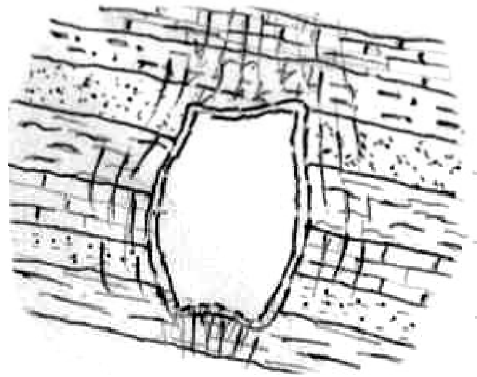


Túnel Manizales *



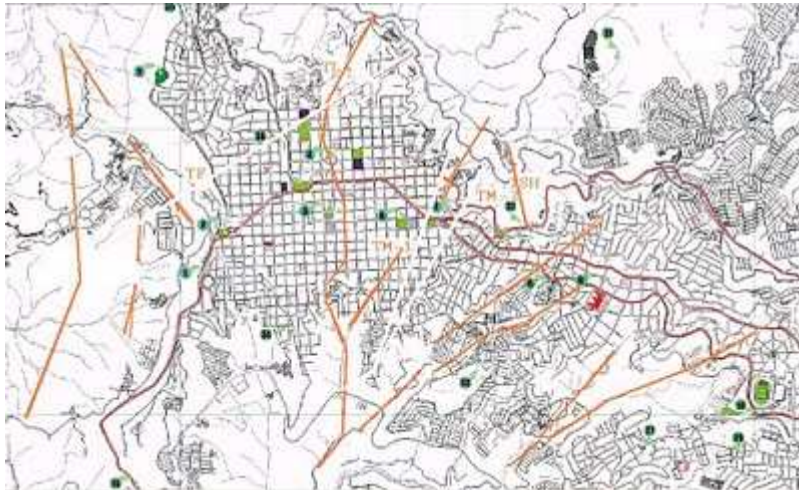
Gonzalo Duque Escobar & Eugenio Duque Escobar **

*INGENIERÍA DE SANEAMIENTO AMBIENTAL- INGESAM

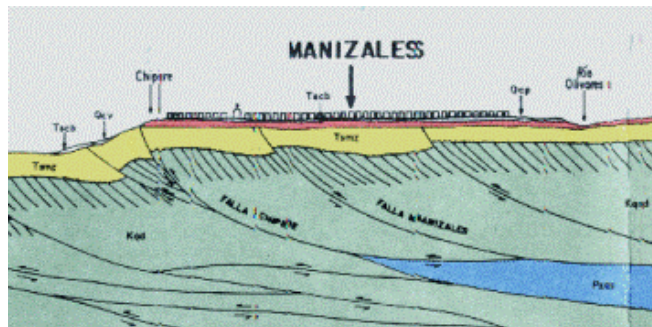
Aguas de Manizales S.A E.S.P

** Profesores Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Objeto específico de la consultoría



- *Estudio de prefactibilidad del Túnel Manizales: una conducción subterránea de 1850 m de longitud, 2,1 m de diámetro y 150 m de techo máximo, localizada en el sector urbano de Manizales, útil para el trasvase de aguas residuales entre la microcuenca de la quebrada Olivares (subcuenca del río Gaucaica) y la subcuenca del Río Chinchiná. El estudio, parte de la consultoría de INGESAM para la Empresa Aguas Manizales, se efectuó en el marco del proyecto de saneamiento básico del río Chinchiná, en el año 2007.*



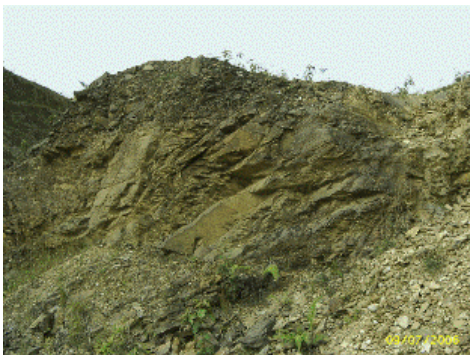
La oferta de la geología urbana



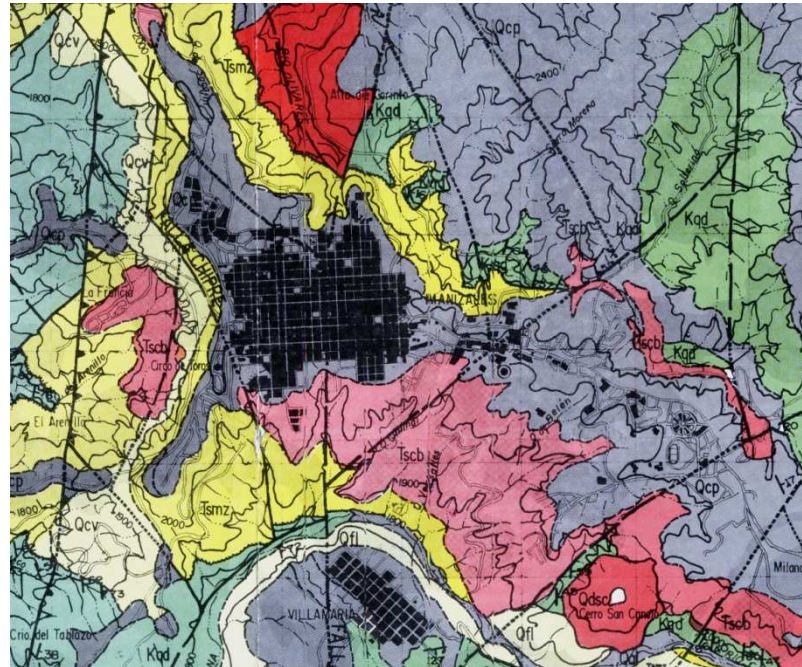
Rosado
(Tscb)



Amarillo
(Tscb)



Verde
(Kqd)



