

**Anexo F. Descripción geológica del proyecto
“Cruce de la Cordillera Central**

1. Geología

1.1 Descripción general

En términos generales, la formación de los geólogos e ingenieros que trabajamos en obras subterráneas de gran impacto (túneles, hidroeléctricas, minas), está influenciada por la diversidad de interpretaciones y teorías que han sido concebidas por caracterizaciones generales o globales del comportamiento del diastrofismo de las cordilleras y litologías heterogéneas de los materiales que las constituyen. Estas interpretaciones han sido condicionadas con la disponibilidad de información que el Servicio Geológico Colombiano - SGC (anteriormente INGEOMINAS) ha recopilado durante ya casi un siglo, el difícil acceso en terreno – topografía agreste -, los problemas sociales que nos atañen hacen más de 50 años, la cobertura vegetal amplia densa de nuestros bosques y selvas, los bajos recursos para investigación (perforaciones, campañas, estratigrafía, etc.) e interpretaciones con nomenclaturas diversas y heterogéneas entre los autores, incide en la concepción de grandes proyectos de obras subterráneas en Colombia. Por tanto, para comprender

La cordillera de los Andes es una de las más grandes cadenas montañosas jóvenes de la tierra que atraviesa de S-N, el costado occidental del continente Suramericano. Durante la separación del antiguo continente Gondwana, se estableció la actual placa sudamericana y el escudo de Guayanés, conformado por rocas cristalinas antiguas del Precámbrico que con el tiempo, experimentaron un intenso metamorfismo, plegamiento y fracturamiento, por la convergencia y subducción de las placas oceánicas: Caribe y Nazca con la placa continental: Suramericana (Figura F - 1 y Figura F - 2) [Ego *et al.*, 1996; Pennington, 1981]. Posteriormente, estos materiales rocosos provenientes de la acreción de la cordillera, fueron cubiertos por grandes cuencas sedimentarias, producto de la meteorización (física) y alteración (química) que desagregó los materiales superficiales en extensas capas o estratos horizontales [Flórez, 2003] hasta conformar el actual continente de América de Sur.

Particularmente para el territorio colombiano, la cordillera Andina, fue subdividida en tres cadenas montañosas denominadas cordillera: Occidental, Central y Oriental, las cuales aparecieron durante la segunda (Hercínica o Varisca – 220 millones de años) y tercera (Andino-Alpino – 65 millones de años) orogenia global. Cabe destacar que durante el Mesozoico, los movimientos epirogénicos amplios y asociados con los esfuerzos de subducción de las placas Nazca - Suramericana y Caribe en menor proporción, generaron por una parte, la acreción de una cordillera pre-andina denominada Cordillera Central, la cual se levantó y erosionó hasta formar una gran plataforma sedimentaria que cubre hasta la actualidad, extensas regiones de la Orinoquía y Amazonía Colombiana [Thouret, 1982], conformando así,

el núcleo de la Cordillera Oriental y por otro lado, la definición de una extensa franja de sedimentación marina hacia el Occidente de la Cordillera Central.

Durante el Cenozoico, hacia el occidente, se dio la tercera orogenia (Pre-Andina), la cual generó grandes cambios en el relieve colombiano, como son: i) la aparición de un cinturón volcánico que forjan eventos tectodinámicos con metamorfismo, plutonismo, emisión de materiales volcánicos, erosión y fracturamiento de las rocas más rígidas de la Cordillera Central [Flórez, 2003], causado por los esfuerzos compresivos perpendiculares a la Cordillera (Figura F - 3) ii) levantamiento de la Cordillera Oriental y de las depresiones laterales e interandinas soportados por la transgresión del mar interior que implicó la instalación de sistemas aluviales (ríos, ciénagas, pantanos), áreas inundables y receptoras de sedimentos de las cordilleras y definición de acuíferos locales y regionales, iii) definición de fallas (regionales o locales) u otros lineamientos como pliegues o diaclasas que controlan la organización de la red de drenaje, se destacan las fallas de Suaza, Chusma, Cambras, Alto del Trigo, La Salina, Soapaga, Bucaramanga, Santa Marta, Oca y Guaicáramo, y se produce un desplazamiento dextralateral de 28 km en la Falla de Palestina y desplazamiento de las rocas más duras en la Cordillera Central [Lobo-Guerrero, 1994], iv) acreción de la Cordillera Occidental y v) separación de las cordilleras con las depresiones actuales del Cauca y Magdalena.

