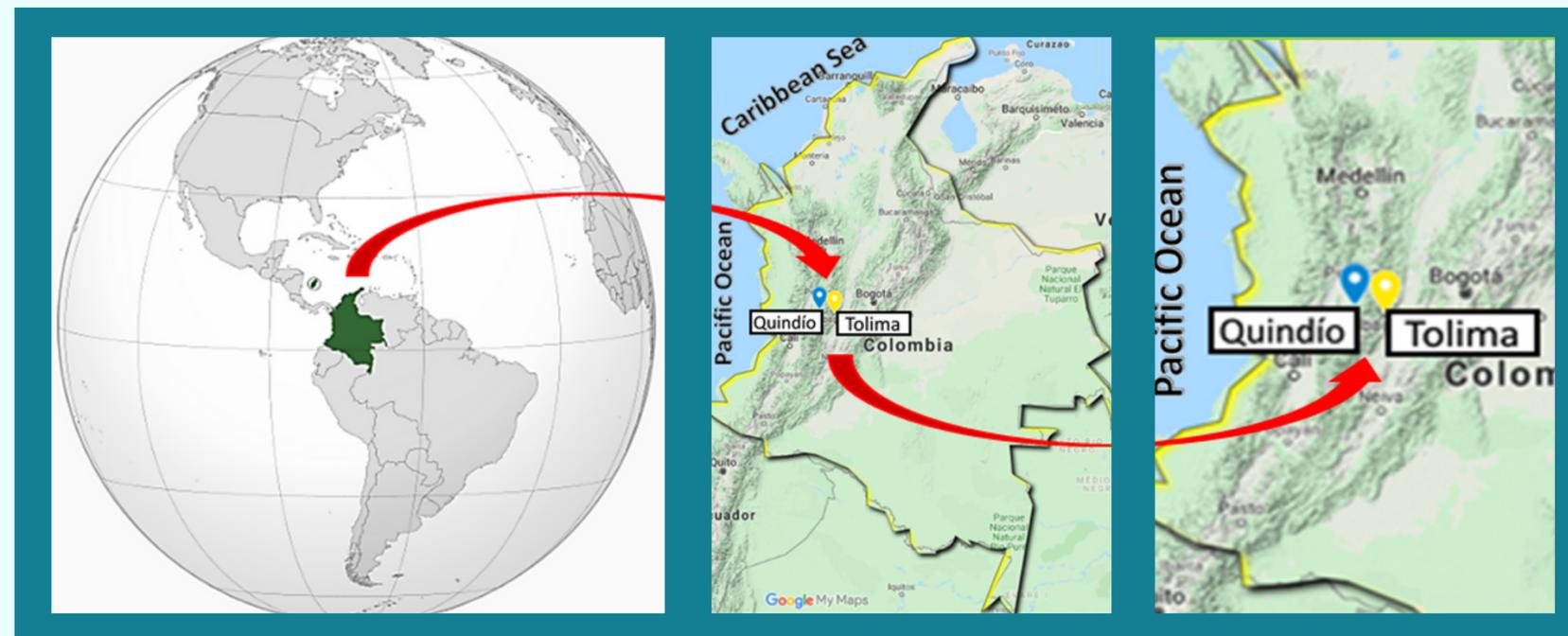
EL PMTI,
una política de estado
para hacer de Colombia
un país competitivo



