

CONVÊNIO CESP - OLADE

# ASSISTÊNCIA TÉCNICA REFERENTE AOS TÚNEIS DO PROJETO ASTÚRIAS, NICARÁGUA - RELATÓRIO FINAL

1985

*ALDÉRICO JOSÉ MARCHI*  
*Engenheiro de Minas, EP/USP, 1979*

*JOÃO JERONIMO MONTICELLI*  
*Géologo, IGc/USP, 1971, Mestre em Geotecnia, EESC/USP, 1984*  
*Contato: abge@abge.org.br*

## 1. INTRODUÇÃO

O artigo apresenta, na íntegra, e no formato original, o relatório inédito de assistência técnica de dois jovens profissionais da geotecnia brasileira ao Projeto Astúrias, Nicarágua, trabalho realizado no ano de 1985. Os autores, amigos de longa data, trabalharam no IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, depois na CESP- Companhia Energética de São Paulo e, por último, no Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí.

No Projeto Astúrias, um conjunto hidroelétrico de barragens e dois túneis de desvio, financiados por recursos do BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento, foram constados problemas e dificuldades técnicas e gerencias. A OLADE - Organização Latino-Americana de Desenvolvimento, interveniente no financiamento do projeto, solicitou assistência técnica da CESP - Companhia Energética de São Paulo no que se refere aos túneis e assuntos administrativos contratuais. O presente artigo diz respeito aos túneis.

A Nicarágua tinha passado por uma luta militar intensa, que culminou com a queda da ditadura, em 1979. Em 1985, por ocasião da viagem objeto desse relato, conflitos armados ainda aconteciam em muitas partes do país.

O interesse dos autores em submeter o presente artigo à RBGEA - Seção "Contribuições e Reflexões" -- se prende tanto ao momento técnico e histórico da época, como ao atual quadro político, com a deterioração das relações diplomáticas entre Brasil e Nicarágua, culminando com o rompimento das relações diplomáticas entre os dois países, em 2024.

Dentro desse contexto foi também escrito, no Posfácio, experiências pessoais vivenciadas pelos autores em seus trabalhos na Nicarágua. As fotos do Relatório e do Posfácio são de autoria de Aldérico José Marchi.

## 2. RELATÓRIO EM SUA ÍNTEGRA - TEXTO ORIGINAL DE 1985



**Companhia  
Energética de  
São Paulo**

---

CONVÊNIO CESP - OLADE  
PROYECTO ASTÚRIAS - NICARÁGUA - CENTROAMERICA

ASSISTENCIA TECNICA REFERENTE A LOS TÚNELES  
REPORTE FINAL

1985

---

Ing. Aldérico José Marchi  
Geól. João Jerônimo Monticeli

CONVÊNIO CESP-OLADE  
PROYECTO ASTÚRIAS - NICARAGUA -  
CENTROAMERICA

ASSISTENCIA TECNICA REFERENTE A  
LOS TÚNELES

Reporte Final

Ing. ALDÉRICO José Marchi  
Geól. João JERÔNIMO Monticeli

São Paulo

• 1985

R - Vice-Presidência Divisional de Estudos e Desenvolvimento Energéticos  
RP - Departamento de Projetos Especiais

M.O. 9.311.546

Av. Paulista, 1776 - 17º andar - São Paulo - S.P.

Tel. 284.0111 - R. 429

ADDR - Depósito Legal

Este reporte contiene:

1. Carta de los técnicos de la CESP enviando las principales conclusiones de los trabajos efectuados.
2. Clasificación del macizo rocoso para abertura de los túneles, con las recomendaciones de los soportes y tratamientos mas adecuados, de acuerdo con los typos del macizo.
3. Anexo 1 : Informaciones técnicas sobre el "Nuevo Método Austriaco de Abertura de Túneles", coñocido como NATM.  
Anexo 2 : Observaciones y recomendaciones sobre las excavaciones y voladuras, de manera de evitar sobre excavaciones y daños en el macizo rocoso.  
Anexo 3 : Observaciones y recomendaciones sobre las investigaciones geológicas-geotécnicas de los túneles 1 y 2  
Anexo 4 : Observaciones y recomendaciones sobre las construcciones de los túneles 1 y 2  
Anexo 5 : Documentación fotográfica

São Paulo, 5 de noviembre de 1985

Ing. Marcio Nuñez  
DD Secretario Ejecutivo de la  
OLADE - Organización Latinoamericana de Energia

Distinguido Señor,

1. A través del télex No.135 del 16 de agosto de 1985, enviado por el Señor Ministro Director Emilio Rappaccioli al Doctor Marcio Nuñez; Secretario Ejecutivo de OLADE, fue solicitada una Asistencia Técnica de la CESP - Compañía Energética de São Paulo, para el Proyecto Asturias, en lo que se refiere a los túneles y a la administración del Proyecto.

2. Referente a los túneles fueron solicitados los siguientes trabajos:

- Interpretación de la geología de la zona donde se construirá el túnel. Se dispone de 8 perforaciones profundas a lo largo del eje y de un estudio geofísico de refracción sísmica.
- Preparación del informe que recomiende métodos de construcción adecuados para el tipo de obra y condiciones geológicas del área.
- Asesorar al personal nacional que supervisa la obra en tareas de inspección y control.

3. Para atender a esta solicitud, la Directoria de la CESP aprobó un viaje a Nicaragua, por 15 días, de el ingeniero Aldérico José Marchi y del geólogo João Jerônimo Monticeli. Los costos de este viaje estan siendo cubiertos por OLADE e INE.

4. Los técnicos de la CESP antes referidos fueron recibidos por los ingenieros Manuel Chávez y Jaime Parra, Gerente y Asistente de la Gerencia del Proyecto Asturias, respectivamente. Fueron efectuadas varias reuniones de trabajo y consultados documentos técnicos del Proyecto. En los días 9 y 15 de octubre fueron realizadas visitas técnicas a las obras de Asturias, ocasión en que hubo oportunidad de reuniones técnicas con los ingenieros de INE presentes en la obra, ingenieros Alejandro Morales, Ivan Ortega y Roy Mejía.

Las visitas a la obra contaron con la participación y colaboración del geólogo Noel Rodríguez Vilatta de GEOTECNIC, que muy gentilmente prestó varias informaciones al equipo de la CESP.

5. Conforme recomendaciones del ing. Manuel Chávez, la Consultoría de la CESP debería ser conducida, en lo que se refiere a los túneles, a informaciones prácticas de detalles. Procediendo de esta forma las informaciones básicas, sobre la Consultoría efectuada fue transmitida verbalmente en reuniones así también como en el campo y a través de reportes preliminares. El INE recibió textos en portugues (reportes preliminares) que abarcan los siguientes aspectos:

- Informaciones técnicas sobre el "Nuevo Método Austriaco de Abertura de Túneles", conocido como NATM.
- Observaciones y recomendaciones sobre las excavaciones y voladuras, de manera de evitar sobre excavaciones y daños en el macizo rocoso.
- Observaciones y recomendaciones sobre las investigaciones geológicas geotécnicas de los túneles 1 y 2.
- Observaciones y recomendaciones sobre las construcciones de los túneles 1 y 2.
- Clasificación del macizo rocoso para abertura de los túneles, con las reco-

recomendaciones de los soportes y tratamientos mas adecuados, de acuerdo con los tipos del macizo (texto en español).

6. Fueron también entregados al INE, nueve (9) publicaciones técnicas (en portugues) referente al estudio, diseño y construcción de túneles. Estas publicaciones son muy importantes, pues fue verificado que no existe disponibilidad de bibliografía para estudios.

7. Las observaciones básicas efectuadas por los técnicos de la CESP fueron las siguientes:

- Existen deficiencias en el conocimiento técnico por los equipos actuales de INE, Consultora (Shawinigan-Cañadá) y Constructora (ICA-México) para realizar los trabajos de abertura de los túneles.
- No hay diseño de detalles de los túneles y ninguna definición de los métodos constructivos. Las informaciones del diseño son generales y carecen de objetividad práctica.
- Como no existen diseños de detalles, también no hay previsiones sobre los equipamientos a utilizarse. Así también todos los otros parámetros utilizados, como costos, cronogramas etc. no son consistentes.
- Hay grandes posibilidades de ocurrir accidentes, caso no se indiquen nuevas direcciones para los trabajos.
- Las investigaciones geológicas-geotécnicas no estan suficientemente integradas y interpretadas, para poder subsidiar la elaboración de un diseño y para orientar la excavación y el tratamiento y soporte de los túneles.

8. Las principales recomendaciones son:

A. A corto plazo (inmediatamente)

- Interrumpir la excavación del túnel 1 y 2 y tomar las medidas de protección adecuadas en las partes ya excavadas, a través de la colocación de revestimientos provisionales o de la colocación de los revestimientos definitivos.
- Retomar la excavación a través del "Nuevo método austriaco de abertura de túneles (NATM)", utilizandose las recomendaciones de los reportes y las publicaciones entregadas al INE.
- Providenciar equipamientos completos para medidas de convergencia, para utilización durante la construcción de los túneles.
- Solicitar la presencia en la obra, de técnicos de la Consultora y Constructora con experiencia comprobada en construcción de los túneles usando el NATM.

B. A medio plazo (2 a 3 meses)

- Providenciar el diseño de detalle para la construcción de los túneles 1 e 2, segundo o NATM. Prover, junto con la Constructora, los equipamientos y materiales necesarios. Verificar, junto con la Consultora, la necesidad de concreto moldado como revestimiento definitivo, que podrá ser dispensable, en el caso que utilice el NATM.
- Verificar la posibilidad de una nueva Consultoría Técnica por parte de la CESP de por lo menos 3 meses. La Consultoría de la CESP podrá ser utilizada para la Construcción de Asturias y para la transferencia de tecnología en construcción de obras, principalmente referente a geología, geotecnia y mecanica de rocas.