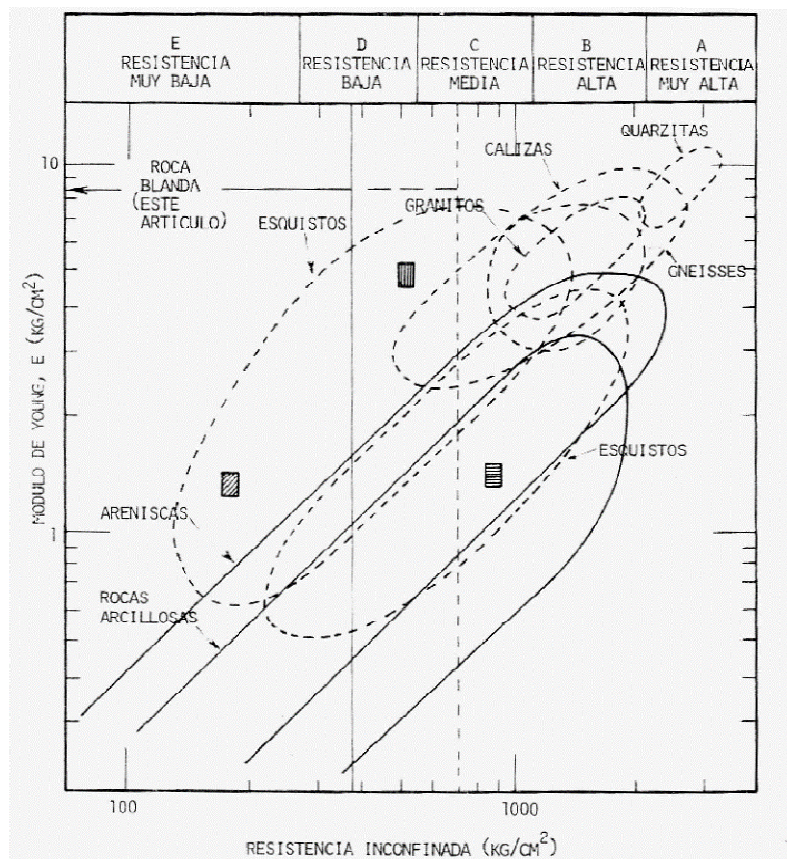
Geología de Manizales: Formación Quebradagrande del Terciario superior en rosado (Tscb), Formación Manizales del Terciario superior en amarillo (Tsmz), Complejo Cretácico Quebradagrande en verde (Kqd).

Todo, bajo Cubierta piroclástica del Cuaternarias en gris (Qcp).

En negro, lineamientos estructurales ciertos (—) e inferidos (...).

Fuente: Naranjo y Ríos. 1989.

Rocas Blandas y Suelos Duros



Clasificación de rocas según Deere. Resistencia inconfinada contra Módulo de Young.
Fuente: Alberto S Nieto. Caracterización Geotécnica de Macizos de Roca Blanda.
SIMR&SCG. I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. Bogotá. 1982

Complejo Quebradagrande.

El Complejo Quebradagrande de edad Cretácica incluye rocas volcánicas y sedimentitas, éstas últimas consistentes en areniscas líticas, brechas sedimentarias, conglomerados polimícticos con clastos volcánicos, además cuarzo lechoso, fragmentos de anfibolitas, chert, lutitas, lentes de calizas y grauvacas. Todo el paquete con buzamiento alto salvo excepciones locales.

Formación Manizales.

Formación depositada en el intervalo temporal de 4 a 8 millones de años, que suprayace el basamento. Está constituida por un conjunto de rocas sedimentarias vulcanogénicas con clastos del complejo volcánico Ruiz-Tolima.

Formación Casabianca.

Esta unidad al igual que la anterior y los depósitos piroclásticos, que le sirven de piso y techo, constituyen el supraterreno de Manizales. Especialmente, reposa sobre la Formación Manizales y el Complejo Quebradagrande.

Quebradagrande y Casabianca vistos por Aquaterra

Complejo Quebradagrande. Observaciones en según Aquaterra.

Ensayo	Promedio	Mínimo	Máximo
Humedad natural -%	34,13	10,7	176,6
Límite Líquido -%	39,68	17,6	178,1
Límite Plástico -%	27,02	13,9	67,8
Índice Plástico -%	12,65	3,1	110,3
Compresión Inconfinada - t/m ²	9,94	5,54	18,28
Peso Unitario Húmedo - t/m ³	1,738	1,06	2,15
Cohesión t/m ²	0,298	0,03	0,49
Ángulo de Fricción -grados	31,92	28,16	35,67



Fuente: Estudio Geológico, Geotécnico e Hidráulico de del Barrio , Manizales. Aquaterra Ingenieros Consultores SA. Manizales 2004.

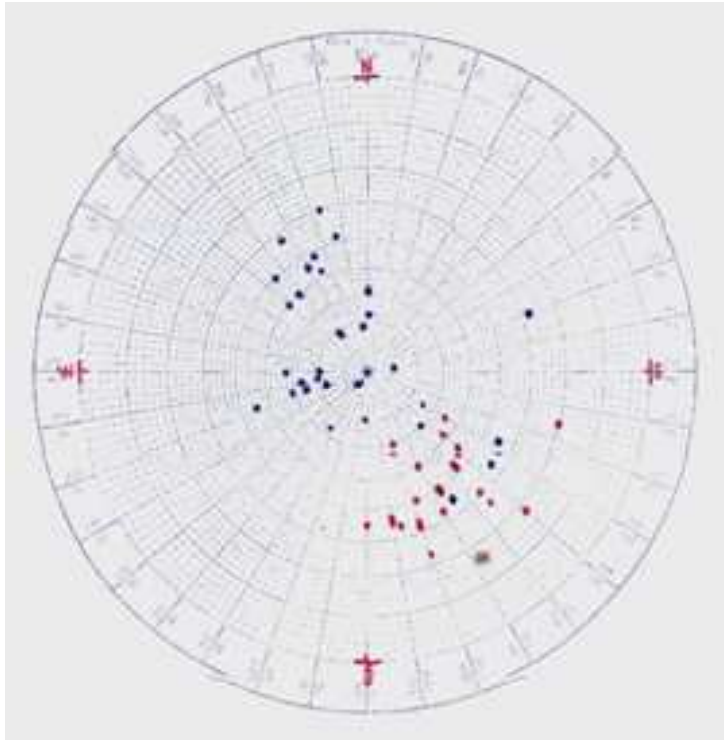
Formación Casabianca. Observaciones en Fundadores según Aquaterra.