4. EL Túnel de la Línea

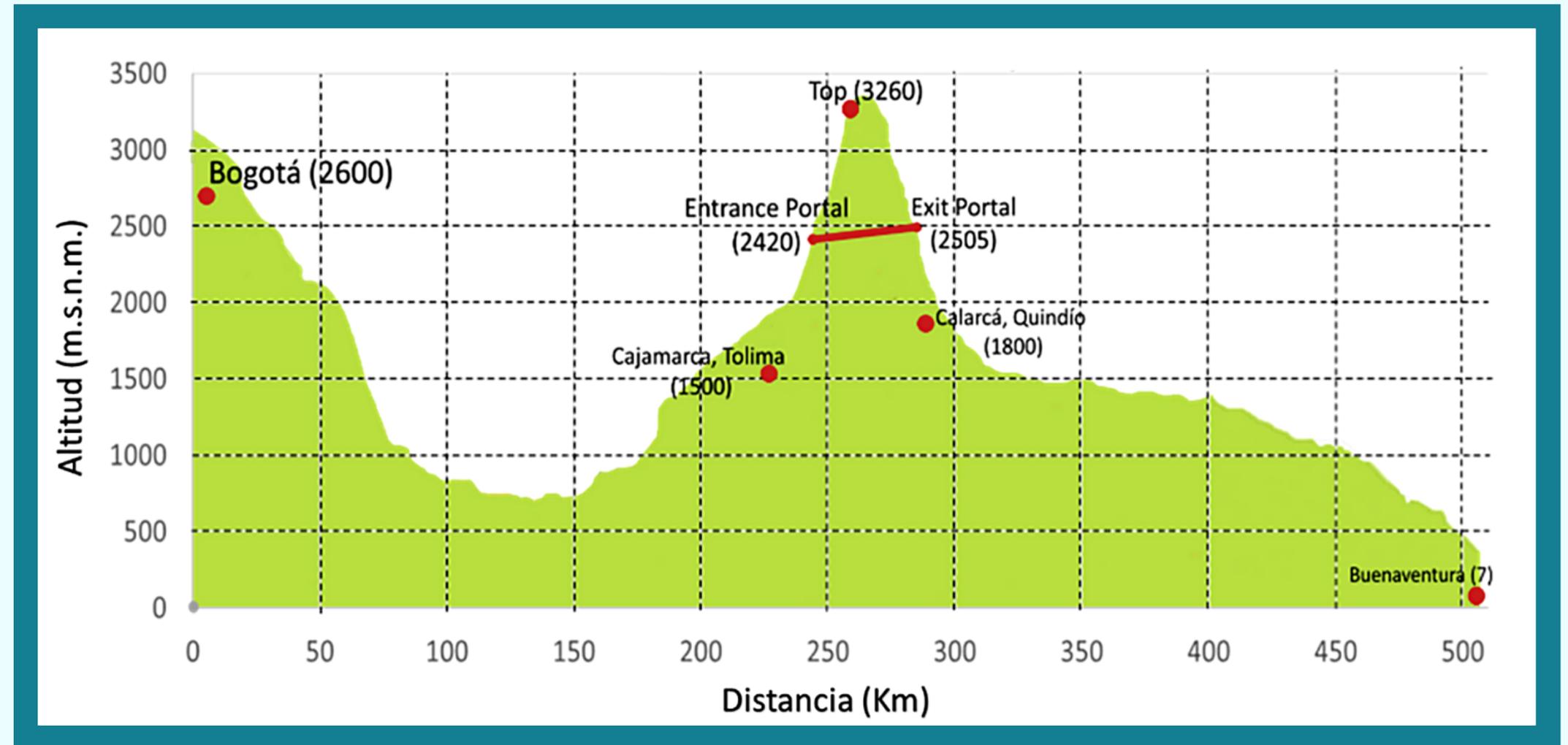


- Situado en la parte central de Colombia, el túnel atraviesa la cordillera Central de los Andes (la más alta de las tres cordilleras andinas, con $h = 3260$ m s. n. m.), un gran obstáculo físico para la interconectividad entre Bogotá, los Llanos Orientales y el océano Pacífico (puerto de Buenaventura).
- El túnel es parte de un entramado de infraestructuras que conectarán a los departamentos de Tolima y Quindío: el proyecto Cruce de la Cordillera Central. El proyecto incluye la construcción de la doble calzada del Quindío (9,5 km) y del Tolima (8,9 km), un total de 3,2 km de túneles cortos, 4 km de viaductos y 11,2 km de obras a cielo abierto.



4. El Túnel de la Línea

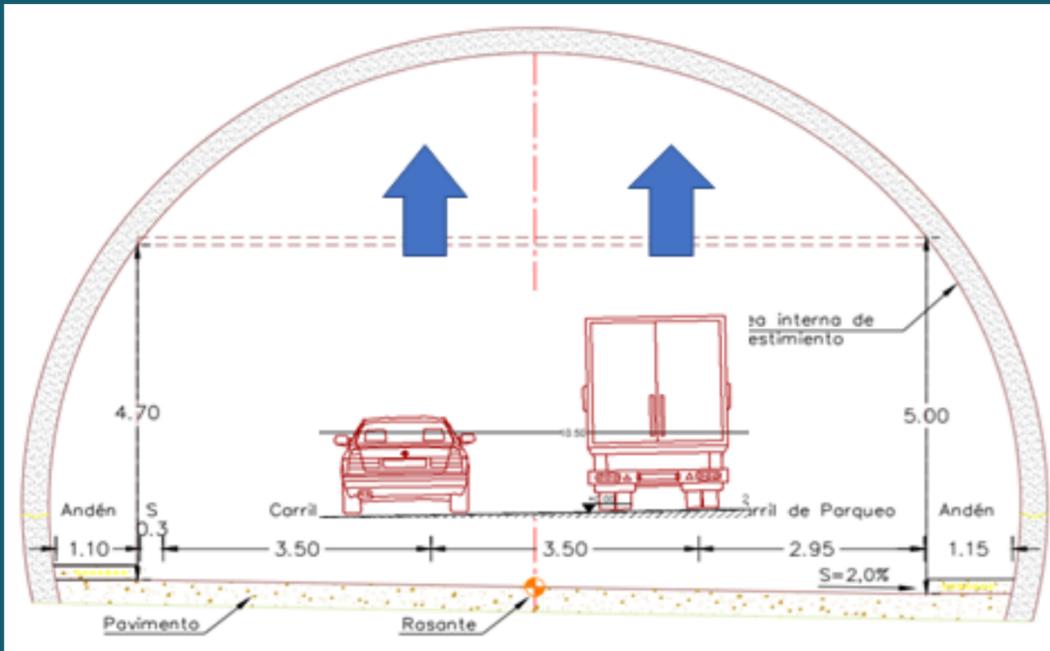
Una vez terminado, el túnel: (1) **reducirá el tiempo de viaje** de vehículos pesados y ligeros en 90 minutos y 40 minutos, respectivamente; (2) ahorrará una altura de 840 m (ver figura 2) y una distancia de viaje de 10 km; y (3) reducirá los accidentes en un 75 %. Estas cifras nos pueden dar una idea de la **mejora sustancial** en los procesos económicos y la **competitividad del país**. En ese sentido, la finalización del túnel es un hito fundamental en Colombia.



4. El Túnel de la Línea



- El portal de entrada y salida del túnel están a 2420 m.s.n.m. y 2505 m.s.n.m. respectivamente.
- Pendiente del 10% descendiente hacia el Quindío.
- Altura o galibo de 4.90 m.
- Ancho de la calzada 10.90 m.
- 2 carriles de 3.65 m cada uno.
- Pavimento en concreto MR45.
- Velocidad mínima de diseño de 60 km/h.
- 10 espacios para estacionamiento de emergencia.
- 60 espacios para la seguridad contra incendios.
- 60 espacios de emergencia.
- 17 galerías de emergencia (9 para peatones y 8 para vehículos) en caso de emergencia.



3. El Túnel de la Línea



- El túnel de La Línea fue concebido y estudiado originalmente en 1913 como un túnel ferroviario. En **1929 se iniciaron las obras** del túnel y se detuvieron ese mismo año debido a fallas geológicas imprevistas y a un desconocimiento técnico general de la zona del proyecto. Setenta años después, la idea de construir este túnel volvería a tener fuerza.
- Dada la ausencia de información geológica y geotécnica fiable sobre la cordillera Central de los Andes y la gran cobertura que representa el túnel (840 m), el Gobierno, a través del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), en 2000 decidió **iniciar el proyecto con un túnel piloto**, a fin de obtener una sólida base de datos para la reducción y cuantificación del riesgo geológico, así como la posibilidad de **ejecutar los pretratamientos** de las zonas de falla identificadas en el posterior ajuste de diseño del túnel principal.
- Para adjudicar el contrato del túnel piloto, el INVÍAS abrió dos licitaciones en 2001 y 2002, que no obtuvieron respuesta. En 2004 se adjudicó el contrato del túnel piloto. En el caso del túnel piloto, la excavación se realizó mediante **perforación y voladura**, por el Nuevo Método Austriaco de Construcción de Túneles (NATM, por sus siglas en inglés). Una vez terminada la construcción del túnel principal, el túnel piloto se utilizará como galería de emergencia (ver figura 3).