9. Los costos concernientes a las recomendaciones anteriores significan muy poco en relación a los costos de las obras, al costo del contrato con la Consultora y también a las pérdidas materiales y humanas que podrán suceder caso ocurra un accidente. Para dar una idea de los precios, caso el INE necesite pagar toda la consultoría de dos técnicos brasileños durante tres meses, los costos serían del orden de U\$ 50.000.00, incluyendo costos de viajes y estadía y el equipo de medida de convergencia. Este costo es equivalente a construcción de cerca de 15 a 25 m de túnel.

10. Por último queremos resaltar nuestro agradecimiento a los ingenieros y funcionarios del INE, que nos atendieron y que muy gentilmente relataron sus experiencias de técnicos y ciudadanos de una nueva Nicaragua. Asimismo a la Señora Nubia Chávez, Secretaria de la Dirección del Proyecto Asturias por su fina atención y ajuda en la traducción de este reporte, que fue entregado al ingeniero Manoel Chávez, Gerente del Proyecto Asturias, el día 17/10/85 en una reunión técnica con el geólogo João Jerônimo Monticeli de la CESP.

Atenciosamente

ALDÉRICO JOSÉ MARCHI

Ingeniero en Minas

JOÃO JERÔNIMO MONTICELI

Geólogo

Anexos : Reportes mencionados anteriormente

PROYECTO ASTURIAS

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA  
ABERTURA DE LOS TÚNELES

PROYECTO ASTURIAS

CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA ABERTURA DE LOS TÚNELES

1. Consideraciones previas

La clasificación elaborada considera, basicamente, las informaciones de los túneles ahora en construcción. Secundariamente fueron considerados los perfiles de sondeos, la sección sísmica preliminar y los afloramientos de roca en el área del Proyecto.

Procuramos establecer una clasificación simple, para uso inmediato en la obra. Y también, que posibilite la elaboración de secciones geológicas-geotécnicas a lo largo del trasado de túneles, de manera de elaborar un diseño antes de las excavaciones y de preverse el comportamiento de los materiales de la cobertura de los túneles.

2. Parámetros utilizados

Fueron considerados dos grupos de rocas, que parecen tener comportamientos geomecánicos distintos.

Grupo A: Tobas y brechas tobaceas.

Grupo B: Andesitas, ignimbritas, brechas ignimbriticas, basaltos y diabásas.

Los parámetros utilizados son:

Grupo A: Coerencia, fracturamiento y presencia de agua

Grupo B: Alteración y fracturamiento.

Estos parámetros fueron utilizados por ser los más simples de verificación, por permitir estimar las cualidades geomecánicas del macizo, también, por ser posible de ser establecidos en sondeos.

Los simbolos C1, C2, ... A1, A2, ... etc. pueden ser utilizados en perfiles de sondeos y en mapeamientos. Así también las clases de macizo I, II, ... etc. De esta manera las interpretaciones geológicas y el uso de estas en los diseños y construcción serán facilitadas.

Los parámetros utilizados están descritos en las tablas 1 a 3.

3. Clasificación del macizo rocoso

Clasificar un macizo rocoso significa elegir los parámetros mas representativos de un macizo y establecer las clases, graduando de la más favorable a la más desfavorable.

La clasificación es realizada despues de haber sido efectuada la caracterización geológica-geotécnica del macizo rocoso. Por caracterización debe ser entendido el acto de levantar informaciones sobre el macizo, a través de mapeamientos, sondeos, ensayos "in situ", ensayos sobre cuerpos de prueba, etc.

CARACTERIZACIÓN → CLASIFICACION → USO EN EL DISEÑO

En el caso de los túneles del Proyecto Asturias la clasificación prevé, en primer lugar, separar los tipos de roca, conforme mostrado en la tabla 4. Por ejemplo, caso sea una Toba es utilizada la tabla 4.a. En seguida es verificada la coherencia. Caso sea coherencia C3 es necesario verificar la presencia de água, siendo que estando seco sería H1 y, por tanto, el macizo es IV\*.

El macizo IV\* es el local donde predomina Toba frágil, o sea, que está seca y se quiebra facilmente con las manos.

Por otro lado, un macizo III puede ser de Toba o de otras rocas (andesita, por ejemplo) y es apreciada como un material resistente, muy fracturado (6 a 20 fracturas por metro).

De acuerdo con estas clases de macizos y siguiendo los procedimientos del NATM fueron establecidos los tipos de tratamiento, que estamos presentando en la Tabla 5.

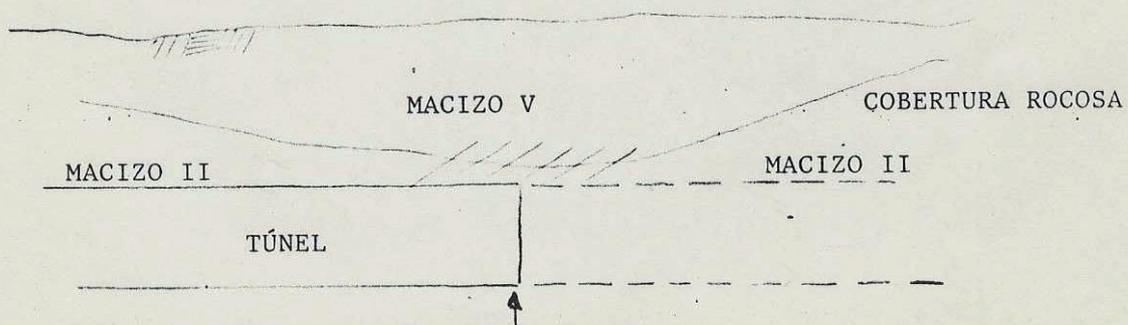
Es importante recordar que es comun la necesidad de adaptación y continuo perfeccionamiento de la clasificación y de los tratamientos por hora establecidos.

#### 4. Observaciones importantes

La clasificación propuesta deberá ser establecida en cada frente de trabajo a través de un mapeamiento sistemático, a ser efectuado por técnicos y profesionales suficientemente entrenados para ésto.

Es necesario también realizar una clasificación del macizo antes de la abertura del túnel, o sea, utilizando las secciones topográficas, los sondeos, los levantamientos geológicos de superficie (mapeamiento) y la sísmica recientemente realizada. Este trabajo permitirá visualizar el comportamiento de la cobertura rocosa, pues es muy importante saber el tipo de macizo rocoso que existe en la parte superior del túnel (cobertura del túnel) y la existencia de discontinuidades (fallas, contactos, etc.).

En caso de existir una cobertura de mala calidad y la existencia de discontinuidade, mismo que la excavación indique macizo de buenas condiciones, es necesario medidas de seguridad y tratamientos mas conservadores. A veces es necesario recurrir a consolidación del macizo por inyección de cemento.



Necesidad de cuidados con la excavación, pues puede ocurrir colapso en la bóveda. Disminuir el avance.

En el caso de los túneles del Proyecto Asturias la clasificación prevé, en primer lugar, separar los tipos de roca, conforme mostrado en la tabla 4. Por ejemplo, caso sea una Toba es utilizada la tabla 4.a. En seguida es verificada la coherencia. Caso sea coherencia C3 es necesario verificar la presencia de agua, siendo que estando seco sería H1 y, por tanto, el macizo es IV\*.

El macizo IV\* es el local donde predomina Toba frágil, o sea, que está seca y se quiebra facilmente con las manos.

Por otro lado, un macizo III puede ser de Toba o de otras rocas (andesita, por ejemplo) y es apreciada como un material resistente, muy fracturado (6 a 20 fracturas por metro).

De acuerdo con estas clases de macizos y siguiendo los procedimientos del NATM fueron establecidos los tipos de tratamiento, que estamos presentando en la Tabla 5.

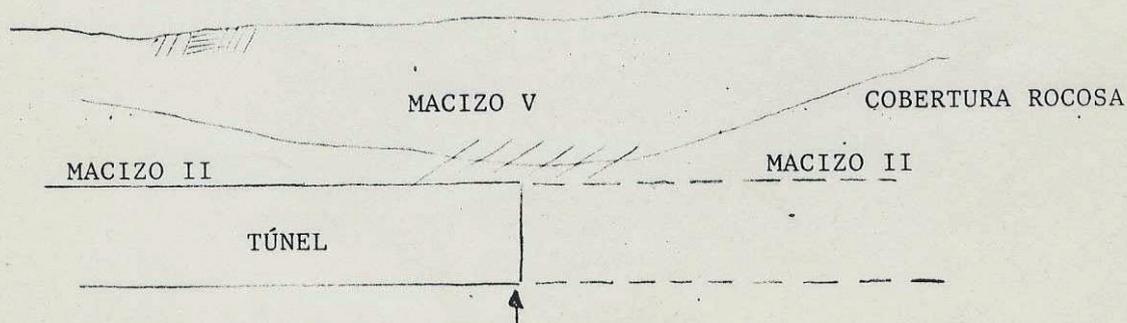
Es importante recordar que es comun la necesidad de adaptación y continuo perfeccionamiento de la clasificación y de los tratamientos por hora establecidos.

#### 4. Observaciones importantes

La clasificación propuesta deberá ser establecida en cada frente de trabajo a través de un mapeamiento sistemático, a ser efectuado por técnicos y profesionales suficientemente entrenados para esto.

Es necesario también realizar una clasificación del macizo antes de la abertura del túnel, o sea, utilizando las secciones topográficas, los sondeos, los levantamientos geológicos de superficie (mapeamiento) y la sísmica recientemente realizada. Este trabajo permitirá visualizar el comportamiento de la cobertura rocosa, pues es muy importante saber el tipo de macizo rocoso que existe en la parte superior del túnel (cobertura del túnel) y la existencia de discontinuidades (fallas, contactos, etc.).