Ensayo	Promedio	Mínimo	Máximo
Humedad natural -%	88,3	51,9	128,9
Límite Líquido -%	86	65,2	135,4
Límite Plástico -%	40,9	37,2	45
Índice Plástico -%	45	19	90,4
Índice de Liquidez -%	0,9	0,8	0,9
Peso Unitario Húmedo - t/m ³	1,715	1,609	1,821
Peso Unitario Seco -t/m ³	1,036	0,874	1,198
Compresión Inconfinada - t/m ²	21,22	13,86	28,57
Penetración Estándar - Golpes /pie	17	15	19



Fuente: Estudio de Suelos para del Teatro Fundadores. Aquaterra Ingenieros Consultores SA. Manizales 2003.

Pocos datos de los macizos a la profundidad del túnel

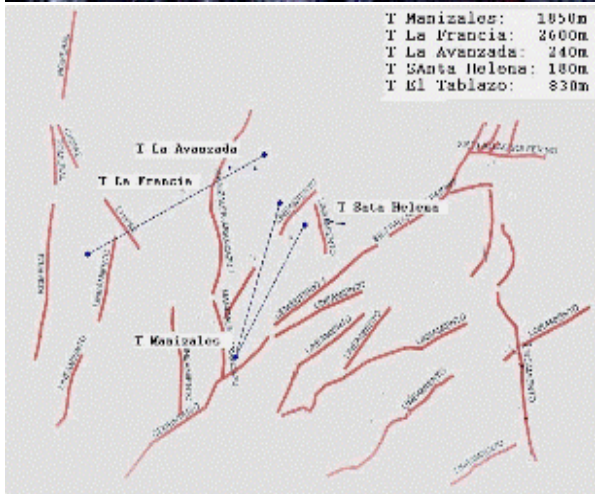
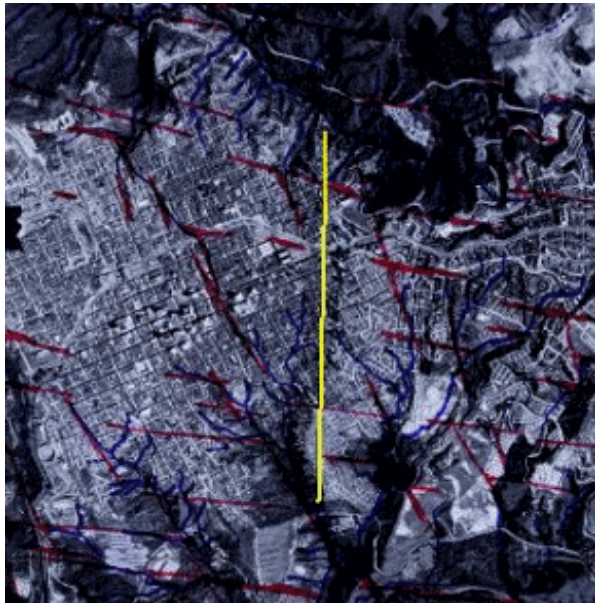


Diagramas estereográficos del Complejo Quebradagrande en el macizo rocoso de La Sultana; en rojo, planos de estratificación y en azul, planos de fracturamiento.

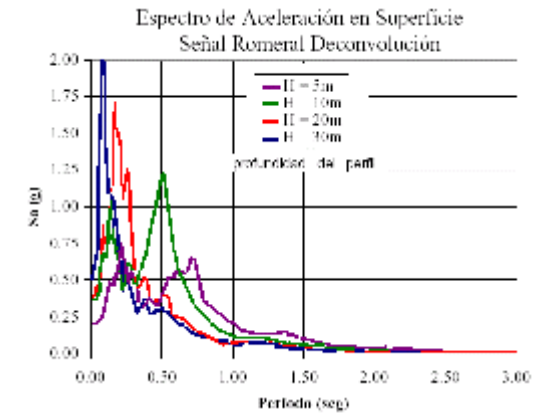
Perforación Número	Lugar	Latitud °	Longitud °	Profundidad (m)
3	Infi Manizales Paque de Caldas	5,08	-75,51	40
4	El Cable – Facultad de Arquitectura	+ 5.06	-75,49	40
5	Confamiliares	5,07	-75,5	34
6	Atanacio Girardot – Fátima	5,06	-75,5	36
7	Barrio Bosques del Norte	5,09	-75,49	32
10	Coldeportes	5,07	-75,5	40
11	Santa Inés	5,05	-75,48	50
13	Catedral de Manizales	5,07	-75,52	43
19	La Estampilla	–	–	33
22	Samaria	5,09	-75,49	33
24	Infi Manizales N° 2	5,09	-75,42	40

Listado de 11 perforaciones profundas con más de 30 m utilizadas por CIMOC. En la Diapositiva 2 se muestra su ubicación. La profundidad del túnel Manizales, llega a los 150 m.

La amenaza sísmica



Espesor del suelo m	F. Casa blanca	C. Quebr grande	F. Maniz
0-10	0,005	0,002	0,001
10-20	0,2	0,08	0,04
20-30	7,5	2,5	0,3
30-40	100	50	15



Grado de vulnerabilidad relativa a la amenaza sísmica: Arbitrariamente se le ha asignado una intensidad o nivel de daños igual a 100 al escenario más desfavorable: Emplazamiento en la F. Casabianca.

