

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FABIANO NADOLNY MACHADO

BANCO DE DADOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS
APLICADO A ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS: IMPLEMENTAÇÃO
NO TÚNEL DE ADUÇÃO DA CENTRAL HIDRELÉTRICA CHAGLLA, PERU



CURITIBA

2015

FABIANO NADOLNY MACHADO

BANCO DE DADOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS
APLICADO A ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS: IMPLEMENTAÇÃO
NO TÚNEL DE ADUÇÃO DA CENTRAL HIDRELÉTRICA CHAGLLA, PERU

Trabalho de Conclusão de Curso referente à
disciplina GC-132, do curso de Graduação em
Geologia, Setor de Ciências da Terra da Universidade
Federal do Paraná

Orientadores: Dr. Alberto Pio Fiori
MSc Antonio Marrano

CURITIBA

2015

AGRADECIMENTOS

A Deus, por seu amor sempre atuante.

Aos orientadores, não somente pelas instruções acadêmicas, como pelo ilustre exemplo de vida e dedicação profissional.

À Intertechne Consultores S. A., por ter disponibilizado toda a estrutura necessária para que este projeto se realizasse.

À Odebrecht Perú Ingeniería y Construcción, na pessoa do engenheiro Carlos Lúcio Lopes Pinto, pela autorização à utilização dos dados de escavação do túnel de adução da Central Hidrelétrica Chaglla.

Ao colega geólogo Marcel de Andrea, por tão gentilmente compartilhar suas concepções e experiências acerca do projeto.

A Mariana, pelo amor e companheirismo ainda mais presente ao longo deste período.

A minha família, sustento e base sólida em todos os momentos.

Aos demais mestres e colegas, por todo o apoio e incentivo durante essa empreitada.

“Não sei o que possa parecer aos olhos do mundo, mas aos meus pareço apenas ter sido como um menino brincando à beira-mar, divertindo-me com o fato de encontrar de vez em quando um seixo mais liso ou uma concha mais bonita do que de costume, enquanto o grande oceano da verdade permanece completamente inexplorado à minha frente.”

Sir Isaac Newton (1642-1727)

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso objetivou descrever, aplicar e aprimorar o banco de dados geológico-geotécnicos derivado do mapeamento do maciço rochoso nas escavações subterrâneas ao longo do túnel de adução da Central Hidrelétrica Chaglla, no Peru. Com total de 5.584 relatórios individuais de avanço de escavação, a manutenção dos dados requereu um sistema ágil, confiável e organizado para a correta interpretação do andamento da obra e das condições geológico-geotécnicas dos maciços. Os resultados apresentados e analisados confirmam o banco de dados como método válido para armazenar, sistematizar e tratar estatisticamente informações advindas de escavações subterrâneas. Por fim, a variada gama de produtos auxiliares enriquece as possibilidades de utilização do banco de dados, enquanto seu contínuo desenvolvimento deverá garantir ainda mais a sua eficácia e aplicabilidade.

Palavras-Chave: Geologia de Engenharia. Banco de dados. Estatística. Classificação de maciços rochosos. Escavação subterrânea. Túnel.

ABSTRACT

This final paper aims at describing, applying and improving the geological-geotechnical database derived from the rock mass mapping in the underground excavations along the Chaglla Hidroelectric Power Plant headrace tunnel, in Peru. With a total of 5,584 individual reports, the data management required a fast, reliable and organized system in order to guarantee the correct interpretation of the excavation progress and the geological-geotechnical rock mass conditions. The presented and analyzed results certify the database as a valid method to store, systematize and statistically process underground excavation information. Finally, the varied range of auxiliary products enriches the database applications possibilities, while its continuous development shall further ensure its effectiveness and applicability.

Keywords: Engineering Geology. Database. Statistics. Rock mass classification. Underground excavation. Tunnel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	ELEMENTOS DE UMA CENTRAL HIDRELÉTRICA.....	18
FIGURA 2	LOCALIZAÇÃO DA OBRA.....	23
FIGURA 3	MODELO ILUSTRATIVO DA CH CHAGLLA.....	24
FIGURA 4	VALE DO RIO HUALLAGA, COM ASPECTO DA CONSTRUÇÃO	24
FIGURA 5	ASPECTO TÍPICO DE FRENTE DE ESCAVAÇÃO	25
FIGURA 6	FLUXOGRAMA DE DADOS NO SISTEMA.....	26
FIGURA 7	DETALHE DE RELATÓRIO DE ESCAVAÇÃO	28
FIGURA 8	PLANILHA CONTENDO OS DADOS PRIMÁRIOS	28
FIGURA 9	PROGRESSO MENSAL DAS ESCAVAÇÕES	31
FIGURA 10	PERFIL Q DO TÚNEL DE ADUÇÃO	33
FIGURA 11	PERFIL Q DAS FRENTE 1 E 1A DO TÚNEL DE ADUÇÃO.....	34
FIGURA 12	PROJEÇÃO DE TRECHO DO TÚNEL DE ADUÇÃO NO ARCGIS.....	35
FIGURA 13	PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA DE DESCONTINUIDADES	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	ANDAMENTO DAS ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS	30
TABELA 2	PROPORÇÃO DAS CLASSES DE MACIÇO	32