Una vez finalizada la última orogenia Andina, se presentó un acortamiento (sentido transversal) del sistema Andino, y las cordilleras cabalgaron lateralmente sobre las fosas interandinas y depresiones laterales siguiendo las fallas inversas que las separaban [Thouret, 1982], generando tasas de elevación de las cordilleras del orden de (7 a 5 mm / año) – al finalizar el Terciario – y levemente durante el cuaternario y hasta el actual Holoceno [Flórez, 2003].

El macizo fracturado de la Cordillera Central, se estructuró a partir de series ígneo-metamórficas fracturadas y de diferentes edades que fueron identificadas durante la excavación del Túnel de rescate (Túnel Piloto). Particularmente para el Portal o frente Quindío, situado al NW, corta una secuencia metamórfica paleozoica volcano-sedimentaria correspondiente al Complejo Quebrada Grande, el cual se pone en contacto mediante una zona amplia de fracturamiento denominada Falla Campanario, con los materiales metamórficos sedimentarios de edad Cretácica del Grupo Cajamarca. Por otra parte, en el Portal Tolima, situado al SE, la serie finaliza con una intrusión terciaria de pórfido andesítico.

Ambos complejos se encuentran parcialmente cubiertos por depósitos no consolidados de ceniza volcánica (Lapilli) de Edad Cuaternario, que cubre más del 35% del área de influencia del Túnel [INGEOMINAS, 1984], los cuales no son reportados en los informes geológicos previos. Una descripción general de las características geológicas de las formaciones observadas en superficie y con la

excavación de la zona de influencia al proyecto a los dos túneles (Piloto y Principal) se muestra en la Figura F - 4 y Tabla F - 1.