Soportes: Espectros de Aceleración en Superficie en: Microzonificación de Manizales (CIMOC. 2002) y Niveles de daños en túneles asociados a movimientos del suelo, en Vulnerability of Water Supply Systems to Landslides (PAHO, 1997)

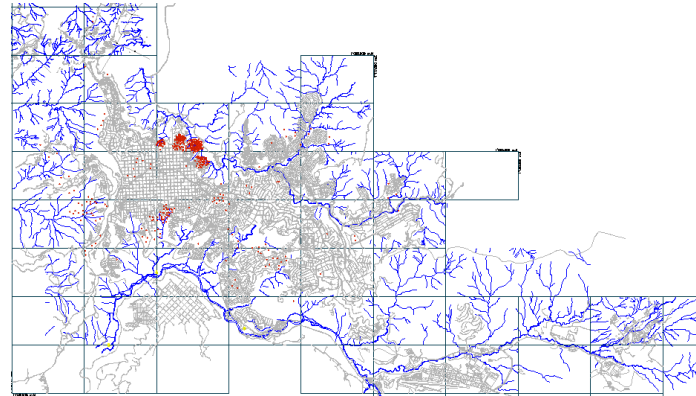
Estabilidad de laderas *

$$(S = P \times G \times H \times F \times A \times R)$$

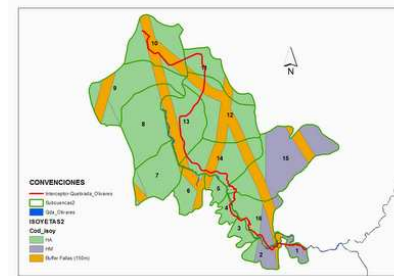
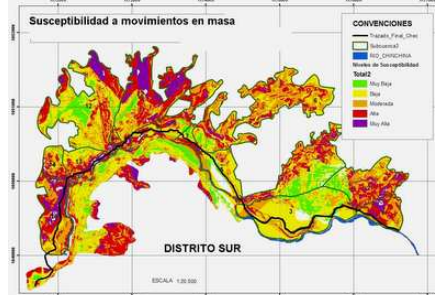
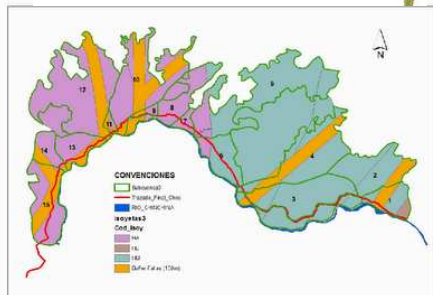
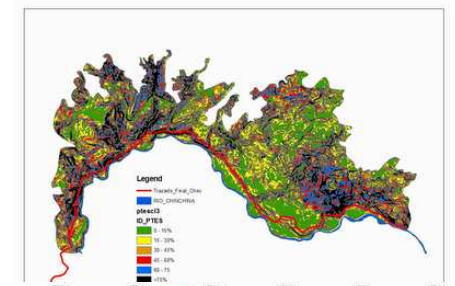
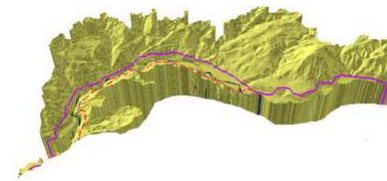
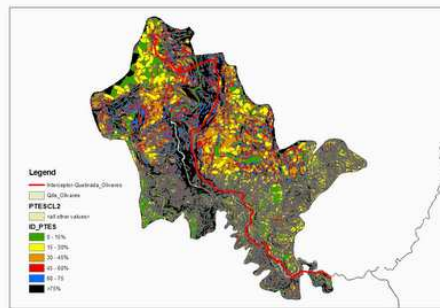
Ladera Norte



Ladera Sur



Eventos registrados de 1960 a 1998



Ver Geomecánica de las laderas de Manizales, en: <http://www.galeon.com/godues/godues.htm>

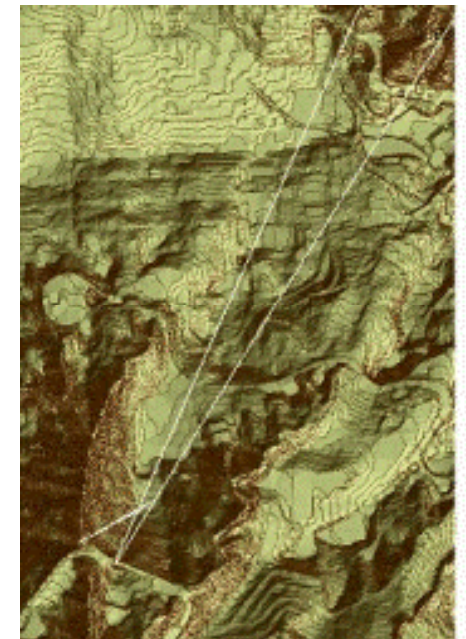
Levantando portales

Diámetro (cm)	Nº de bloques	Longitud (m)
10-20	11	2,67
20-30	11	2,54
30-40	8	2,85
40-50	7	2,86
50-60	5	2,86
>1m	4	2,16
Otros	15	7,78
Total	56	23.72

Frecuencia de bloques para una columna de una ladera del Portal Norte (Barrio Estrada)



N



Diámetro (cm)	Nº de bloques	Longitud (m)
10-20	8	1,38
20-30	12	3,09
30-40	14	4,69
40-50	8	3,40
>1m	4	4,19
Otros	7	4,69
Total	55	21,44

Frecuencia de bloques para una columna de un talud en el Portal Sur (Barrio Panamericana)



S



Nota:
La Formación Casabianca, será de interés específico para los portales y no interfiere el túnel,