En caso de existir una cobertura de mala calidad y la existencia de discontinuidade, mismo que la excavación indique macizo de buenas condiciones, es necesario medidas de seguridad y tratamientos mas conservadores. A veces es necesario recurrir a consolidación del macizo por inyección de cemento.



Necesidad de cuidados con la excavación, pues puede ocurrir colapso en la bóveda. Disminuir el avance.

Tabla 1. Parámetros para clasificación de Tobas y Brechas Tobáceas

A) Coherencia

<u>Indice</u>	<u>Descripción</u>
C-1	<u>Resistente</u> . No se puede quebrar con las manos, a no ser pequeños fragmentos y pequeñas laminas.
C-2	<u>Resistencia intermedia</u> a las presiones de las manos. Con esfuerzo es posible quebrar los fragmentos.
C-3	<u>Frágil</u> . Se quebra facilmente con las manos. Aspecto de un suelo compacto o consolidado. Es excavado con martillo.

B) Presencia de agua

<u>Indice</u>	<u>Descripción</u>
H-1	Seco.
H-2	Paredes húmedas o escurrimiento de agua en las paredes.
H-3	Caída continua de agua (Caudal).

Tabla 2. Fracturamiento (para usar en todas las rocas)

<u>Indice</u>	<u>Fracturas/Metro</u>	<u>Espaciamientos/ Centímetro</u>	<u>Descripción</u>
F-1	< 2	> 50	Macizo poco fracturado; o mejor.
F-2	2 a 5	entre 50 y 20	Medianamente fracturado.
F-3	6 a 20	entre 20 y 5	Muy fracturado.
F-4	> 20	< 5	Extremamente fracturado.

Tabla 3. Alteración (solamente para el grupo B: andesitas, etc.)

---

<u>Índice</u>		<u>Descripción</u>
A-1	<u>Prácticamente sana</u>	Los minerales se presentan sin alteración química o ésta es de poca intensidad. Las fracturas pueden estar oxidadas y levemente alteradas. Difícil de quebrar con el martillo. No se puede quebrar con las manos.
A-2	<u>Medianamente alterada</u>	Los minerales presentan alteración química, lo que resulta en una descoloración original de la roca. La resistencia es menor que la anterior, mas es una roca de buenas cualidades mecánicas. Apenas pequeñas lascas y pequeños fragmentos pueden ser quebrados con las manos. Al impacto del martillo es mas fácil de quebrar que la roca anterior. Puede ser llamada de <u>roca alterada dura</u> .
A-3	<u>Alterada</u>	Los minerales se encuentran totalmente alterados. La roca pierde parte del color original. Los fragmentos pequeños pueden ser quebrados con las manos. Fácil de quebrar con el martillo, pudiendo desintegrarse totalmente a un impacto mas fuerte. Puede ser llamada de <u>roca alterada suave</u> . Puede incluir <u>suelo residual</u> o de alteración.

---

TABLA 4

Tabla 4A. Tobas y Brechas Tobaceas

<u>Parámetros de verificación</u>		<u>Clase de Macizo</u>	
C3	H2/H3	V	
C3/C2	H1	IV*	
C1	F4 {	H2/H3	V
		H1	IV
C1/C2	F3	III	
	F2	II	
	F1	I	

Tabla 4B. Otros tipos de rocas: andesitas, ignimbritas, brechas-ignimbriticas, basaltos, diabasas

<u>Parámetros de verificación</u>		<u>Clase de Macizo</u>
A3		V
A3/A2	F4	IV
		III
A1	F3	III
A1/A2	F2	II
		I

PROYECTO ASTURIAS - CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA LOS TÚNELES

Tabla 5. Correlación: Clases de Macizo - Tratamiento

(REVISION 1)

Clase de Macizo	Litología	Avance (Metros)	Tratamiento
I	(todas)	2 a 3	Torcreto de 5 cm
II			Torcreto de 5 cm y pernos
III			Pernos sistemáticos separados a cada 1,5 x 1,5 m y torcreto de 10 cm aplicado em dos etapas de 5 cm.
IV*	Solamente tobas y brechas tobáceas	1.5 a 2.5	Torcreto de 10 cm aplicado em dos etapas de 5 cm. En caso necesario usar tela metálica.
IV	(Todas)	1.2 a 2.0	Pernos sistemáticos separados a cada 1,5 x 1,5 m, tela metálica y torcreto de 10 cm (idem). En caso necesario, utilizar marcos (arcos metálicos).
V			Marcos separados de 0,50 a 1,20 m y torcreto de 10 cm (idem). Importantela fijación de los marcos con pernos (3 a 4) y el torcreto con espesor suficiente para consolidar el marco en el macizo. Excavación con rompedores.
Regiones Anomalias			Necesidades de estudiar caso a caso.

- OBSERVACIONES:
1. Base del túnel: Concreto moldado.
  2. Como las tobas y brechas tobáceas se alteran en contacto con agua es necesario tratamiento inmediato y cuidado con el revestimiento definitivo. Como estas rocas y otras pueden tener deformaciones excesivas puede haber necesidad de apuntalamientos especiales.
  3. En caso de dificultades constructivas pronunciadas debido a bajas cualidades de macizo (clase V o IV) podrá haber necesidad de utilizar las técnicas de consolidación previa con inyección de cemento y pernos de aceros y las demás medidas conocidas para los tratamientos.
  4. En caso de ocurrir caudal de agua (H3) será necesario drenaje a través de drenos verticales y sub-verticales de 10 a 15 m de profundidad o menos.

ANEXO I

NATM - NUEVO MÉTODO AUSTRIACO PARA ABERTURA DE TÚNELES

**ANEXO I**

NATM - NUEVO METODO AUSTRIACO PARA ABERTURA DE TUNELES

Este método de abertura de túneles se basa en el principio de relajamiento controlado para conseguir un equilibrio estable en las excavaciones subterráneas. De esta forma el macizo rocoso se deforma aliviando las tensiones y estabilizandose gracias al sistema de apuntalamiento.

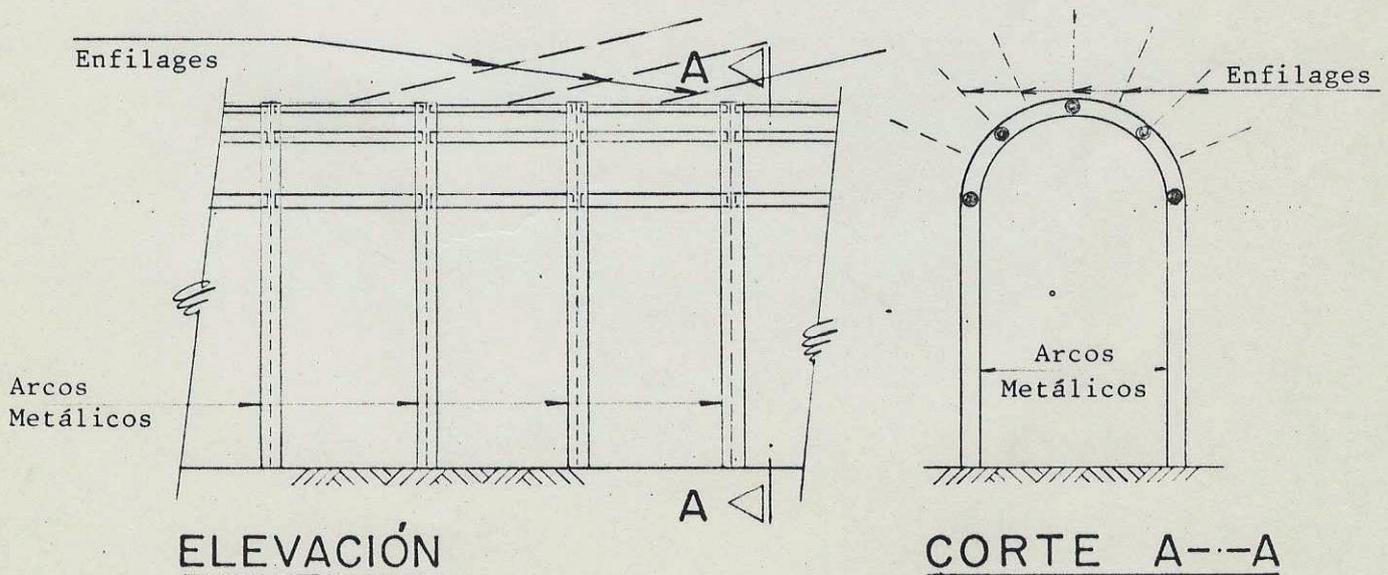
Este sistema (aconsejado) por el NATM es en orden decreciente de importancia: Tirantes e pernos, torcreto, con o sin tela metálica y arcos metálicos (perfiles metálicos = marcos).

La función de los tirantes o pernos es la de producir la formación de un arco de reacción al rededor de la excavación, es decir un acoplamiento entre los bloques que forman la abobeda y la pared. Es por eso que deve ser aplicado al mismo tiempo que se comienza la abertura para prevenir el "desajuste" del arco.

El torcreto también funciona impidiendo el inicio de un proceso de ruptura previniendo las deformaciones iniciales excesivas, funcionando también (de forma limitada) como elemento estructural, principalmente si se lo utiliza con tela metálica lo que le confiere resistencia a la tracción.

Los arcos metálicos son usados específicamente en zonas donde hay peligro de desprendimientos del cielo raso encima de los obreros e equipos. Generalmente son utilizados con otro sistema de apuntalamiento para garantizar su línea de contacto y la distribución de la carga en la superficie del túnel, es decir, el torcreto.

Estos arcos metálicos son usados en lugares inestables y zonas donde se sea necesario además de los arcos y tirantes, tratamientos especiales como enfilages (vea figura abajo).



El NATM indica:

- a) apuntalamiento, o tratamiento inmediato después de la excavación, para poder controlar la disgregación del macizo.
- b) Control de las deformaciones para la verificación de la adaptación de las estructuras estabilizantes y la necesidad de revestimientos definitivos. Este control se realiza con medidas de convergencias en secciones transversales al túnel, secciones éstas que son instaladas seguidamente a la excavación.  
Dependiendo del lugar, puede haber necesidad de una instrumentación mas completa (extensómetros, inclinómetros, células de carga, etc.)