3. El Túnel de la Línea

- Después de la finalización del túnel piloto, INVÍAS abrió una **nueva licitación** para la construcción del túnel principal. Según las estimaciones del INVÍAS, el valor global del nuevo contrato correspondía a aproximadamente **1,2 billones de pesos**. Sin embargo, INVÍAS adjudicó el contrato a la más económica de las seis propuestas, por un valor aproximado de \$630.000 millones, 53 % del valor global estimado.
- El contrato se firmó el 24 de diciembre de 2008, bajo la modalidad de contrato ‘llave en mano’, y tenía el siguiente alcance: **“Estudios y diseños, gestión social, territorial y ambiental, construcción y operación del Proyecto Cruce de la Cordillera Central”**. El periodo de construcción del túnel, incluyendo las instalaciones electromecánicas y su centro de control de operaciones (CCO), se fijó en 46 meses.
- El INVÍAS ordenó iniciar la construcción el 1 de julio de 2009. Esto significa que la construcción debía concluirse y comenzar a operar el 1 de mayo de 2013. Sin embargo, no se cumplió ni el precio ni el plazo de construcción, pues se presentaron una serie de situaciones complejas relacionadas con aspectos contractuales y constructivos.



3. El Túnel de la Línea

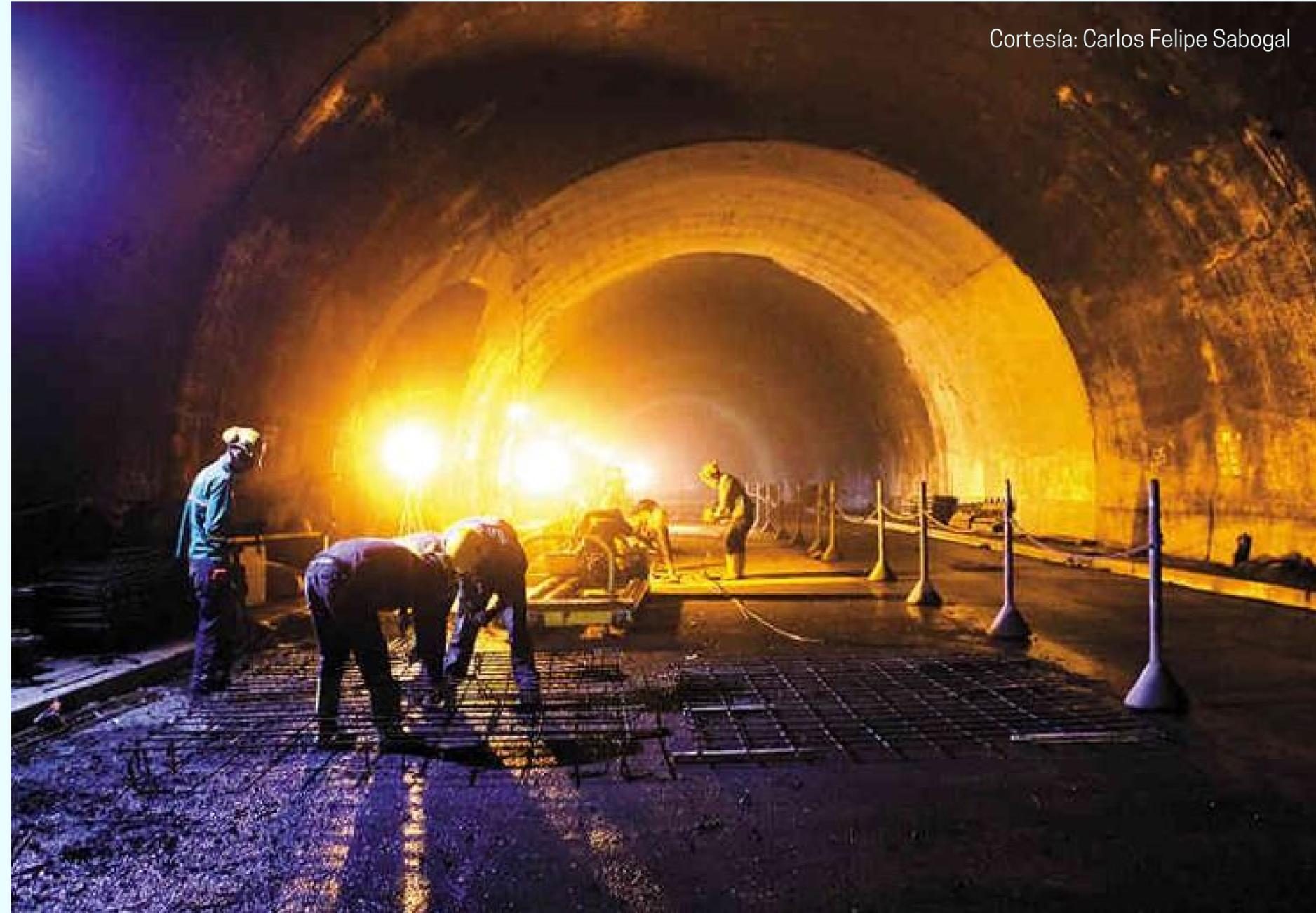
PORTAL TOLIMA

Visita Diciembre 7 - 2017 - Germán Pardo A.