Los macizos rocosos

$$Q = (RQD/J_n)(J_r/J_a)(J_w/SRF)$$

- RQD es el parámetro o Índice de calidad de la roca (Deere) valorado de 0 en las muy malas, hasta 100 en las rocas sanas y excelentes.
- J_n es el parámetro que califica el número de familias de discontinuidades, valorado entre 0,5 si casi faltan, hasta 20 para multitud de ellas.
- J_r es el parámetro que califica la rugosidad en las fisuras y varía de 4 si es óptima la rugosidad o discontinua la fisura, hasta 0,5 si es un reliz de falla.
- J_a es el parámetro que variando de 0 a 12, califica el relleno de las discontinuidades. Éste vale 1 en paredes inalteradas, y 4 en paredes rellenas.
- J_w es el parámetro que mide la presión de poros y varía desde 0 cuando las fisuras están con flujo continuo a presión, hasta 1 si están casi secas.
- SRF que es el Factor de reducción de esfuerzos. Se valora entre 0 y 20. Vale 20 en rocas muy expansivas y activas. Vale 10 si hay múltiples zonas de debilidad. Vale 1 si la roca es bien competente y el esfuerzo mediano; de ser alto valdría 5 y de ser bajo 2,5.

Parámetro Q de Barton								
Roca de	RQD	J_n	J_r	J_a	J_w	SRF	Q	Clas. Barton
F Mz	60	12	3	2	0.8	7	0,83	Muy mala
F Cb	6	20	1.3	6	0.4	12	0	Excepcionalmente mala
C Qg	30	15	0,5	4	0.2	5	0,01	Extremadamente mala

El Parámetro Q de Barton depende de 3 factores así: el Tamaño de los bloques (RQD/J_n), la Resistencia al esfuerzo cortante entre bloques (J_r/J_a) y los Esfuerzos activos al interior del macizo (J_w/SRF)

Clasificación del CSIR

Para el tiempo de autoaporte se utilizará la Clasificación de Bieniawski, o clasificación CSIR para macizos rocosos fisurados, basado en 5 parámetros como son:

- *La resistencia de la roca inalterada según Deere y Miller*
- *El Índice de calidad de roca RQD según Deere.*
- *El espaciamiento de las discontinuidades fisuras*
- *El estado de las fisuras (rugosidad, relleno, persistencia)*
- *El estado del agua subterránea (presión, caudal).*

Valoración de parámetros para la clasificación Geomecánica (CSIR)			
Parámetros	F. Manizales	F. Casa	C. Quebra
		blanca	dagrande
A- Resistencia Inalterada	3	1	2
B- RQD (Deere)	11	1	6
C- Espaciamiento fisuras	25	10	2
D- Estado de las fisuras	20	6	4
E- Agua subterránea	6	2	4
Ajuste	-5	-10	-1
Total	60	10	22

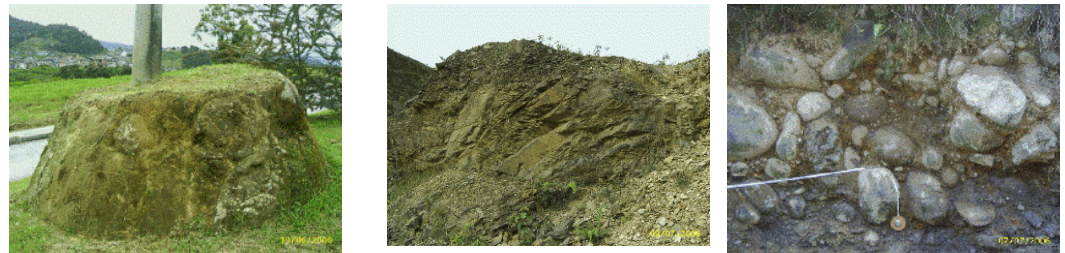
Clasificación del CSIR					
Valoración	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
Calificación	I	II	III	IV	V
Descripción Roca	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy Mala
Cohesión kg/cm ² y Fricción	C>300 Φ>45°	200-300 40°-45	150-200 35-40	100-150 30-35	C< 100 Φ<30°
Tiempo medio de sostén para un claro	10 años para 5m	6 meses para	Una semana para	5 horas para	10 minutos para

Calificación del estado de la roca en el macizo, según el valor Q del Índice de Calidad de Túneles (NGI)

Si asociamos el destino o utilidad que habrá de tener un túnel, a un parámetro numérico, surge la Relación de Soporte de Excavación ESR: este nuevo parámetro, análogo al inverso del factor de seguridad del túnel, varía entre 5 para los de poca relevancia o de categoría A, y 0.8 si aquella excavación es tipo E o de carácter vital.

Nuestros túneles para Barton son Tipo B y su ESR es 1,6

Además, para estos autores, Barton et al, la calidad de las rocas se califica con el parámetro Q, quedando todas ellas en la categoría de rocas malas de la primera parte, así:



Q	0.001-0.01	0.01-0.1	0.1-1	1—4
Calidad	Exce/te mala	Extr/te mala	Muy mala	Mala
	F.Cb=0,002	C.Qg=0,011	F.Mz=0,825	
Q	4--10	40--10	40-100	100-400
Calidad	Regular	Buena	Muy Buena	Extr/te Buena
	F.Cb=0,002	C.Qg=0,011	F.Mz=0,825	

Clasificación Resumen

Clasificación de de los macizos rocosos de tres de las unidades geológicas de de Manizales

	RQD estimado	Q de Barton	de	Valoración Bieniawski Categoría	de -	Denominación
F. Manizales	60%	0,825		(60) – III (frontera con II)		De regular a buena
F. Casabianca	6%	0,002		(10) – V		Muy mala
C. Quebradagrande	30%	0,011		(22)– IV (de rango inferior)		Mala cercana a muy mala