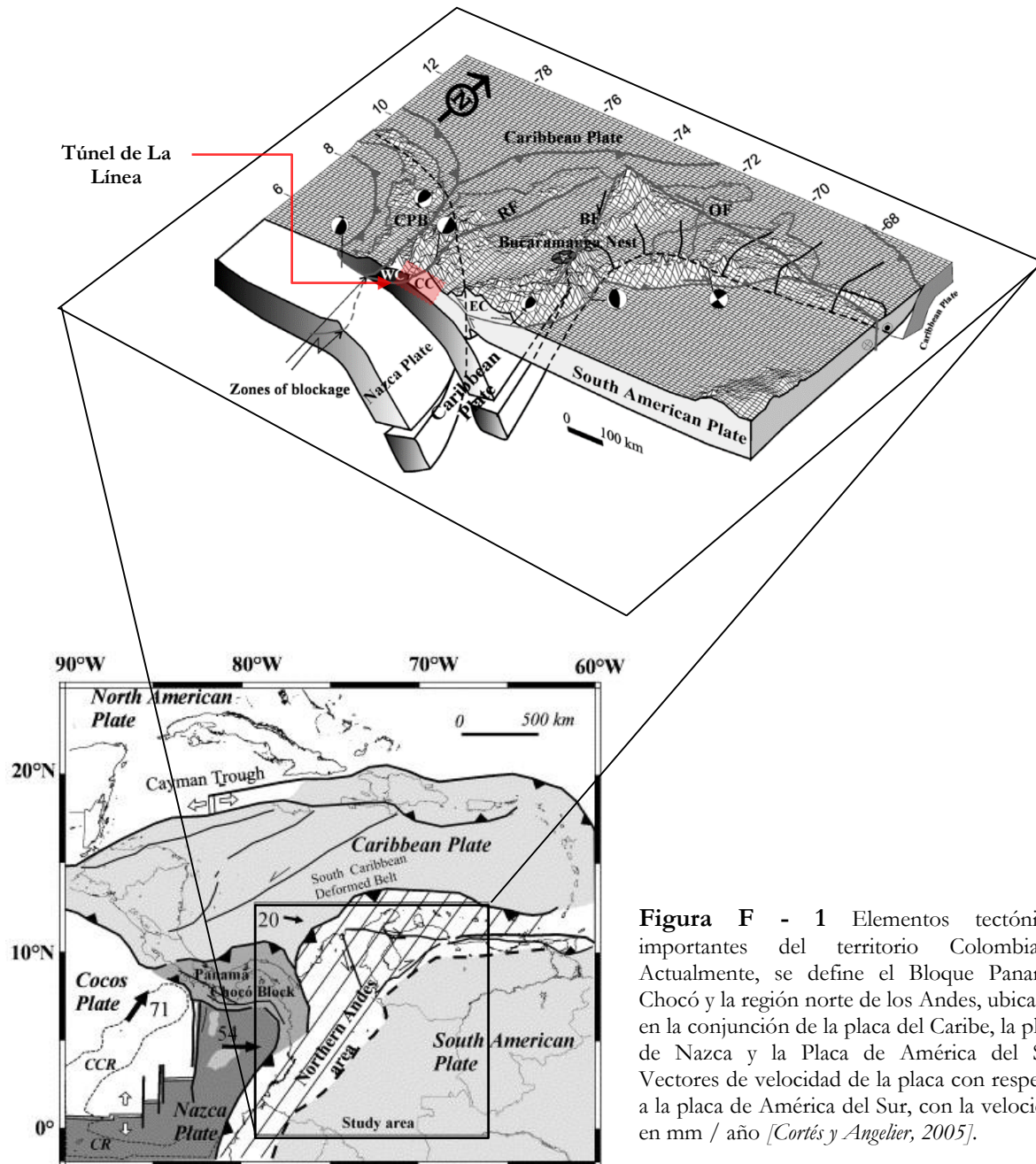


Figura F - 1 Elementos tectónicos importantes del territorio Colombiano. Actualmente, se define el Bloque Panamá-Chocó y la región norte de los Andes, ubicados en la conjunción de la placa del Caribe, la placa de Nazca y la Placa de América del Sur. Vectores de velocidad de la placa con respecto a la placa de América del Sur, con la velocidad en mm / año [Cortés y Angelier, 2005].

Figura F - 2 Modelo Tridimensional (3D) de la convergencia entre placas en el territorio colombiano. RF: Falla del Romeral, CPB: Bloque Choco-Panamá, OF: Falla la Oca, BF: Falla de Bucaramanga, EC: Cordillera Oriental, CC: Cordillera Central, WC: Cordillera Occidental [Cortés y Angelier, 2005].