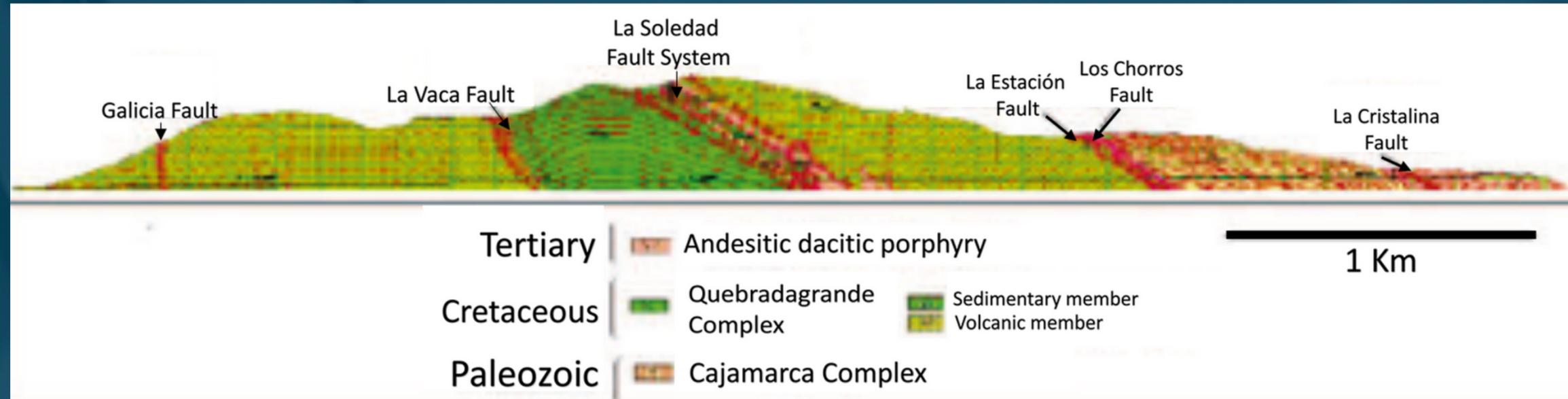


3. El Túnel de la Línea

- En cuanto a la modalidad de contrato 'llave en mano' del proyecto, por un valor fijo de aproximadamente **\$630.000 millones** el contratista debía asumir el costo de todos los **sobrecostos generados por riesgos geológicos** y de construcción imprevistos –el INVÍAS había proporcionado al contratista una línea base de información geológica-geotécnica obtenida del túnel piloto. Este aspecto es fundamental resaltar ya que el Invias hizo un gran esfuerzo para minimizar los riesgos geológicos.
- A lo largo del desarrollo del contrato, el contratista, a través de la interventoría, solicitó al INVÍAS, entre otros temas, que algunas actividades fueran pagadas por **precio unitario**. Se involucro una terminología contractual llamada ZONAS DE **AFECTACION DE FALLAS**. Con la aceptación de esta modalidad de pago, se considera que se **alteró la filosofía del contrato**, ya que su concepción era precio global y plazo fijo. Adicionalmente, fueron suprimidas obras como las instalaciones electromecánicas y su centro de control de operaciones (cco), para lo cual **INVÍAS abrió una nueva licitación**.



Cortesía: Carlos Felipe Sabogal



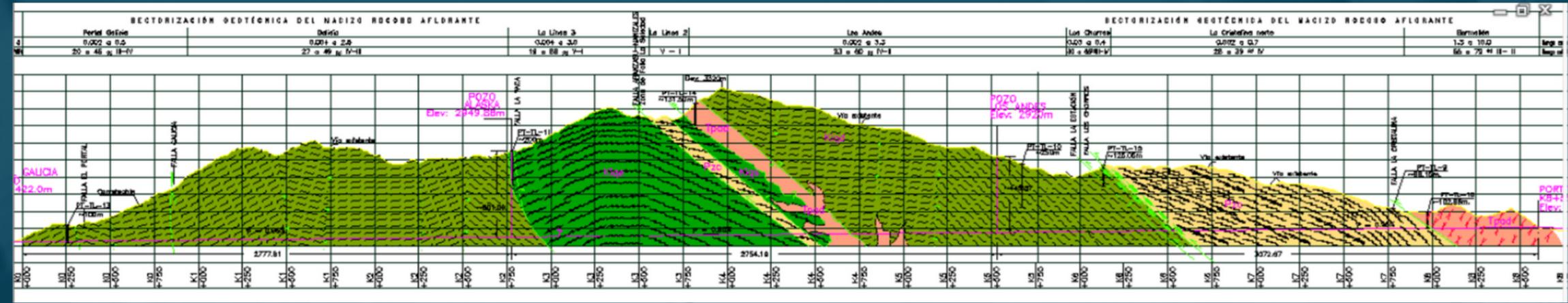
- El túnel piloto suministró una información base importante, cabe resaltar el hecho de que no había sido excavado en su totalidad cuando se adjudicó el contrato para el túnel principal, por lo que no se tenía la información completa y precisamente fue por ello que el INVIAS incluyó ítems para pagar el riesgo geológico asociado con la zona sin excavar.
- Por otra parte, se evidenció durante la construcción del túnel principal que algunos sectores no exhibían un registro geológico ni comportamiento geomecánico similar al piloto.
- Lo anterior indica que, incluso teniendo una gran base de datos geológicos-geotécnicos de un túnel a pocos metros, la gran variabilidad de los macizos rocosos, su heterogeneidad e isotropía están siempre presentes. Por tanto, se debe complementar con exploraciones adicionales hacia el túnel por construir y, a pesar de tener la información del piloto, prever un grado de incertidumbre. Las fallas y su zona de afectación representan el 30% del total de la longitud del túnel.