Para decidirse por el apuntalamiento/tratamiento se procede a elaborar una clasificación geológico-geotécnica del macizo rocoso. Esta clasificación se realiza en todas las etapas del proyecto. En la etapa de estudio, la clasificación se basea en el mapeamiento geológico-geotécnico, en los sondeos, ensayos "in situ" y las muestras e investigaciones geofísicas.

Esta clasificación junto con las medidas de soporte aconsejadas, sirven para estimar el costo de la obra, la elaboración de los proyectos y los materiales y equipos que seran necesarios.

Sólo en la etapa de construcción es quando se realiza el proyecto ejecutivo de un túnel. En este caso la clasificación del macizo rocoso es nuevamente realizada, ahora a partir del mapeamento sistemático de las frentes de excavación.

Es importante mencionar que los estudios de estabilidad de túneles se dividen en 2 corrientes. Una mas teórica, usa modelos matemáticos y simplificaciones para el macizo rocoso. La segunda, mas práctica que es el NATM, en la cual la estabilidad es verificada através de la instrumentación del túnel. Destacamos que ésta última, es actualmente la más utilizada en todo el mundo, presentando la ventaja de indicar durante la construcción del túnel los parámetros que permiten comprobar la estabilidad de las excavaciones.

Con las informaciones obtenidas por la instrumentación es posible mejorar el revestimiento definitivo, lo que generalmente conduce a una disminución importante en el costo final de la obra.

Existe una amplia bibliografía sobre el NATM, siendo que algunas publicaciones brasileñas estan anexadas a este trabajo.

ANEXO 2

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE LAS  
EXCAVACIONES Y VOLADURAS

## ANEXO 2 - EXCAVACIONES

### I. TUNEL

La sobre excavación de un túnel, normalmente es de responsabilidad de la contratista (constructora). La propietaria en este caso deve imponerle severas multas. Una super excavación de 30 a 40% puede duplicar o hasta triplicar el volumen de hormigón moldado en el caso de que éste sea utilizado. En algunos casos se vuelve totalmente imposible su aplicación o se arriesga la estabilidad del túnel.

La solución del problema de la sobre excavación puede y tiene que ser resuelta durante el desenvolvimiento del túnel, haciendose modificaciones en la distribución de los agujeros. Debe tenerse en cuenta que sobre excavación casi siempre significa exceso de carga, principalmente si la sobre excavación es sistemática. Pueden efectuarse algunas experiencias como por ejemplo disminuir las cargas en los agujeros periféricos, disminuir las cargas en todos los agujeros, cambiar la geometría del fuego, realizar agujeros periféricos sin carga en el plano de fuego, etc.

### II. TALUDES

En este caso el pré corte del talud final es utilizado de forma sistemática, para evitar la sobre excavación y estabilizar el macizo sobrante.

### III. FUNDACIONES

En este caso, cerca de la etapa final de las excavaciones el desmonte debe ser cuidadoso, para evitar afectar por demas el macizo (provocando fracturas).

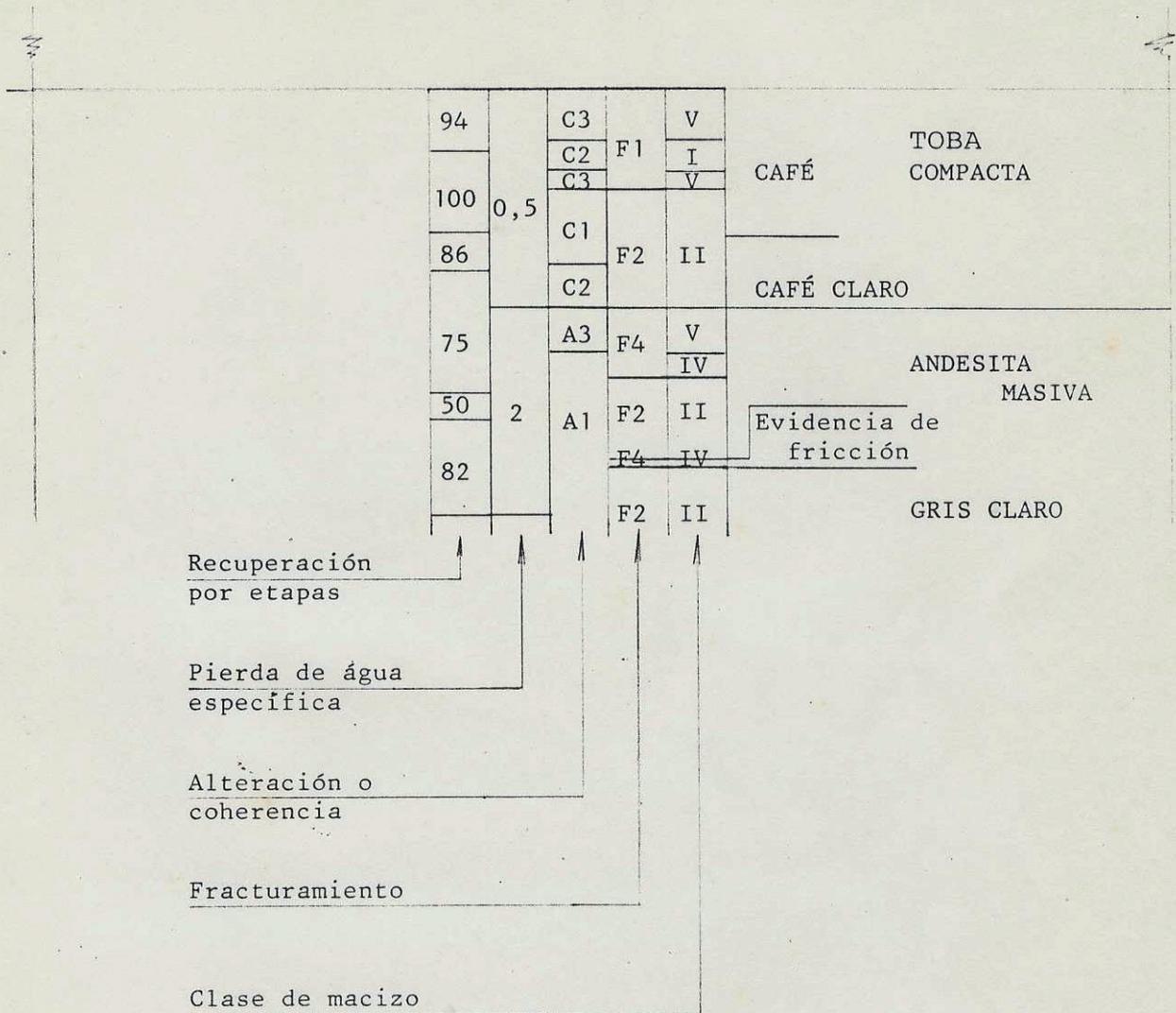
ANEXO 3

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE LAS  
INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS-GEOTÉCNICAS  
DE LOS TÚNELES 1 E 2

## ANEXO 3

**OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE LAS INVESTIGACIONES  
GEOLOGICAS-GEOTECNICAS DE LOS TUNELES 1 Y 2 DEL PROYECTO ASTURIAS**

1. Para la etapa de viabilidad, las investigaciones de campo fueron insuficientes. Lamentablemente esta etapa es la que puede llegar a influenciar en las decisiones y en el costo de las obras. Esta etapa fue relegada también a segundo plano en muchas partes del mundo, principalmente en lo que se refiere a trabajos de campo.
2. Los perfiles de sondas son insuficientes y la forma de presentación de los resultados debe ser mas simple y directa.
3. No hay un trabajo de síntesis que agrupe todas las informaciones del tipo geológica-geotécnica de la obra y que brinde una interpretación para su utilización en el proyecto y en las construcciones.
4. Aparentemente se pasó de la etapa de viabilidad para la del proyecto ejecutivo sin tener el necesario conocimiento de las condiciones geológico-geotécnicas y de sus influencias en el proyecto y en el costo de la obra.
5. La ejecución del estudio de levantamientos sísmicos no puede ser separada de un análisis conjunto con las otras investigaciones realizadas como sondeos, mapeamientos y ensayos. La sísmica es una herramienta de trabajo para ser usada en conjunto con otros datos, siendo necesario su integración.
6. La integración de las informaciones geológico-geotécnicas debe ser llevada a cabo lo mas rápido posible. Se sugieren los siguientes trabajos:
  - 1) Describir nuevamente los sondeos y presentar los perfiles de forma mas objetiva, tratando usar una fácil descripción que sea comprensible para los interesados, es decir, propietaria de la obra, proyectista y constructora. Para esto es importante incluir en los perfiles la clasificación del macizo rocoso y los parámetros utilizados para su constitución. Presentamos abajo un ejemplo que podrá ser adaptado al perfil existente. Debe recordarse que para cada obra es necesario establecer un tipo de perfil que mejor atienda a las necesidades del proyecto.