La estabilidad

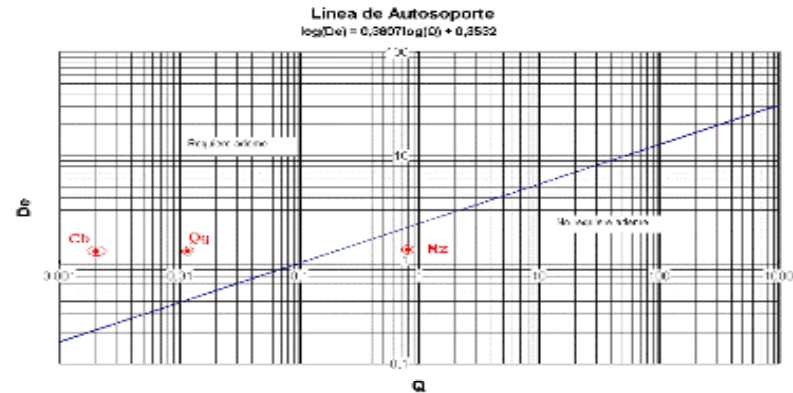
- Para evaluar el requerimiento del ademe, se obtiene el Diámetro Equivalente D_e dividiendo el diámetro ϕ de la excavación expresado en metros, por la Relación de Soporte de Excavación ESR. Esto es:

- $D_e = \phi / ESR$

- Si ésta es de $\phi = 2,20\text{m}$, entonces el diámetro equivalente D_e vale 1,375.

- Para $D_e = 1,325$ y los valores de Q de la Tabla 2.2, se estima el requerimiento o no de ademe, con el ábaco de la Figura 2.10, o con la ecuación:

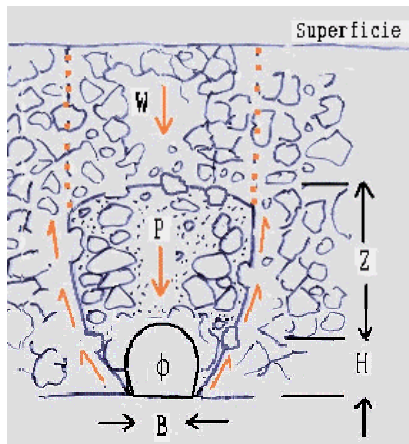
- $\log D_e = 0,3807 \log Q + 0,3532$



Ábaco de Hoek and Brown, donde se entra con los parámetros Q y D_e para conocer la condición del túnel: se encuentra que dos de los macizos quedan por el lado problemático de la Línea de Autosoporte, requiriendo de él. Únicamente se salva la F. Manizales.

Unidad	Q	D_e demandado	$\log D_e = 0,3807 \log Q + 0,3532$	Valor del D_e	Diagnóstico para saber si requiere o no ademe
F Mz	0,825	1,325	0,32139	2,1	2,1 > 1,325 No requiere
F Cb	0,002	1,325	-0,67430	0,21	0,21 < 1,325 Si requiere
C Qg	0,011	1,325	-0,39244	0,41	0,41 < 1,325 Si requiere

La Carga de Roca Z



- La Carga de Roca por regla general, se estima hasta donde la galería afecta al macizo rocoso en lo alto del techo, y esto depende de la calidad de la roca y de la geometría de la excavación.

Valores de Z, estimadas según Terzaghi para H igual a B, en los siguientes valores según el macizo:

Para la Formación Manizales, que es el de características superiores entre las rocas que nos ocupan, dado que el estado de la roca es 5 según Terzaghi:

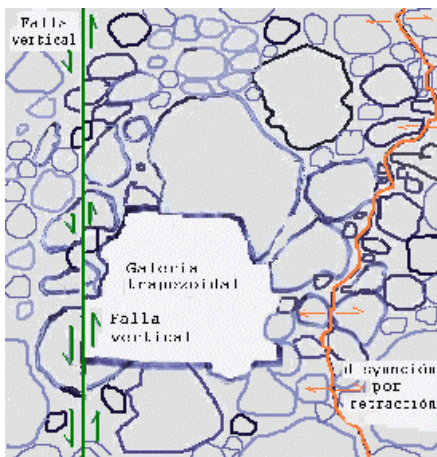
- $Z = 0,5(B+H)$, entonces $Z = 1$ vez la altura de la galería.

Para la Formación Casabianca, que es de características más malas entre las de los macizos estudiados, dado que el estado de la roca está entre 7 y 8 según Terzaghi:

- $Z = 2,2(B+H)$, entonces $Z = 4,4$ veces la altura de la galería.

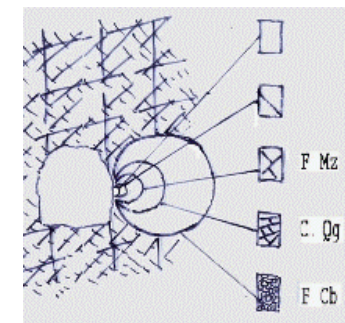
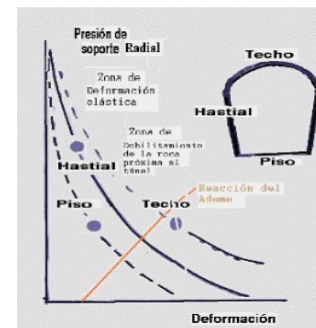
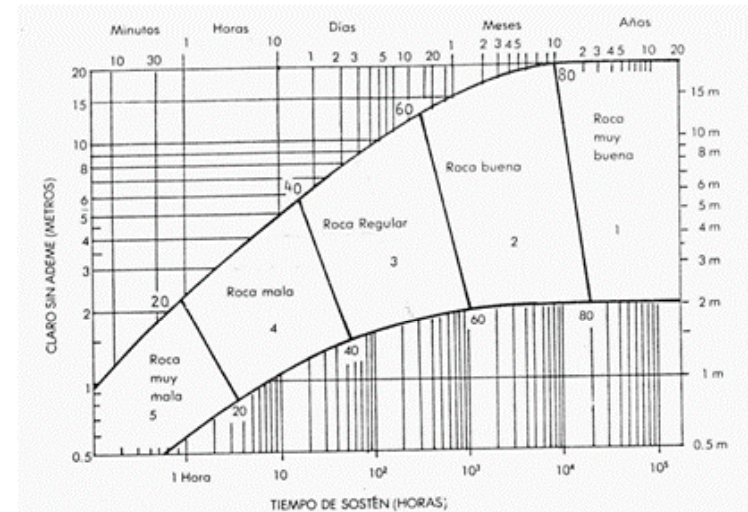
Para el Complejo Quebradagrande, que es de características intermedias entre las rocas que se han considerado aquí, dado que el estado de la roca es 6 según Terzaghi:

- $Z = 1,1(B+H)$, entonces $Z = 2,2$ veces la altura de la galería.