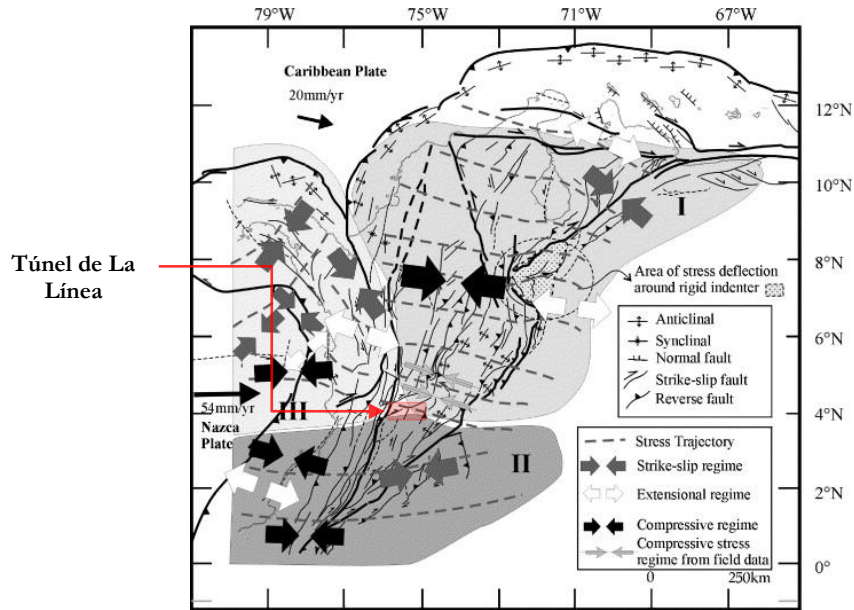


Figura F - 3 Distribución de esfuerzos en las tres grandes regiones definidas según los resultados de la inversión de mecanismos focales. La zona I, WNW-ESE a NW-S, asociada con la interacción entre la placa del Caribe y Suramericana. La zona II, WNW-ESE a E-W, asociado con la interacción entre la placa de Nazca y la Suramericana. La zona III, zona SW-NE de triple interacción entre las placas y el bloque de Panamá; Al NW-SE se puede apreciar el desgarre de la corteza en la falla Uramita y parte norte de la falla de Romeral [Cortés y Angelier, 2005].

Tabla F - 1 Sectorización geológica Cordillera Central. Modificado de DIS-EDL [2014]

Sector	Era/Periodo	Nomenclatura	Descripción	Comportamiento	Abscisa	Cobertura (m)	
						Min.	Máx.
I	Cenozoico/ Cuaternario	Qsr	Cenizas Volcánicas, suelos residuales y saprolitos.	En los primeros 50m, aparecen cenizas volcánicas, suelos residuales y saprolitos, luego se presentan diabasas y esquistos verdes (filitas) y metadiabasas foliadas con mineralizaciones y venas de cuarzo lechoso con clorita. Las diabasas y metadiabasas son ricas en plagioclasas, clorita, epidota y calcita, los esquistos son cuarzo-cloríticos y cuarzo-sericiticos. Tramos de roca con bajo auto soporte, relacionadas con la zona de influencia de la falla La Gata, fueron reconocidos en los K0+060/070, K0+110/130, K0+330/345, K0+490/562, K0+640/810, K0+900/960.	K 0+000 – K 1+160	20	400
	Mesozoico/ Cretácico	Kqv1	Unidad metamórfica del complejo Quebrada Grande Esquistos verdes cuarzo cloríticos.				
II	Cenozoico/ Cuaternario	Qsr	Cenizas Volcánicas, suelos residuales y saprolitos.	Diabasas, basaltos, metadiabasas (filitas) esquistos verdes-grisáceos, chert, metareniscas y lutitas (limolitas, lodolitas) con rellenos y mineralizaciones de cuarzo lechoso, clorita, carbonatos y trazas de pirita. Las grandes masas de volcanita están limitadas por escamas tectónicas de materiales y espesores variados; la presencia de esquistos (grises-negros) replegados; metalutitas, melange, gouge de falla y diques volcánicos, acompañados con espejos y estrías de fricción; se han asociado con fallas que caracterizan terrenos débiles. Las fallas y sus zonas de influencia como la de Alaska (K1+165/180, K1+210/230, K1+395/445) con una longitud de 55 metros, la del viento (K2+000-K2+070) de 70 metros y la vaca, parcialmente excavada (desde el K3+024) en unos 70 metros; caracterizan los materiales más débiles del sector, son franjas de rocas fracturadas y alteradas, con bajos valores de resistencias (UCS) y con comportamientos de deformación plástica.	K 1+160 – K 3+750	400	740
	Mesozoico/ Cretácico	Kqv2	Unidad volcánica sedimentaria de diabasas y metadiabasas verdes y grises, parcialmente foliadas.				
	Mesozoico/ Cretácico	Kqs	Unidad volcánica sedimentaria de metadiabasas (filitas), chert, lutitas, areniscas, de composición cuarzosa.				
	Mesozoico/ Cretácico	Kqm	Esquistos verdes cuarzo sericiticos con intercalaciones de cuarcitas grises.				