La pérdida de agua específica es un valor que comunmente es utilizado para describir las condiciones de permeabilidad. Para sondeos con diametro NX (76 mm) e trechos de 3 metros de ensayo el valor de pérdida de água específica igual a 1 equivale a cerca de  $10^{-4}$  cm/s. Para otros valores es solo efectuar la correspondencia directa. La pérdida de água específica (símbolo PE) es expresada por:

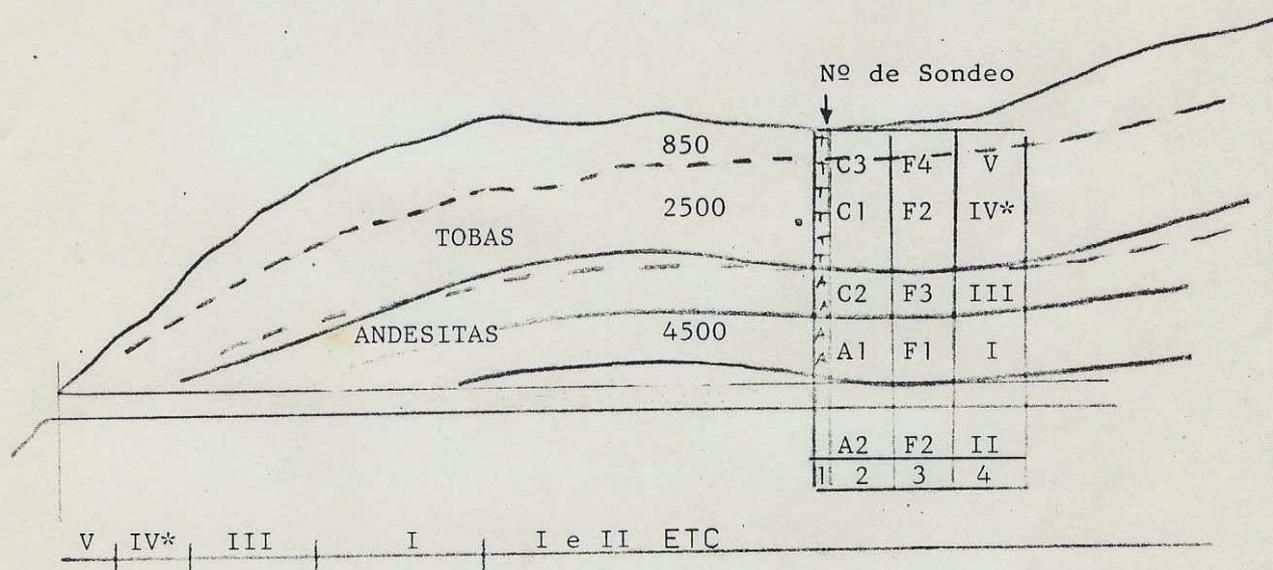
$$PE = \frac{\text{Pérdida absorbida em litros por minuto}}{\text{Trecho ensayado em metros x presión efectiva em Kg/cm}^2} =$$

$$= 1/\text{min/m/kg/cm}^2$$

CORRELACION BASICA:  $11/\text{min}/\text{m}/\text{kg}/\text{cm}^2 = 10^{-4} \text{ cm/s}$   
 VALIDO PARA:sondeos NX y trecho de ensayo de 3 m.

2) Dibujar una sección geológico-geotécnica longitudinal a los túneles, integrando todos los datos existentes y realmente importantes para el proyecto. No es necesario incluir informaciones demas, pero sí datos objetivos como tipo de roca, alteración/coherencia, y fracturamientos.

Presentamos abajo un ejemplo. Lo importante seria trazar los contactos de los tipos de macizos rocosos para permitir quantificar el proceso constructivo.



MACIZO ROCOSO  
(Estimativa)

1. Litologia
  2. Alteración/coherencia
  3. Fracturamiento
  4. Tipo de Macizo
-  . Extractos Sísmicos  
 . Contacto Litológico  
 850 . Veloc. sísmica en m/s  
 . Tipo de Macizo

Los levantamientos sísmicos clasifican los siguientes extractos:

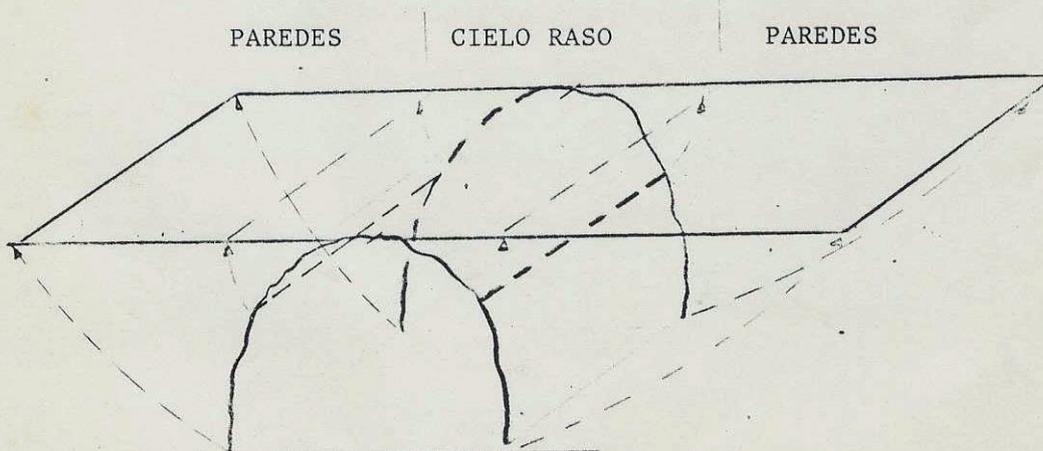
< 600 m/s	Suelos poco consolidados	excavable
600 a 1100 m/s	Suelos compactos	escarificables
1100 a 2000 m/s	Roca alterada o friable	
	Roca extremadamente fracturada	escarificable
2000 a 3500 m/s	Rocha con vários grados de alteración/coherencia y con fracturaciones menos significativas que la anterior	solo escarificable em algunas condiciones
> 3500	Macizo rocoso poco fracturado practicamente sano	solo desmontable con explosivos

Es importante recordar que la sísmica no puede identificar capas frágiles recubiertas por capas de roca de mayor resistencia.

- 3) El programa de sondeos escogido parece estar correcto. Se hace necesario ejecutar los sondeos igualmente en los trechos de macizos de buena calidad para su correcta clasificación. Algunas veces es necesario realizar los sondeos durante la etapa de construcción, para tener una mejor previsión del comportamiento del macizo, para confirmar las hipótesis de trabajo y no solo desenhar sobre conjeturas.

Para el dimensionamiento del revestimiento provisório de los túneles es necesario un mapeamiento sistemático de las frentes de excavación y clasificación del macizo rocoso. Por su importancia y por los cuidados que requiere su ejecución, recomiendanse los siguientes procedimientos:

- 1) Realizar el rebajamiento de las paredes laterales y del cielo raso para un mismo plano.



- 2) Mapear todas las características geológicas y geotécnicas importantes y efectuar la separación de las clases de macizos rocosos. Anotar las salidas de água.
- 3) Para una correcta obtención de los datos es preciso:
  - . iluminar el túnel
  - . controlar la localización, a través de marcas de pintura en las paredes.
  - . control topográfico.
- 4) Dejar libre la excavación y la colocación del revestimiento provisório después de analizado el mapamiento.
- 8) Como el mapeamento está hecho sistemáticamente después de cada desmonte, es necesario disponer de un equipo en la obra para realizar este trabajo.

ANEXO 4

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE LAS CONSTRUCCIONES

DE LOS TÚNELES 1 E 2

## ANEXO 4

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE LA CONSTRUCCION  
DE LOS TUNELES 1 Y 2 DEL PROYECTO ASTURIAS

1. El método constructivo no está definido y prácticamente no existe proyecto. Parece que se trata de una utilización errónea del NATM.
2. No existe aplicación de pernos ni siquiera donde ellos son reconocidamente el mejor método de estabilización, por ejemplo en rocas fracturadas. Es importante indicar que en el NATM el apuntalamiento a través de anclajes es una necesidad básica.
3. Ni la anclaje ni el torcreto están siendo aplicados enseguida después del desmonte (voladura). Esto produce el completo relajamiento y pérdida de la capacidad de auto soporte del túnel, pudiendo ocasionar gastos extras con el revestimiento definitivo y también provocar accidentes.
4. El torcreto no está sujeto a control de calidad, ni de aplicación (se observan capas con espesores inferiores a 1 cm).
5. Existe una pérdida excesiva del torcreto (50%). La contratista deberá ser responsabilizada.
6. Aparentemente el tiempo de que tarda en secar el torcreto es muy elevado. Es necesario certificarse.
7. Los arcos metálicos instalados en el túnel 1 no están solidarios con la pared del túnel, esto demuestra que los mismos no están funcionando.
8. Podría reducirse el espesor del alma de los perfiles de los arcos metálicos en por lo menos 1" sin perjudicar sensiblemente su capacidad de soporte, disminuyendo su costo y facilitando su empleo.
9. El sistema de ventilación del túnel 1 está muy alejado del frente, de esa forma no se consigue realizar la purificación de los gases ocasionados en el área de desmonte.
10. Durante el desarrollo del túnel se recomienda la previsión de construcción de "nichos" para permitir el desvío de las vagonetas y el estacionamiento de equipos de "torcreto", agilizando las operaciones de limpieza y aplicación del torcreto.
11. Sería aconsejable que el INE realice un cálculo de los costos directos e indirectos de un posible accidente que pudiera ocurrir en los túneles 1 y 2: atraso de 3 a 6 meses del cronograma, accidentes con obreros y necesidad de equipos y estructuras adicionales de soporte.
12. Se observó que no existe una previsión, ni siquiera inicial del material necesario para construir el túnel. Esto se debe a no existir un proyecto preliminar (proyecto básico para la excavación).