Sobre tiempo de sostén y cálculo de ademes

- Tiempo de sostén y claros sin ademe, para las diferentes calidades de roca en el sistema del CSIR según Bieniawski. Fuente: E. Hoek & E.T. Brown. Excavaciones subterráneas en roca. Mc Graw Hill. USA 1980.
- No se hace este cálculo del sistema de apuntalamiento o entibado, puesto que no se dispone de la información geotécnica suficiente la cual demanda perforaciones exploratorias para obtener la resistencia inconfiada, el módulo de elasticidad de Young, la relación de Poisson y el peso unitario.



Una idea sobre costos directos

COSTO ESTIMADO DEL TÚNEL EN PESOS DEL AÑO 2006			
	Costo básico, estimado en pesos del 2006.	Costo con ademado y sin obras adicionales	Costo con ademado y con obras complementarias
T. Manizales:	\$7400 millones (\$5550 millones)	\$8600 millones (\$6450 millones)	\$16130 millones (\$13980 millones)

Nota: Estimación de costos directos en dos escenarios: Alto y (Bajo). Los costos no incluidos: imprevistos, diseño e interventoría, pueden estimarse en el 20% de los mayores valores señalados.

Es evidente que el tiempo estimado para el Túnel Manizales demanda métodos más eficaces para que pasen de 2 metros por día, a 5 metros por día. Así el tiempo de construcción se reducirá notablemente. También se sugiere en todos los casos, adelantar la obra para este proyecto en sección circular, con ademado en arco metálico y recubrimiento continuo en concreto lanzado, según lo estimado en el cálculo definitivo, que puede ser cercano a lo descrito en el cálculo del ademado, para ilustración y estimación gruesa de los costos directos.

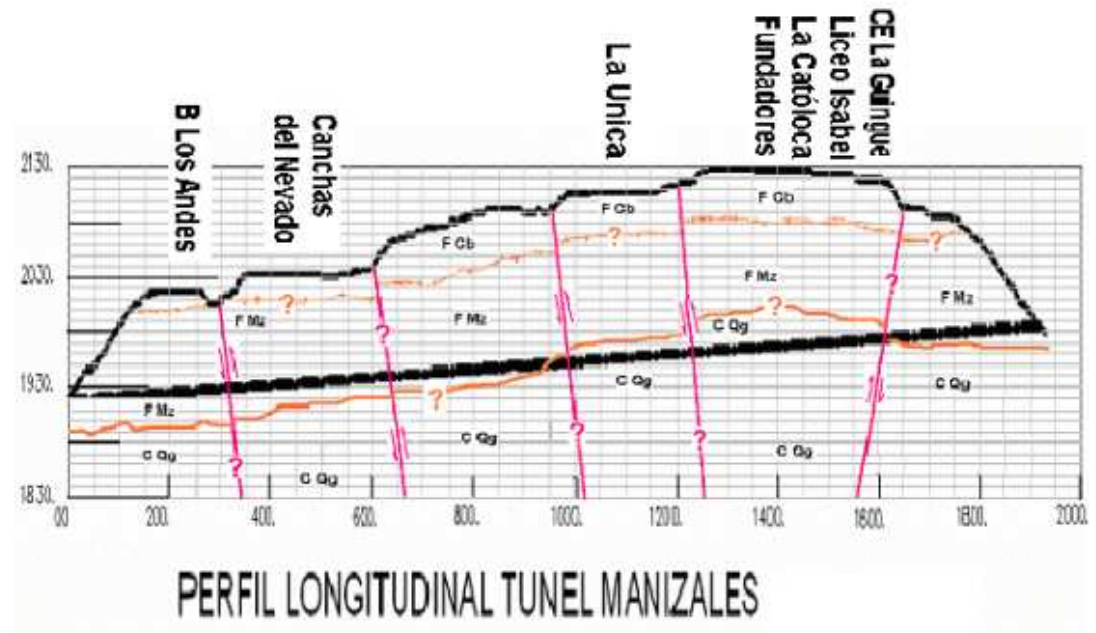


Túnel Manizales

Túnel Manizales: 1850m de longitud y 150 m de techo máximo, con diámetro entre 2,1 m. Dependiendo del método constructivo, el diámetro de 3 m, aunque exija mayor soporte, puede ofrecer importantes economías.

Aunque la alternativa que aparentemente no cruza fallas surge uniendo los portales Sierramorena y Panamericana, se optará por el trazo desde el Barrio Estrada desplazando ligeramente el alineamiento para que cruce en medio de dos trazos de fallas cartografiadas.

Además, el acceso para la construcción del portal de entrada, está frente al Barrio Estrada. Se agrega que el túnel tendrá un desvío cerca del portal de salida, hacia la quebrada Marmato, como una previsión del diseño geométrico para el manejo ambiental del sector.



CARACTERÍSTICAS DEL TUNEL Y TIEMPOS DE EXCAVACIÓN

Túneles	Longitud	Participación del macizo	Portales de entrada y salida	Tiempo de Excavación y número de frentes
T. Manizales :		F. Manizales 70% y posiblemente el C Quebradagrande 30%.	Sierramorena y La Panamericana	Con dos frentes: 31 meses (12,3 meses). Se sugiere excavar por ambos frentes.