5. LECCIONES

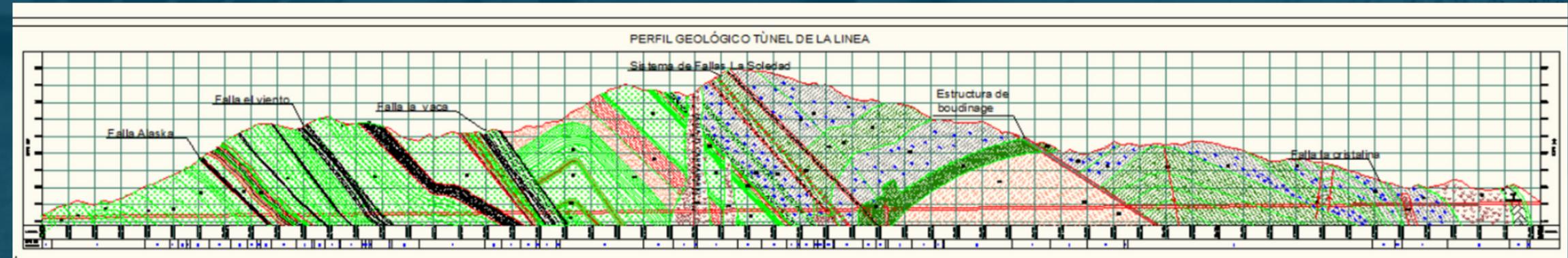


5. LECCIONES

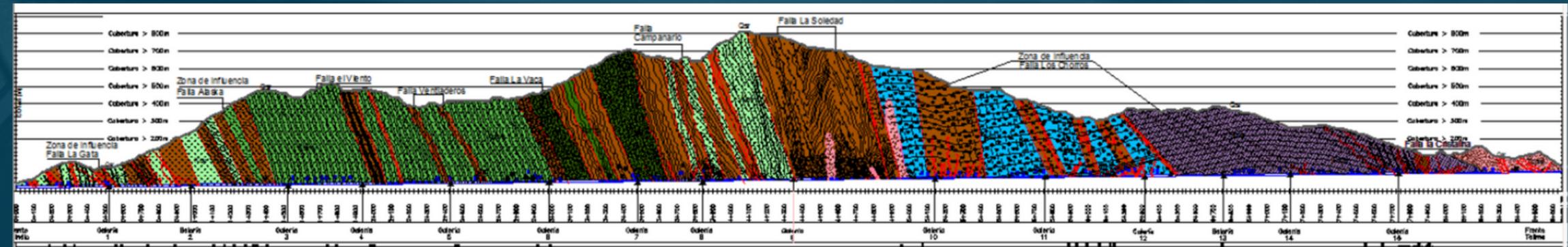
GEOLOGÍA DEL TÚNEL



Geología de Diseños Ingetec



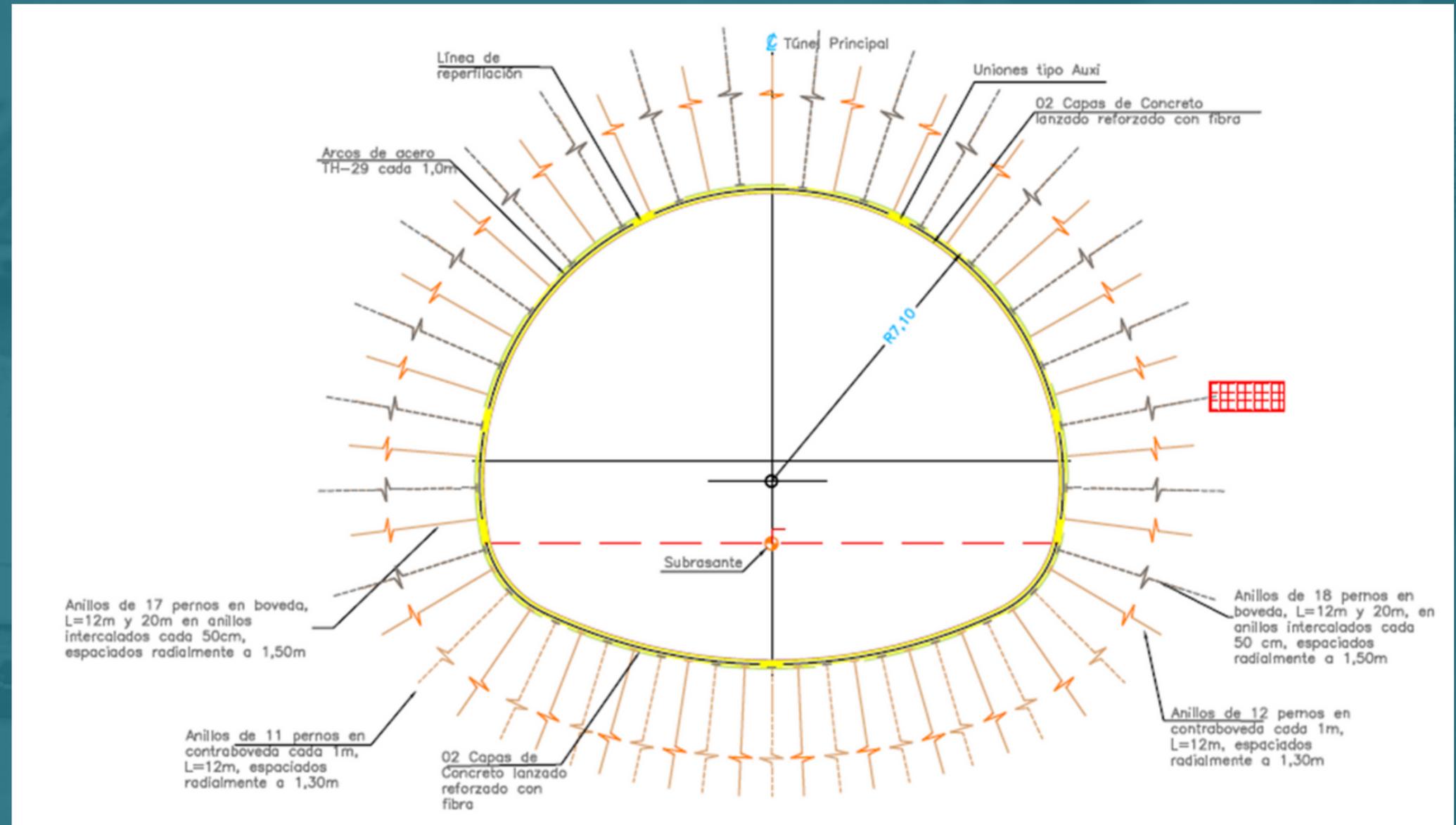
Geología Túnel Piloto



Geología Real

5. LECCIONES

FALLA LA SOLEDAD REFUERZO



5. LECCIONES

FALLA LA SOLEDAD VISITA 7 DE DICIEMBRE DEL 2017



Foto cortesía Germán Pardo A.