- 13 No se está efectuando mapeamento geológico-geotécnico de las paredes del túnel, lo que conducirá una incorrecta correlación con la instrumentación y podrá traer mayores dificultades durante la vida útil de la obra, por la inexistencia de un registro de como era a roca del lugar ("as built").
- 14 La cantidad de obreros de los equipos no es la adecuada, perjudicando por consiguiente la productividad. Parece exagerado tener 8 obreros solamente para la perforación, siendo necesario mejorar todo el sistema de producción: perforación, colocación de explosivos, limpieza, equipo de mantenimiento general, etc.
- 15 No estan siendo efectuadas las medidas de convergencias y por eso no se sabe cuanto se está deformando el macizo. Se corre el riesgo de accidentes y no se poseen informaciones para el proyecto del revestimiento definitivo.
- 16 Las medidas de protección indicadas por el NATM, como los arcos metálicos, pernos, torcreto y tela metálica, si fuesen aplicados en los túneles del Proyecto Asturias podrian constituir el revestimiento definitivo, sin necesidad de hormigón moldado extra. Sin embargo, en este caso será necesario: a) medidas de convergencia e b) estudio hidráulico que lleve en cuenta las condiciones de erodibilidad, rugosidad de las paredes, velocidad del agua, permeabilidad y resistencia del torcreto.
- 17 El proyecto indica retirar el revestimiento provisório para entonces aplicar el revestimiento definitivo. Ademas de no estar utilizandose del revestimiento provisório, de forma de reduzir el costo de revestimiento definitivo, habrá aumento de costos y problemas de inestabilidad de las paredes del tunel, provocando nuevamente sobre excavación y peligro de accidentes.

ANEXO 5

DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA



Foto 1 - Embocadura del túnel 1, en andesitas fracturadas. Las fotos 2, 3 y 4 fueron hechas en las excavaciones para la embocadura.



Foto 2 - Andesita : > 20 fracturas/m : F4; practicamente sana : A1 clase IV



Foto 3 - Andesita  
(20 a 10 fracturas/m → F3; praticamente sana → A1 : clase III)



Foto 4 - Andesita: praticamente sana  
Trecho de < 5 fracturás/m : clase II  
Trecho de 6 a 20 fracturas/m : clase III

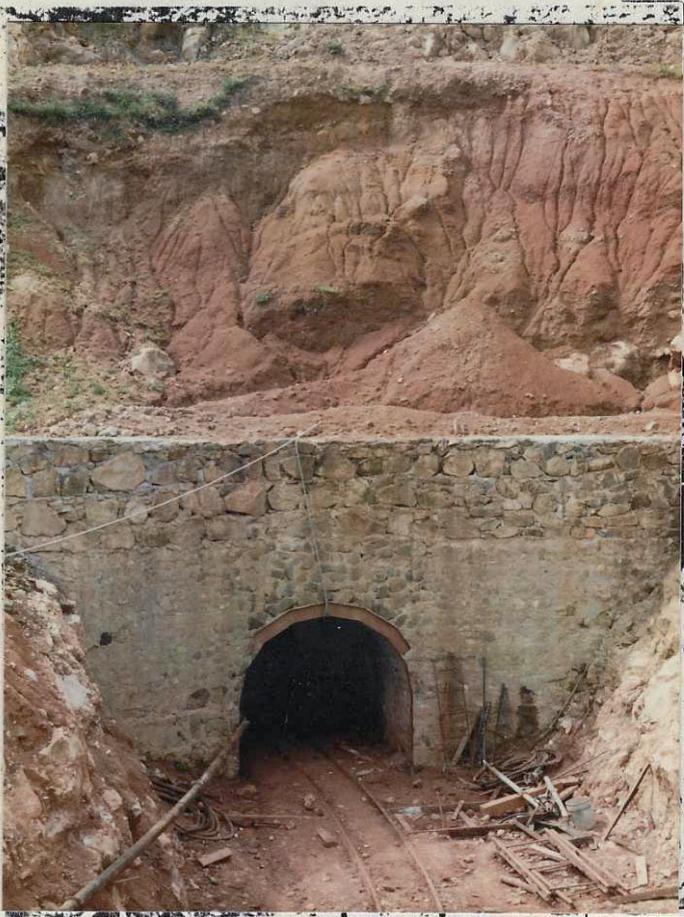


Foto 5 - Embocadura del túnel 2, en brechas tobáceas. La foto 6 fue hecha en la pared derecha de la excavación para la construcción de la embocadura.

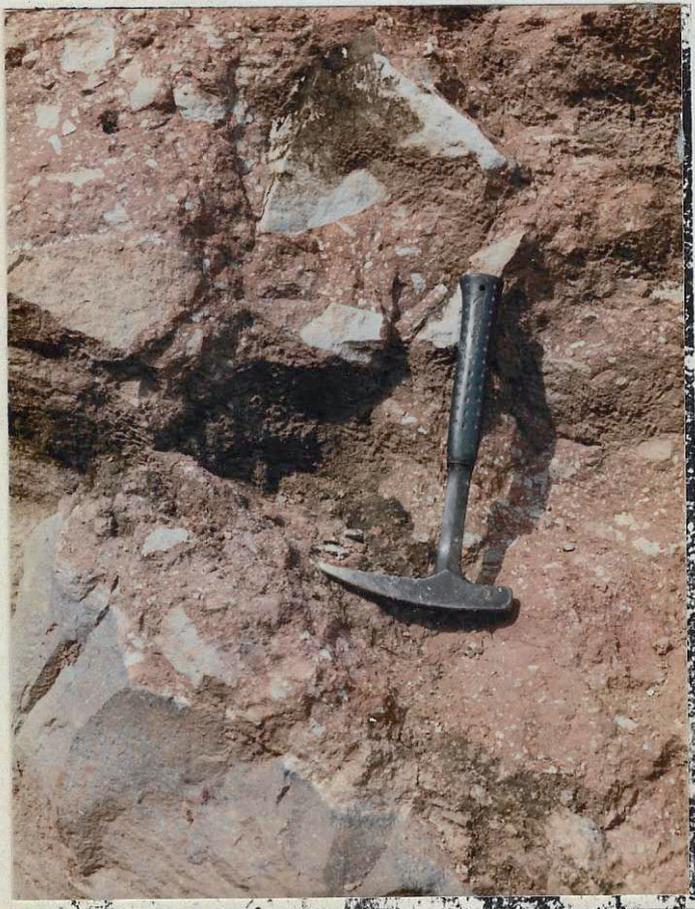


Foto 6 - Brecha tobácea (trechos friables/C3 y trechos de resistencia intermedia/C2, seca/H1, no se observa la presencia de fracturas: clase IV\*)

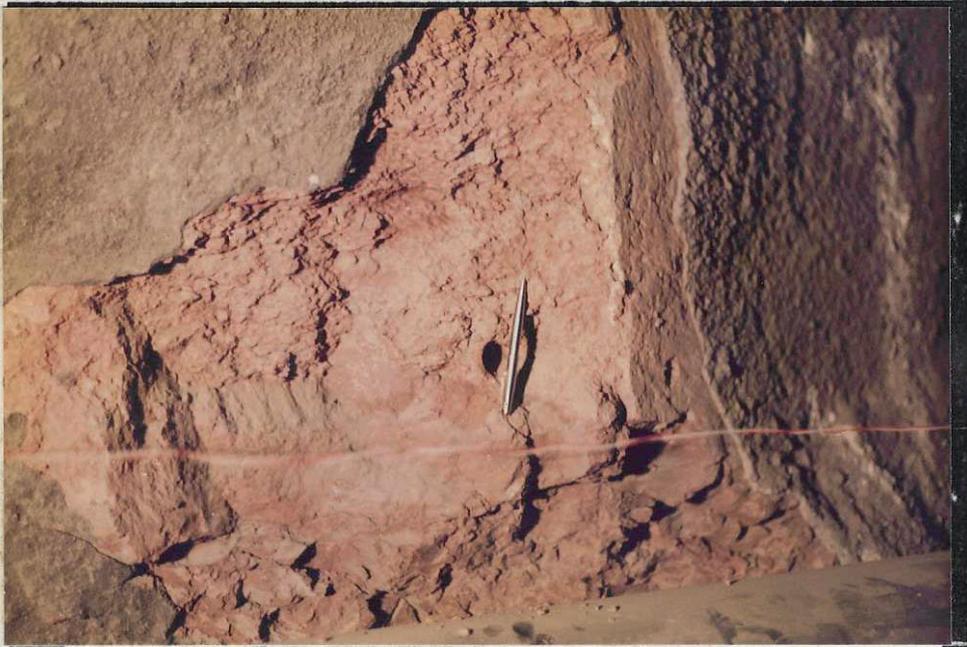


Foto 7 - Tobas

Facilmente disgregável com presença de água. Observar torcreto de 1 cm para a proteção de las paredes contra la intempérie.

Trechos friáveis/C3 y trechos de resistencia intermedia/C2; seca/H1; no se observa la presencia de fracturas: clase IV\*.

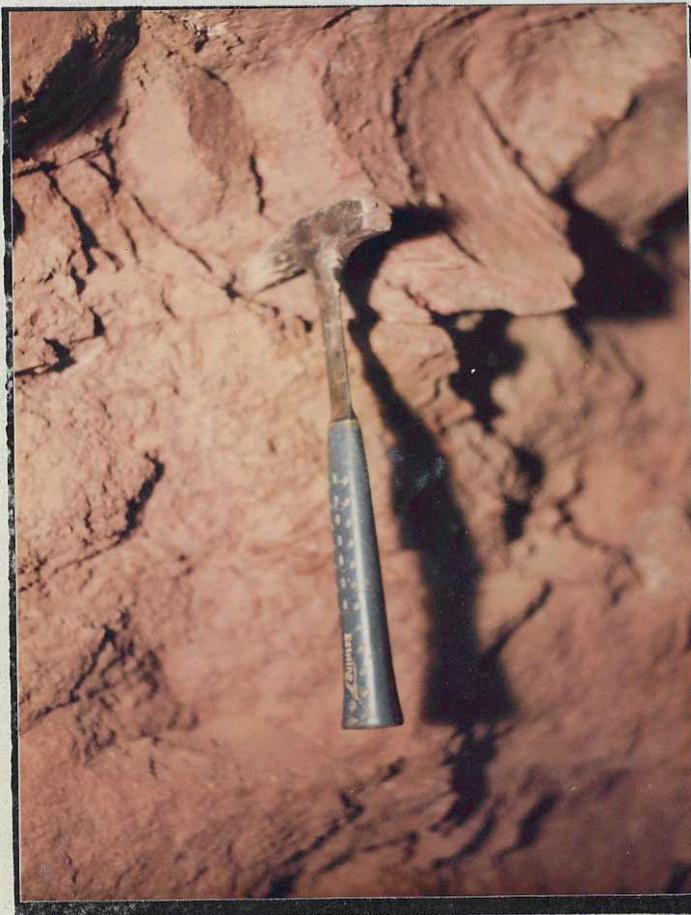


Foto 8 - Tobas. Superficialmente en forma de lodo. (con la presencia de água: clase V)



Foto 9 - Arco metálico no consolidado a las paredes del túnel.