	Cenozoico/ -	Tpad	Rocas volcánicas de pórfidos andesíticos, con cristales de plagioclasas, cuarzo y piroxenos con textura afanítica y dureza alta.				
III	Cenozoico/ Cuaternario	Qsr	Cenizas Volcánicas, suelos residuales y saprolitos.	En el sector se agruparon las zonas de influencia y los trazos de las fallas el campanario y la soledad, se considera el área de colisión frontal entre las rocas diabásicas (vulcanitas) y las continentales, gabro esquistosas. El sector incluye franjas de esquistos negros y grises replegados, esquistos grafitosos, diques de vulcanitas (andesitas, diabasas), zonas de melange con fragmentos rocosos subredondeados, los cuales están contenidos en una matriz de harinas (gouge) de falla blanda. Cizallas, repliegues, espejos y estrías de fricción, roca triturada, fueron las principales estructuras reconocidas a lo largo del tramo. El agua aflora en áreas de las intrusiones volcánicas.	K 3+750 - K 4+975	600	840
	Mesozoico/ Cretácico	Kqs	Unidad volcánica sedimentaria de metadiabasas (filitas), chert, lutitas, areniscas, de composición cuarzosa.				
	Cenozoico/ -	Tpad	Rocas volcánicas de pórfidos andesíticos, con cristales de plagioclasas, cuarzo y piroxenos con textura afanítica y dureza alta.				
	Paleozoico/ -	Pzg	Gabros verdes y verdes grisáceos duros con textura gnéica, de composición cuarzo micácea intercalados con algunos esquistos grises duros.				
IV	Paleozoico/ -	Pzg	Gabros verdes y verdes grisáceos duros con textura gnéica, de composición cuarzo micácea intercalados con algunos esquistos grises duros.	Sector de gabros y metagabros con textura nésica, de grano grueso de color gris-verdoso, de dureza alta, cuarzo micáceo con esporádicas intercalaciones de esquistos gris verdosos, cuarzo sericiticos, con bandas de cuarzo, epidota, sulfuros (pirita, calco pirita), minerales micáceos (biotita, Sericita, clorita) y carbonatos. La masa gabroide hacia el contacto con los esquistos grises ha sido afectada por un sistema de fallas denominado Los Chorros.	K 4+975 - K 6+515	305	600
V	Paleozoico/ -	Pzcc	Complejo Cajamarca, de esquistos verdes y cuarzo sericiticos de dureza alta intercalados con esquistos negros cuarzo grafitosos medio duros	En este sector se agruparon las unidades esquistosas, de composición cuarzo sericitica y clorítica intercalados con esquistos negros cuarzo grafitosos y grafitosos, los cuales han sido intruidos por diques de vulcanitas, venas de cuarzo lechoso y fluidos hidrotermales (pirita y calcopirita).	K 6+515 – K 8+185	90	350
VI	Cenozoico/ -	Tpad	Rocas volcánicas de pórfidos andesíticos, con cristales de plagioclasas, cuarzo y piroxenos con textura afanítica y dureza alta.	En el portal de túnel aparecen suelos residuales talus y saprolitos de color gris amarillento. Después de los 20m de profundidad aparecen pórfidos andesíticos grises de grano grueso, con fenocristales de plagioclasas, trazas de pirita y galena.	K 8+185 – K 8+654	20	143