5. LECCIONES

FALLA LA SOLEDAD VISITA 7 DE DICIEMBRE DEL 2017



5. LECCIONES

GEOLOGÍA DEL TÚNEL

Cortesía: Carlos Felipe Sabogal



ANTES



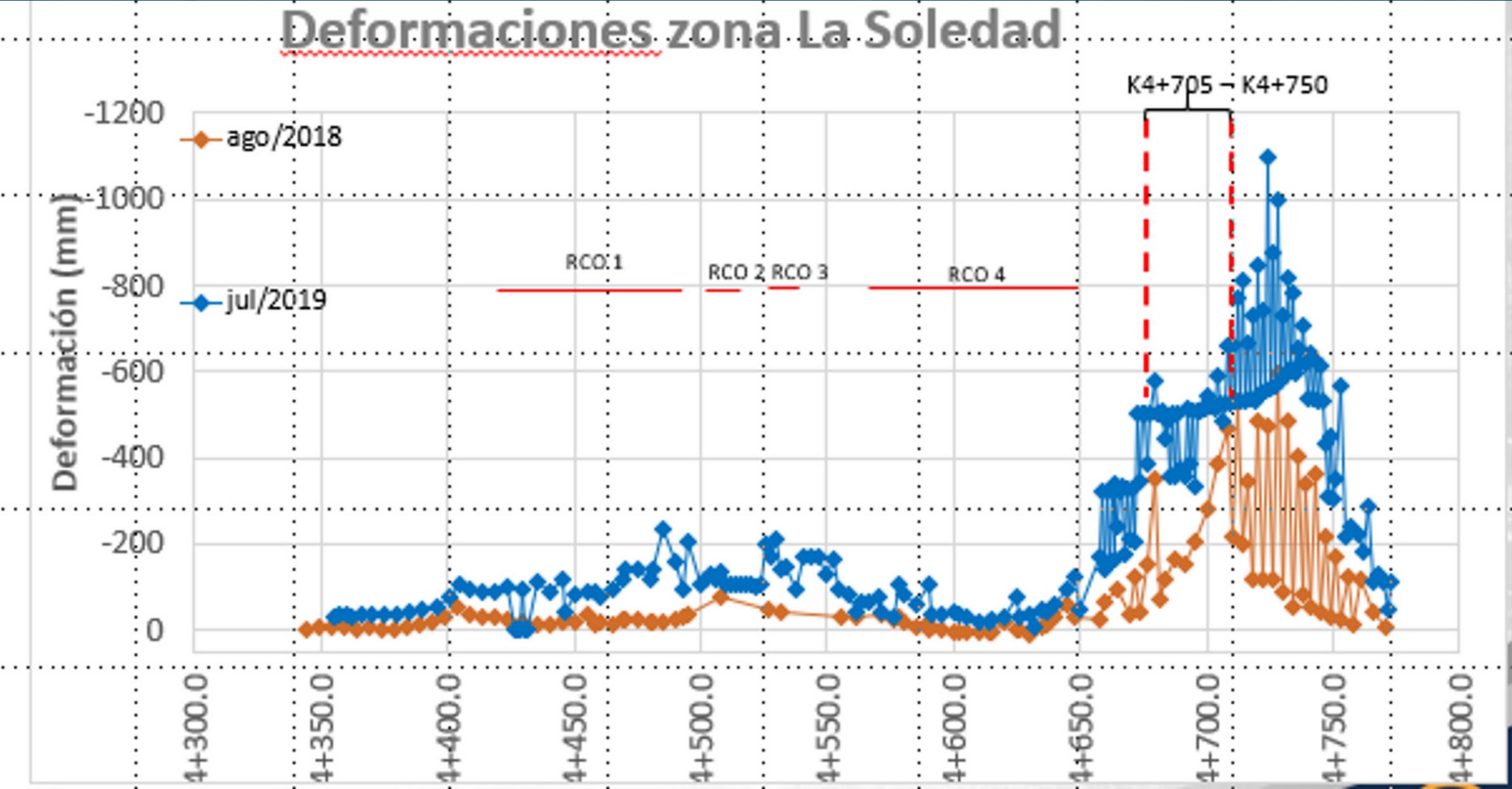
DESPUÉS



5. LECCIONES

FALLA LA SOLEDAD

Cortesía: Carlos Felipe Sabogal



5. LECCIONES

FALLA LA SOLEDAD



5. LECCIONES

FALLA LA SOLEDAD



5. LECCIONES

FALLA LA SOLEDAD

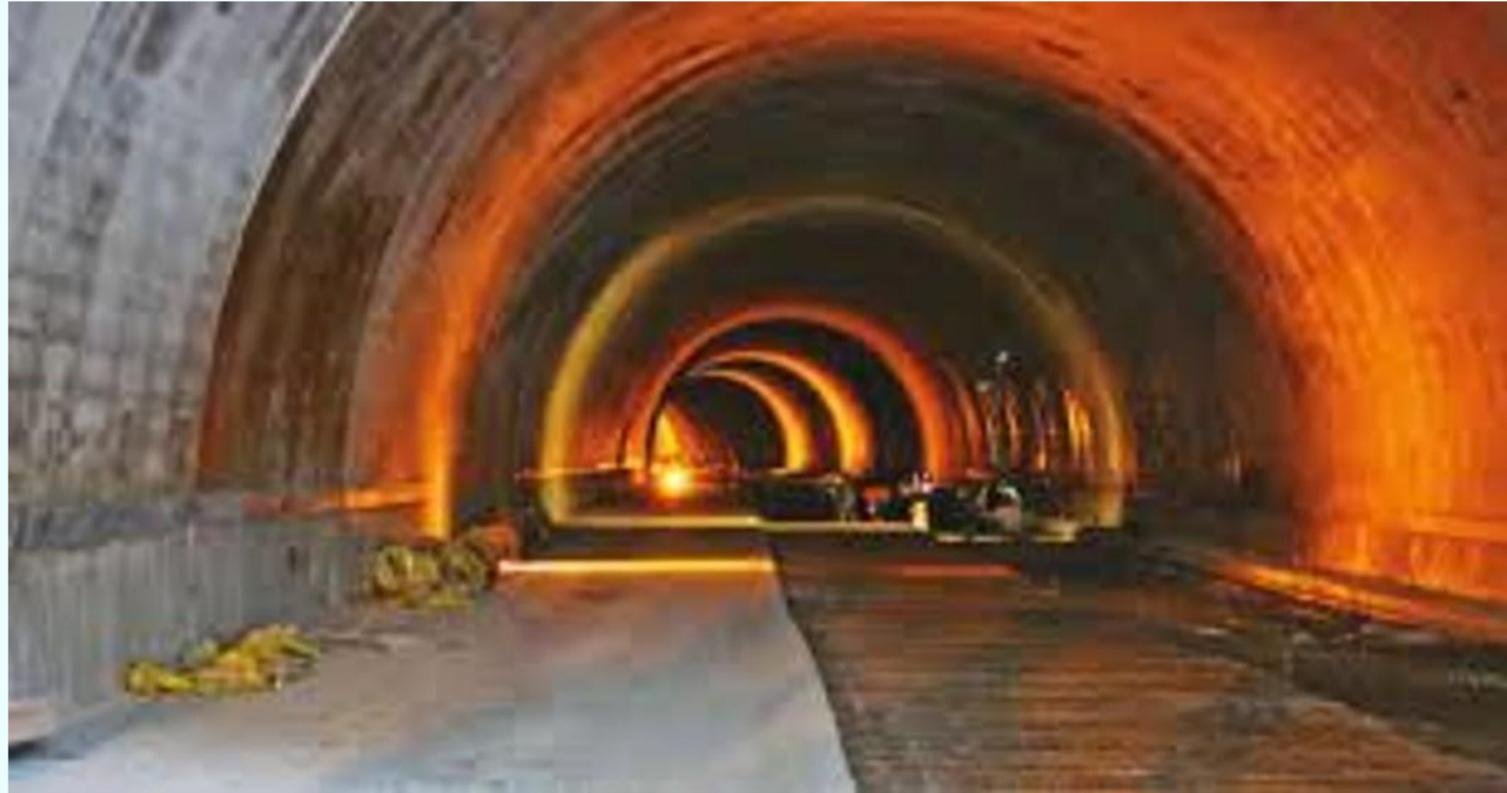
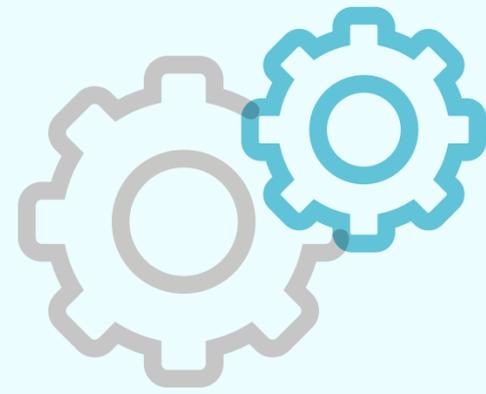