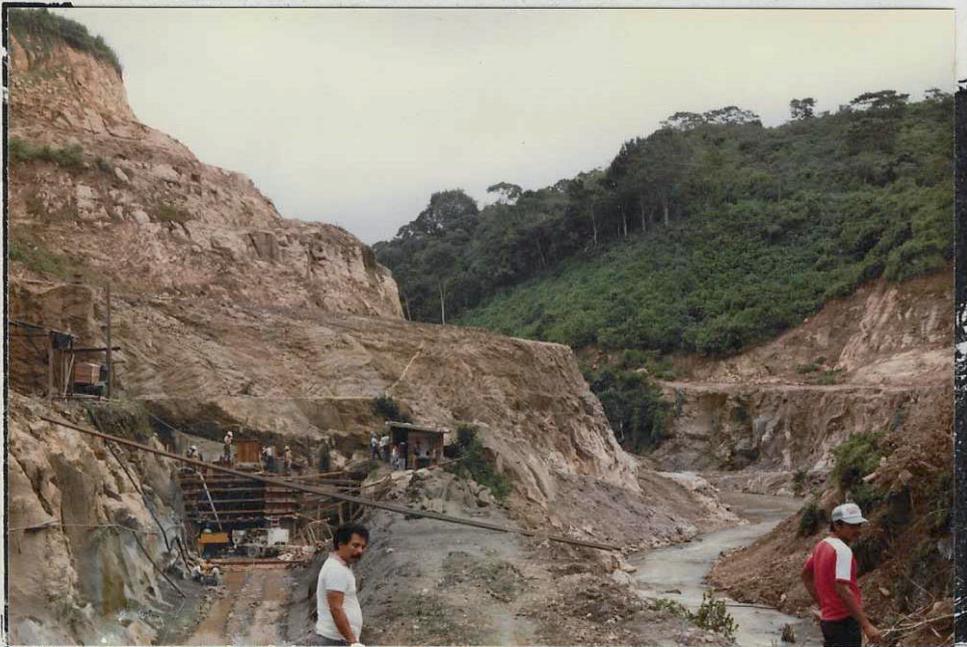


Foto 10 - Hombreira izquierda. Nivel inferior (ignimbritos y andesitas); nivel intermediario (andesitas y tobas) y nivel superior (tobas).

Observar embocadura del túnel de desvío en ignimbritos



Foto 11 - Eje de la presa y hombrera derecha.



Foto 12 - Detalle del nivel inferior de la hombrera izquierda en andesita y ignimbritos practicamente sanas.

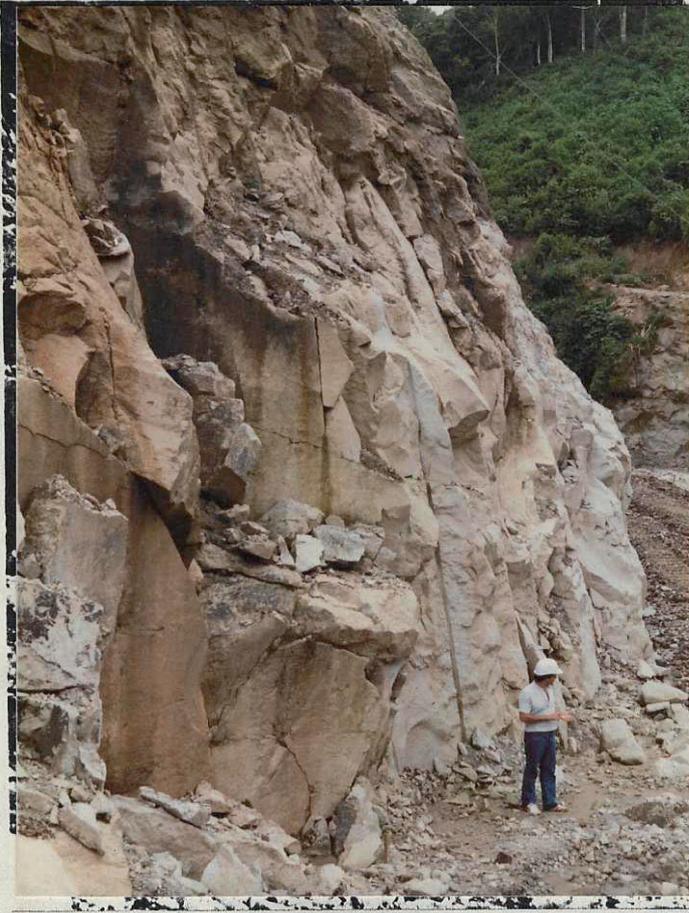


Foto 13 - Hombrera izquierda. Nivel inferior. Superficie final de corte a fuego en igninbrito y andesita.

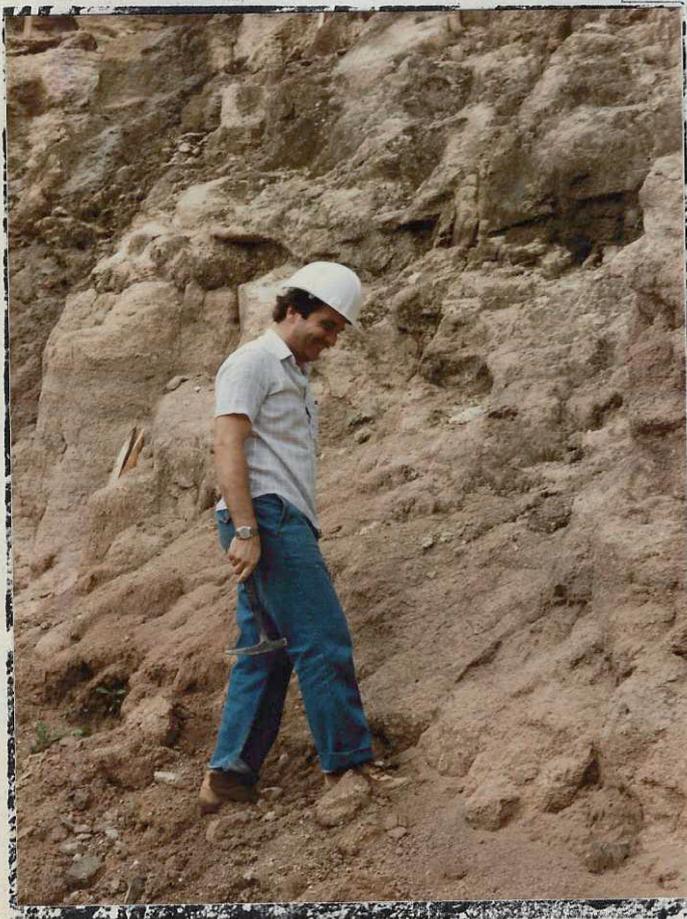


Foto 14 - Hombrera izquierda. Nivel intermediario. Superficie de tobas desagregadas por causa de la intemperie.

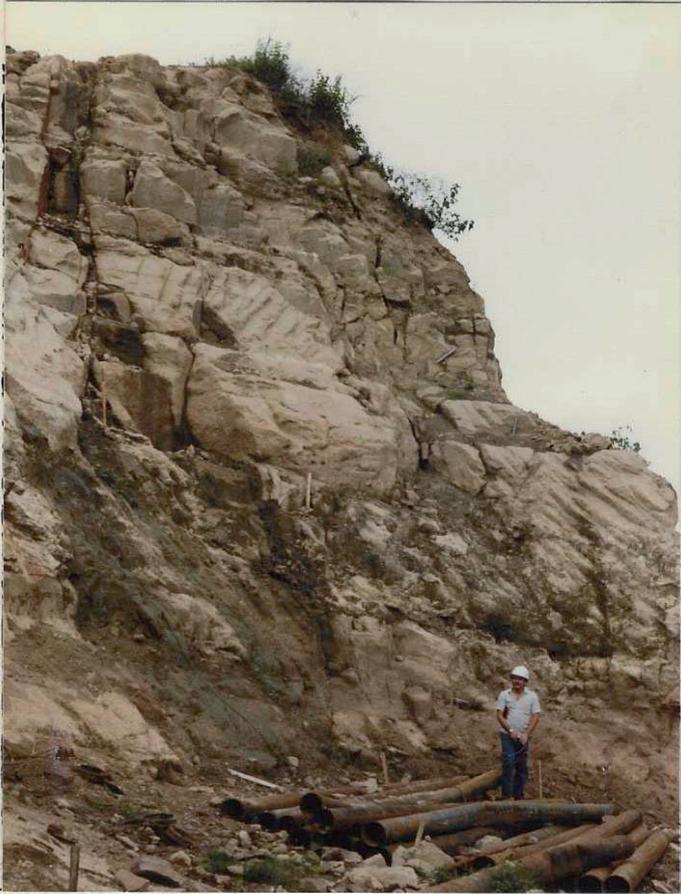


Foto 15 - Hombrera izquierda, nível intermediario. Observar el bloque inestable. Tobs resistente (C1) o resistencia intermediaria (C2) con trechos muy fracturados (F3) y medianamente fracturados (F2).

Observar la presencia de humedad en las fracturas principales y el efecto de desagregación superficial.