Actividades de Prospección y recomendaciones

- Se hace necesario obtener, mediante perforaciones profundas, los parámetros geomecánicos de las rocas. Esta información es fundamental para el diseño de ademes y estructuras de soporte.
- La incertidumbre litológica sobre la continuidad de la Formación Manizales, tiene relevancia por las circunstancias estructurales del orden tectónico, únicamente. En un escenario en el cual aparezca uno o dos bloques levantados entre Fundadores y Cervantes, el correspondiente fallamiento cortaría transversalmente el alineamiento del túnel. La geoeléctrica no procede con ventajas para el caso, pues el mayor contraste que advierte, el del NAF, poca información entrega sobre cambios estructurales. La sísmica de refracción informaría sólo del contacto entre la F. Casabianca y otra más densa abajo, que requeriría calibración previa para saber si la que subyace es la F. Manizales o el C Quebradagrande. Los rellenos y la ceniza generan ruido en la información geofísica, pero salvable. La gravimetría de detalle soportada en la base topográfica existente y una altimetría de precisión, complementarían el anterior método. El túnel se excavará en dos de las tres unidades litológicas: no irá por La Formación Casabianca.
- Puede considerarse la conveniencia de perforaciones subhorizontales opcionales para drenar el macizo rocoso por abajo del túnel, buscando mejorar las condiciones menos favorables en el extremo sur, las que podrían disponerse transversalmente desde la Quebrada Marmato. Estas perforaciones igualmente aportarían valiosa información adicional y permitirían una decisión más precisa en caso de contemplarse la alternativa desde Sierramorena. La permeabilidad primaria de esta formación, es deficiente por el grado de consolidación y la mediana cementación de su matriz.
- El accidentado perfil longitudinal, los usos del suelo y la cobertura edificada, dificultan y condicionan las actividades de prospección geoeléctrica y de sísmica de refracción. Contrariamente la situación, distribución y estado de las vías facilita el acceso al lugar, aunque el corredor de estudio corta los principales flujos de transporte urbano.

Agradecimientos

Este trabajo se hizo con el concurso de varias Instituciones y personas tanto para las labores de campo como para las de oficina.

En primera instancia a Aguas de Manizales y a INGESAM.

También al Doctor Manuel García López, , por su orientación para esta tarea.

A los ingenieros Gustavo Navia, Jairo Suárez, Luis Ernesto Sanz, y Gerardo Andrés España, por su colaboración.



Información de contexto:

<http://www.galeon.com/tuneles/>

<http://www.galeon.com/conducciones/>

REFERENCIAS

- Aguas de Manizales. Base topográfica digitalizada y Lineamientos estructurales en el área de Manizales, e Imágenes digitales de la Ciudad. 2006
- Aquaterra Ingenieros Consultores SA (2003). Estudio de Suelos para la Rehabilitación Estructural del Teatro Fundadores. Manizales.
- Aquaterra Ingenieros Consultores SA (2004). Estudio Geológico, Geotécnico e Hidráulico de la Ladera Sur del Barrio La Sultana, Manizales. Manizales.
- Belousov V., V. (1979). Geología estructural. 2 ed. Moscú.
- CIMOC -Alcaldía de Manizales (2002). Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales.
- Correa Arroyave, Álvaro (1992). Mecánica de rocas: teoría de elasticidad y elementos finitos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Cruz Prada, Francisco José (2004). Relaciones Lluvias - Deslizamientos en la Ciudad de Manizales- Revista SCIA 48 años. Manizales.
- Chicangana, Germán; Barrientos; Arturo, Vargas-Jiménez, Carlos A. (2002). Determinación de esfuerzos a partir de los análisis de microtectónica en algunos sectores de los sistemas de fallas que cruzan el Eje Cafetero, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Duque Escobar, Gonzalo (2006). Fundamentos de CTS y Economía. Universidad Nacional de Colombia. Manizales.
www.galeon.com/gonzaloduquee
- Duque Escobar, Gonzalo (1998). Manual de geología para ingenieros. Universidad Nacional de Colombia. Manizales
www.galeon.com/manualgeo
- Duque Escobar, Gonzalo; Escobar Potes, Carlos Enrique (2002). Mecánica de los suelos. Universidad Nacional de Colombia. Manizales.
www.galeon.com/geomecanica
- E. Hoek & E.T. Brown (1980). Excavaciones subterráneas en roca. Mc Graw Hill. USA.
- Fujimura, Fernando (1982). Excavaciones Subterráneas: Reservatorio Subterráneo De Agua Tratada, Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. Bogotá.
- García, Manuel; Beltrán, Lisandro; González, Álvaro J. (1993). Curso de estabilidad de taludes. Posgrado en geotecnia. Universidad Nacional de Colombia. Manizales.
- Herd, Darrell. Glacial and Volcanic Geology of the Ruiz-Tolima Volcanic Complex, Cordillera Central-Colombia. Washington, 1974.
- Hermelín, Michel; Velásquez, Andrés. Prediagnóstico de aspectos geológicos. Inédito. Plan Integral de Desarrollo Urbano de Manizales. Medellín 1985.
- IGAC (1987). Aerofotografías del área de Manizales. Línea de vuelo C-2275 fotos N° 66 y 67. Línea de vuelo C-2277 fotos N° 40, 41, y 42.
- Naranjo, José Luis (2005). Modelo de evolución morfotectónica del Sistema de Fallas de Romeral a nivel regional. Universidad de Caldas. Manizales.
- Naranjo, José Luis y Ríos, Pedro Antonio (1989). Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos. Universidad de Caldas, Manizales.
- Nieto, Alberto S. (1982). Caracterización Geotécnica de Macizos de Roca Blanda. SIMR&SCG. I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. Bogotá.
- OPS- PAHO (1997). Vulnerability of Water Supply Systems to Landslides. Mitigación de Desastres en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. www.disaster-info.net/watermitigation/e/publicaciones/EstudioVEN/INDEX.HTML ,
- Ramsay, John G. (1977). Plegamientos y fracturamiento de rocas. Editorial H. Blume. España.
- Toussaint, Jean Francois (1994). La neotectónica regional del territorio colombiano y su relación con algunas amenazas geológicas. III conferencia colombiana de geología ambiental. Armenia.
- Volfson & Yakoclen (1982) Estructura de los campos y yacimientos metalíferos. Ed Mir. Moscú.