5. Lecciones



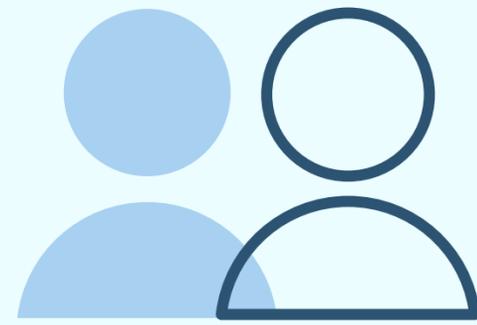
- Estructurar un contrato 'llave en mano' para las obras del túnel de La Línea surgió por la gran certeza que se tenía de la geología y geotecnia asociada al túnel piloto. Sin embargo, la realidad a nivel de ingeniería se distancia de la rigidez de la estructura jurídica, sumado a que, además del túnel de La Línea, el contratista debía ejecutar diseños de detalle y construcción de las diferentes obras incluidas en el proyecto Cruce de la Cordillera Central.
- Para algunas obras diferentes del túnel de La Línea no se tenía información técnica suficiente que permitiera acotar los riesgos geológicos. En este sentido, la rígida estructura del contrato no permitió manejar de la mejor forma los imprevistos inherentes a las condiciones geológicas-geotécnicas encontradas realmente en la construcción, tanto del túnel principal como de las demás obras. Lo anterior se asocia directamente con el programa de desembolsos por hitos del contrato y con el hecho de que cualquier dificultad técnica no superada afectaba el proceso constructivo y, por ende, la capacidad financiera para ejecutar las obras. Los megaproyectos son obras con vida propia y difícilmente se puede prever todo. Por tanto, se considera que un contrato 'llave en mano', para obras de túneles, no es la mejor opción.

5. Lecciones



- El túnel de La Línea es el mejor ejemplo de la **complejidad en los procesos de contratación** de los proyectos. Los contratos ‘llave en mano’ no siempre son la solución a los riesgos que debe asumir el Estado. La lógica jurídica para salvaguardar los intereses del Gobierno difiere con la lógica matemática para definir las obras públicas. Más que contratos “perfectos”, se requiere otorgar la obra a un **contratista especializado y con experiencia** demostrada en el tema.
- Debemos sentar las bases para definir claramente los grupos de trabajo más idóneos según el proyecto, con **personal experimentado**, con participación de las diferentes **disciplinas científicas pertinentes**, para analizar la sostenibilidad, los riesgos, los impactos y, particularmente, de manera exhaustiva, la relación de **costo/beneficio socioambiental**.

5. Lecciones



- Teniendo en cuenta la gran **variabilidad de los macizos rocosos**, el arte de construir túneles se asocia con la habilidad de **tomar decisiones oportunas en tiempo real**. En este sentido, es común que se presenten condiciones diferentes a las planteadas teóricamente, incluso en los estudios y diseños a fase III. Por ello, aprendimos también que la información obtenida en campo es sumamente importante para entender y lograr clasificar el macizo rocoso de manera más cercana a la realidad. **No debemos escatimar en estudios geológicos-geotécnicos**, ya que representan el éxito o fracaso del proyecto.
- Por otra parte, debido a los problemas contractuales suscitados durante la ejecución del túnel, se produjo un gran error que en la ingeniería subterránea siempre debe evitarse: **la parálisis de las obras y el descuido de los frentes de construcción**. La no colocación oportuna del soporte en el túnel generó desplazamientos y el cierre de la sección, por lo que se debió estudiar y diseñar nuevamente el túnel con base en las condiciones de esfuerzos y deformaciones presentes en el momento. Este es el motivo por el cual no fue fácil conseguir nuevos contratistas que hicieran frente a tal situación. Los nuevos diseños que debieron ser ejecutados fueron más complejos, difíciles y costosos. La lección, repito, es que **las obras subterráneas no deben ser suspendidas**.

6. Aciertos y Aprendizajes



- Se deben reconocer grandes aciertos del túnel de La Línea. En lo concerniente a aspectos técnicos, se revistió en su totalidad con concreto convencional, lo que significa una **vida útil mínima de 100 años**. En este revestimiento se aplicaron pinturas especiales que mejoran sustancialmente la luminosidad, lo cual a largo plazo generará un importante **ahorro energético**.
- Igualmente, como el revestimiento presenta mínima rugosidad, **se optimizó el sistema de ventilación**, lo cual permite una mejor estratificación del aire circundante. De hecho, el túnel es uno de los primeros proyectos donde para el diseño de su ventilación se tomaron decisiones importantes de manera integral, basadas en un exhaustivo **“análisis de riesgos”** preoperativo.

6. Aciertos y Aprendizajes

- Se debe reconocer que el túnel estará dotado de uno de los más modernos sistemas inteligentes de transporte (ITS por sus siglas en inglés), que se traduce en una alta seguridad de la operación para los usuarios.

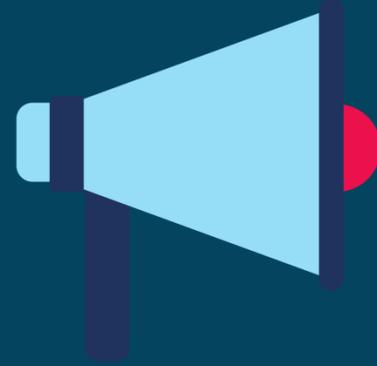


6. Aciertos y Aprendizajes

- Existen a la vez grandes aprendizajes. Hoy por hoy, la finalización del túnel, además del beneficio para la movilidad entre los cuatro puntos cardinales del país, representa un cúmulo de importantes lecciones aprendidas. Disponemos de un gran conocimiento de nuestra cordillera Central, su geología, fallas, comportamiento esperado y dificultades y, sobre todo, tenemos la certeza de que en Colombia se pueden diseñar y construir túneles de gran complejidad, superando cualquier adversidad. El túnel de La Línea fue el punto de partida para que el país tomara la decisión y comprendiera que la única forma de interconectar con éxito las regiones es mediante túneles.