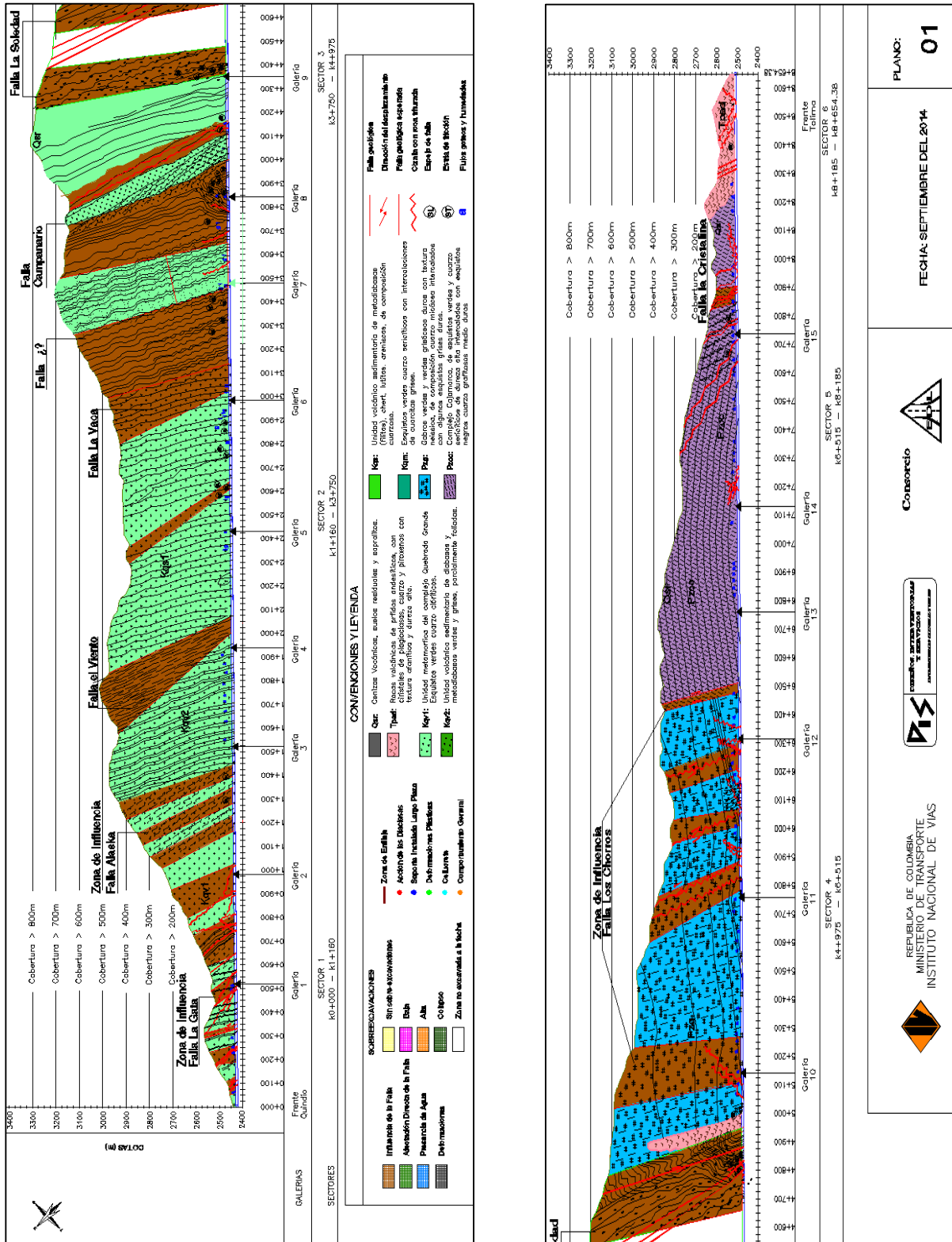


Figura F - 4 Perfil geológico para el Cruce de la Cordillera Central, después de la excavación del Túnel II Centenario [DIS-EDL, 2014]

Bibliografía

- [1] Cortés, M., y J. Angelier (2005), Current states of stress in the northern Andes as indicated by focal mechanisms of earthquakes, *Tectonophysics*, 403(1-4), 29-58.
- [2] DIS-EDL, C. (2014), Perfil geológico del Túnel Principal La Línea - Seguimiento interactivo geológico y geotécnico, DIS-EDL, Calarcá, Quindío.
- [3] Ego, F., M. Sébrier, A. Lavenu, H. Yepes, y A. Egues (1996), Quaternary state of stress in the Northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes, *Tectonophysics*, 259(1-3), 101-116.
- [4] Flórez, A. (2003), *Colombia: evolución de sus relieves y modelados*, Universidad Nacional de Colombia, Red de Estudio de Espacio y Territorio, RET.
- [5] INGEOMINAS (1984), Prospección Geoquímica para Oro, Plata, Antimonio y Mercurio en los municipios de Salento, Quindío y Cajamarca, Tolima. *Rep.*
- [6] Lobo-Guerrero, A.-L.-G. G. L. (1994), La Infraestructura de Colombia, *V CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTÉCNIA - GEOTÉCNIA Y MEDIO AMBIENTE II*.
- [7] Pennington, W. D. (1981), Subduction of the Eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 86(B11), 10753-10770.
- [8] Thouret, J. C. (1982), "Observaciones preliminares sur les piedmonts de la cordillère Centrale des Andes de Colombie: Relations entre le bassin néogène et le quaternaire du Magdalena et la bordure est de la cordillère volcanique", Congr. Montagnes et piedmonts, Toulouse.