**PROYECTO ASTURIAS  
SENTAS DE LAS PUBLICACIONES ANEXADAS**

- 1) Jornal da ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - Nº 34.
- 2) Propostas para admissão de sócio - ABGE
- 3) Lista de publicações da ABGE
- 4) Reporte Nº 19 173 do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de título: Uma propostas de sistemática de estudos geológicos-geotécnicos para projetos de túneis - 132 páginas.
- 5) Publicação: Metodologia para a caracterização geotécnica de maciços basálticos em túneis viários - 12 páginas.
- 6) Publicação: A importância do acompanhamento técnico em escavações subterrâneas - 10 páginas.
- 7) Publicação: Estudo comparativo entre as fases do projeto interligação Jaguari-Cachoeira - 16 páginas.
- 8) Tese de Mestrado do geól. Luiz M. Ojima: Metodologia de classificação de maciços rochosos aplicável a túneis - 104 páginas.
- 9) Tese de mestrado do geól. João J. Monticelli: Influências da compartimentação geológico-geotécnica de maciços rochosos no projeto de fundações de barragens - Fase de Viabilidade - 149 páginas.
- 10) Publicação ABGE - Tradução Nº 8: Princípios e modos de aplicação do novo método austríaco de abertura de túneis com atenção particular às condições geotécnicas e topográficas brasileiras - 35 páginas.
- 11) Publicação ABGE - Tradução Nº 10: Sustentação e revestimento em túneis e galerias - 31 páginas.
- 12) Publicação ABGE - Anais do Simpósio sobre escavações subterrâneas. Volume 1 - 736 páginas e Volume 2 - 451 páginas.

### 3. POSFÁCIO

#### 3.1 Viagem São Paulo-Quito-Panamá-Manágua e retorno

Na ida, houve necessidade de permanência por três noites em Quito, aguardando a regularização de uma greve da companhia aérea. Os dois dias de folga foram aproveitados para visitar as regiões de vulcanismo ativo próximas a Quito e o monumento que identifica a Linha do Equador (Fotos 1 e 2). A altitude de Quito provocou mal-estar em um dos viajantes (Geól. João Jeronimo).

Nas viagens de retorno os autores, separadamente, (o Eng. Aldérico teve de antecipar o retorno), aproveitaram a escala do voo e o tempo em terra para visita de algumas horas a um trecho do célebre Canal do Panamá.

O Eng. Aldérico procurou contratar um taxista para um passeio pela cidade do Panamá. O

taxista perguntou se havia um local de interesse específico, recebendo a resposta óbvia: “o Canal”. O motorista então retrucou: “*tu piensas que Panamá es sólo el Canal?* Quando ouviu de resposta “*muy bien*, me leva para conhecer a Base Militar Norteamericana” o motorista enfurecido o abandonou e o visitante teve de procurar outro taxi.

A esposa do Eng. Aldérico ligava regularmente para saber a data do retorno do marido, em decorrência de gravidez avançada. (Não havia internet e nem celular). Em um dos cafés da manhã, os colegas conversam sobre a noite mal dormida. O Eng. Aldérico então comenta que teve um sonho esquisito: sonhou que estava conversando em portunhol com alguém ao telefone, alguém que dizia para ele voltar logo, pois o parto da esposa iria se adiantar. O Geól. João Jeronimo responde: “meu amigo, você deve ter sonhado alto pra burro, pois eu escutei todo o seu sonho”.



Foto 1 - Passaporte do Geól. João Jeronimo.



Foto 2 - Os autores junto ao monumento da Linha do Equador, Quito.

### 3.2 Alertas antes da partida

Antes de sair de São Paulo, os autores foram alertados de que a Nicarágua vivia em dificuldades sociais e econômicas decorrentes da longa guerra contra a ditadura; que o abastecimento de coisas básicas era carente, desde papel higiênico a bebidas; que Manágua era uma região sísmica perigosa; que havia insegurança decorrente de grupos armados que lutavam contra o regime sandinista (denominados “*contras revolucionários*”, ou simplesmente “*Los contras*”).

Quanto aos tremores de terra, o hotel reservado aos viajantes tinha sido uma das poucas estruturas que resistiu ao terrível abalo de 1972. A preocupação se dirigiu, portanto, ao necessário abastecimento de bebidas, petiscos etc., o que foi feito no *free shopping* do aeroporto do Panamá.

Ao chegar a Manágua, na primeira ida ao amplo bar do hotel, notou-se os frequentadores

estrangeiros e locais, tomando um drink feito com suco de laranja, gelo e rum. A partir desse encontro com a realidade local, o estoque de bebidas serviu apenas para presentear os colegas nicaraguenses, pois a bebida preferida dos viajantes foi “*ron con jugo de naranja*”.

### 3.3 Diárias

Os dois viajantes chegaram em Managua em posse de dólares em papel moeda, liberados pela OLADE/CESP, para as despesas do hotel, refeições, transporte e eventualmente despesas médicas. Na época não havia cartão de crédito e muito menos a possibilidade de uso de cheque de viagem, o chamado *traveller check*, emitido por bancos estadunidenses, para troca por moeda local.

Ao saber do volume em dólares, os colegas nicaraguenses ficaram espantados e imediatamente aconselharam os brasileiros a deixarem

a pequena fortuna no cofre do Instituto Nicaraguense de Energia - INE, para “evitar surpresas desagradáveis”. Houve certo desconforto entre as partes, pois junto a isso vieram as informações de que os salários dos engenheiros locais eram da ordem de 50 dólares por mês, valor equivalente a uma diária do hotel onde se hospedaram os brasileiros.

### 3.4 Visita às obras dos túneis

A primeira ida a uma obra poucos se esqueceram: ao reclamar da alta velocidade do carro que nos levava, por uma estrada de terra cascalhada, fomos informados que aquela era uma região de presença dos “Contras”; a **velocidade mínima** teria de ser 80 km por hora (Fotos 3 e 4)!



Foto 3 - Encontro, na estrada, com um comboio militar.



Foto 4 - Almoço com colega nicaraguense no refeitório da obra.

### 3.5 Encontro com um Comandante Sandinista

Por meio de contatos iniciados ainda em São Paulo, e com intermediação de apoiadores locais do sandinismo, João Jerônimo foi convidado a um encontro (num bar sabe-se lá onde!) no início de uma noite, com um comandante sandinista, ainda combatente na ativa. Foram cerca de duas horas de conversas. O fato mais surpreendente, além do riquíssimo tema do bate papo, foi que o comandante somente adentrou ao local após varredura feita com militares fortemente armados. E não se tratava de um comandante, mas de **uma** comandante.

### 3.6 Visita turística

Em um domingo, os colegas da empresa nicaraguense de eletricidade, nos brindaram com um passeio a uma ilha turística. A melhor lembrança do passeio foi embarcar, na volta ao continente, com um grupo de adolescentes, que bebiam água e comiam goiabas verdes para acalmar os efeitos colaterais de drinks alcoólicos (Foto 5). Uma das várias experiências compartilhadas.



Foto 5 - Confraternização com jovens nicaraguenses.

### 3.7 Jantar de despedida

Os colegas da ENE gentilmente convidaram João Jerônimo para um jantar de despedida. Tudo ia a mil maravilhas até a entrada em cena de representantes da empreiteira da obra, até então au-

sentes de qualquer contato, se oferecendo a pagar as despesas. Ao manifestar a recusa em aceitar a oferta, e diante da insistência, não restou alternativa a não ser a de continuar a confraternização com os colegas nicaraguenses em outra mesa.



# 18°C BGE

## Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

**Eventos  
Extremos**  
e sua repercussão na  
Geologia de Engenharia  
e Ambiental

**17 a 21  
Agosto · 2025**

Minascentro  
Belo Horizonte - MG

# SÓCIOS PATROCINADORES DA ABGE



## SEJA SÓCIO DA ABGE ASSOCIADOS INDIVIDUAIS



TÍTULAR



ESTUDANTE

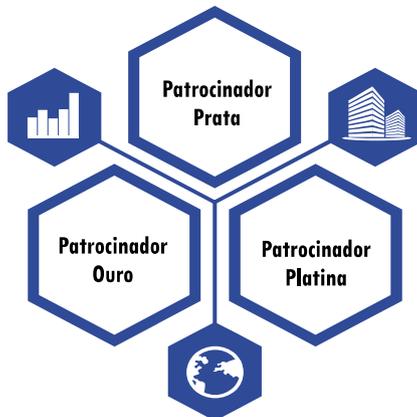


AFILIADO

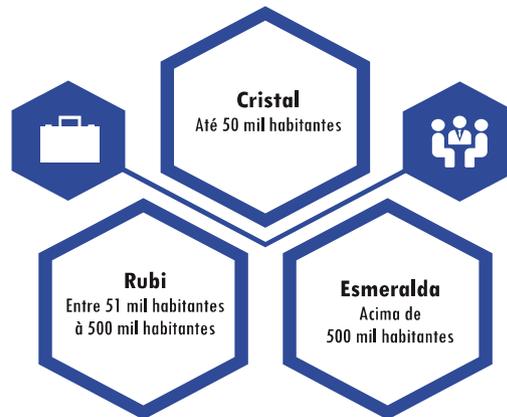


SÊNIOR E MASTER

### SÓCIOS PATROCINADORES EMPRESAS E ENTIDADES



### SÓCIOS PATROCINADORES COLETIVOS PREFEITURAS



## Vantagens do Sócio ABGE

- Recebe grátis todas as publicações editadas pela entidade durante o período de filiação;
- Recebe informações técnicas e acadêmicas/participa de network;
- Desconto em cursos e eventos promovidos pela ABGE e entidades parceiras.

A melhor relação entre custo e benefício de entidades tecnocientíficas.  
Previsão de distribuição de seis publicações no ano.  
Consulte os valores de nossa anuidade.

[www.abge.org.br/associe-se](http://www.abge.org.br/associe-se)



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE  
GEOLOGIA DE ENGENHARIA  
E AMBIENTAL