6. Aciertos y Aprendizajes



- El proyecto Cruce de la Cordillera Central, del cual hace parte el túnel de La Línea, nos enseñó a varias generaciones de ingenieros el significado de la resiliencia. Demostró también que la ingeniería subterránea en Colombia tiene un gran nivel de conocimiento y se fundamenta en la interpolación de experiencias de los túneles hidráulicos construidos en la década de los 80.



6. Aciertos y Aprendizajes



Sin duda, el mayor aprendizaje es que el gerenciamiento de proyectos complejos debe ser ejemplar.



Los actores y desarrolladores del proyecto deben ser ingenieros con una amplia experiencia demostrada en el tema, se debe contar con un panel de expertos que asesore directamente al cliente en sus decisiones y se debe disponer de una interventoría proactiva y con poder de decisión.



Todos los actores deben contar con un gran ánimo de colaboración enmarcado dentro de un comportamiento ético y solidario, sin perder de vista que lo que se está ejecutando es una obra pública y los recursos son sagrados.



Expreso mis más sinceras felicitaciones a las miles de personas que trabajaron para materializar el mayor anhelo de los colombianos: la finalización del túnel de La Línea.

6. Aciertos y Aprendizajes

1

EL TÚNEL FUE REVESTIDO EN SU TOTALIDAD EN CONCRETO HIDRÁULICO, MEJORA SUBSTANCIAL AL DISEÑO INICIAL, AUMENTA SU VIDA ÚTIL Y MINIMIZA INTERVENCIONES DE REPARACIONES O MANTENIMIENTO.

2

SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS CON TECNOLOGÍA DE PUNTA.

3

ACTUALIZACIÓN DE DISEÑOS Y REVESTIMIENTO EN CONCRETO HIDRÁULICO A LOS DEMÁS TÚNELES CORTOS.

4

DISEÑO DE LOS PUENTES CON NORMATIVIDAD RECIENTE.

5

SEÑALIZACIÓN GENERAL E ILUMINACIÓN CON SISTEMAS LED DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA.

6

VENTILACIÓN LONGITUDINAL APLICANDO MODERNAS TECNOLOGÍAS QUE DISMINUIRÁN DRÁSTICAMENTE LOS COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

7. Conclusiones Y RECOMENDACIONES



7. Conclusiones

Y RECOMENDACIONES

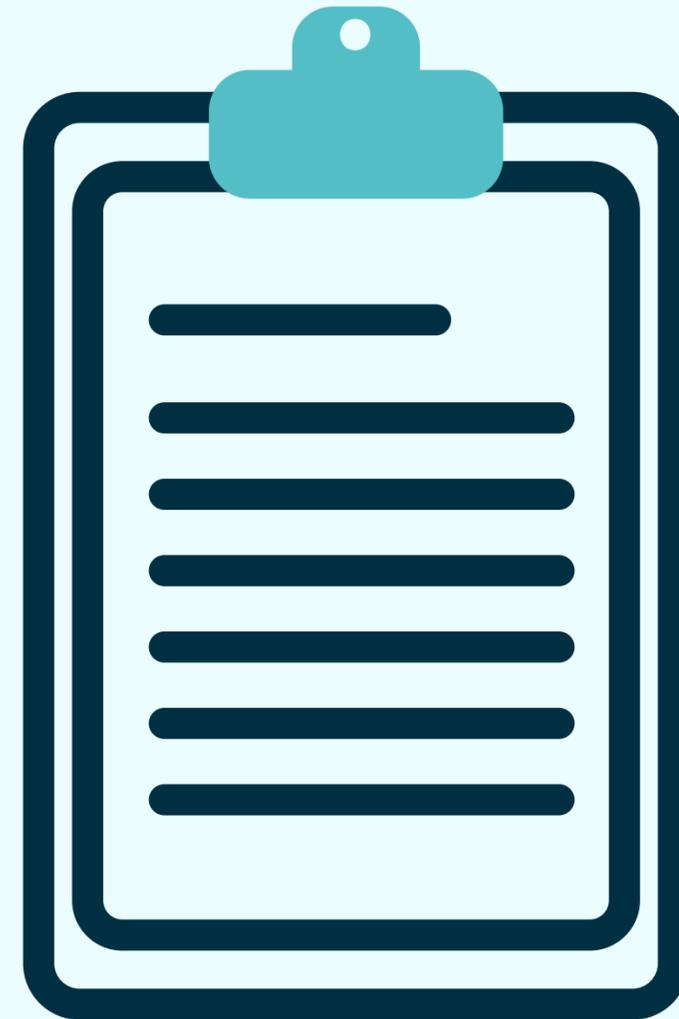
- La planeación es fundamental para garantizar la ejecución de obras de ingeniería.
- La construcción de obras subterráneas exige la participación de profesionales expertos, empresas con amplia experiencia, seguimiento estricto, contratos flexibles, excelentes diseños, gerenciamiento oportuno y poder de decisión.
- En obras de infraestructura pública se deben utilizar los factores de seguridad más exigentes, las especificaciones técnicas y normas más recientes, respetar el medio ambiente, diseñar con el criterio de sostenibilidad que garantice una vida útil cercana a 100 años, y definiendo sistemas electromecánicos con la premisa de la eficiencia energética.
- La ética, la buena práctica de la ingeniería y las buenas y oportunas decisiones, garantizarán el cumplimiento de los objetivos.



7. Conclusiones y Recomendaciones

¿QUE VIENE AHORA?

- ✓ Terminar la doble calzada Calarcá -Cajamarca, que incluye 20 túneles cortos.
- ✓ Terminar la doble calzada Buga- Buenaventura
- ✓ Finalizar la doble calzada Bogotá- Villavicencio
- ✓ Construir el segundo Túnel de la Línea
- ✓ Disfrutar de un paseo de Villavicencio a Buenaventura por una autopista recorriendo los 600 kilómetros en máximo 10 horas.
- ✓ Conexión Orinoco-Pacífico



Gran reto para los próximos años

7. Conclusiones y Recomendaciones

“

La ingeniería es el arte de transformar ideas simples en cosas útiles

”

Germán Pardo Albarracín

¡GRACIAS!

COLEGIO MAXIMO DE LAS ACADEMIAS



Espacio para preguntas