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

A	fator de alteração das descontinuidades
ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
ABMS	Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
abr.	abril
CH	central hidrelétrica
cfr.	confira
D&B	<i>drill and blast</i>
Dr.	doutor
ed.	edição
edit.	editores
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
<i>et al.</i>	<i>et alii</i>
F	fator de preenchimento das descontinuidades
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
GSI	<i>geological strength index</i>
Inc.	<i>Incorporated</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISRM	International Society for Rock Mechanics
km	quilômetro
J_a	índice de influência da alteração dos planos de descontinuidades
J_n	índice de influência do número de famílias de descontinuidades
J_r	índice de influência da rugosidade das descontinuidades
J_w	índice de influência da ação da água subterrânea
jun.	junho
jul.	julho
L	fator de persistência das descontinuidades
m	metro
mai.	maio
mar.	março

n.	número
MS	Microsoft
MSc	mestre
MW	megawatt
NGI	<i>Norwegian Geotechnical Institute</i>
Q	parâmetro Q de Barton
p.	página(s)
RQD	<i>rock quality designation</i>
S	fator de espaçamento das descontinuidades
S. A.	sociedade anônima
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SP	São Paulo
SRF	<i>stress reduction factor</i>
set.	setembro
T	fator de abertura das descontinuidades
UFPR	Universidade Federal do Paraná
USP	Universidade de São Paulo
VG	valoración geológica
W	fator de percolação de água pelas descontinuidades

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO	14
3 JUSTIFICATIVA	15
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1 BANCOS DE DADOS COM FINS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS	16
4.1.1 Características gerais.....	16
4.1.2 Alguns casos históricos.....	17
4.2 ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DE UMA CENTRAL HIDRELÉTRICA	18
4.3 CLASSIFICAÇÃO DOS MACIÇOS ROCHOSOS	19
4.4 O SISTEMA Q.....	19
4.4.1 Parâmetros descritivos.....	20
4.4.2 Vantagens da utilização do sistema	20
4.4.3 Classes de maciço e tratamentos de escavação	21
4.5 DESCRIÇÃO DE DESCONTINUIDADES	21
4.6 A CENTRAL HIDRELÉTRICA CHAGLLA.....	22
4.6.1 Aspectos da geologia regional	22
4.6.2 Arranjo geral da obra.....	23
5 MÉTODO	26
5.1 FLUXO DE INFORMAÇÕES.....	26
5.2 OBTENÇÃO DOS DADOS.....	27
5.3 COMPILAÇÃO DOS DADOS	29
5.4 TRATAMENTO DOS DADOS	29
6 RESULTADOS	30
6.1 ANDAMENTO DAS ESCAVAÇÕES.....	30
6.2 QUALIDADE DOS MACIÇOS ROCHOSOS.....	32
6.3 O PERFIL Q DAS ESCAVAÇÕES.....	33
6.4 PRODUTOS AUXILIARES GERADOS A PARTIR DO BANCO DE DADOS	34
6.4.1 Georreferenciamento das informações geológicas	34
6.4.2 Análise das descontinuidades dos maciços.....	35
7 DISCUSSÕES	37

7.1 ASPECTOS FAVORÁVEIS DO MÉTODO	37
7.1.1 Atualização em tempo real	37
7.1.2 Acessibilidade do software	37
7.1.3 Histórico de uso	38
7.1.4 Novidades em relação a outros modelos.....	38
7.2 LIMITAÇÕES DO MÉTODO.....	39
7.2.1 Ocorrência de erros.....	39
7.2.2 Conhecimento acerca do software	39
8 CONCLUSÕES	40
8.1 VALIDAÇÃO DO BANCO DE DADOS	40
8.2 FUTURO DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO	40
8.2.1 Ampliação da fonte de dados	40
8.2.2 Técnicas de Geoestatística	41
8.2.3 Técnicas de programação	41
8.2.4 Geração de modelo definitivo.....	41
REFERÊNCIAS	42
APÊNDICES	46

1 INTRODUÇÃO

Dentre as várias áreas de pesquisa e aplicação no campo das Geociências, a da Geologia de Engenharia constitui eminente exemplo de conhecimento interdisciplinar aplicado diretamente às necessidades infraestruturais da sociedade.

De modo mais específico, o domínio da Geologia de Barragens, em particular quando aplicado a aproveitamento hidrelétrico, responde à constante demanda energética inerente a qualquer sistema socioeconômico. Em sua essência, requer absoluto rigor técnico e científico, sempre associado às particularidades de cada obra e à dinâmica de seu desenvolvimento.

Assim, é imprescindível a associação de diversas áreas de conhecimento atinentes ao meio físico e às intervenções tecnológicas, conformando-se à finalidade primordial de contribuição à matriz energética da região de interesse. Neste contexto, todas as informações obtidas durante as fases de estudo e implantação de uma obra desempenham importante papel no bom andamento de seu projeto.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste em descrever, aplicar e aprimorar o banco de dados geológico-geotécnicos derivado do mapeamento de maciços rochosos em escavações subterrâneas.

Quanto à fonte de informações, utilizaram-se os dados das frentes escavadas ao longo do túnel de adução da Central Hidrelétrica Chaglla, no Peru, em que a utilização do banco de dados já se encontrava em andamento.

Como resultado, almeja-se expor os benefícios dos produtos gerados a partir do banco de dados e propor o método como válido a escavações subterrâneas em maciços rochosos que se utilizem dos mesmos parâmetros aqui descritos.

3 JUSTIFICATIVA

Por definição, um banco de dados é útil em caso de necessidade de armazenamento, consulta e organização de uma grande quantidade de informações individuais dispostas de forma dispersa, de modo a favorecer tratamentos estatísticos que possibilitem tecer inferências e interpretações em torno de um propósito específico.

A abertura do túnel de adução da Central Hidrelétrica Chaglla resultou em 5.584 avanços individuais de escavação mapeados (“afloramentos”), cada qual com respectivo relatório de levantamento geológico e classificação geológico-geotécnica.

Tamanha quantidade de informações é um dos fatores a sustentarem a criação e utilização de um banco de dados geológico-geotécnicos que forme um sistema ágil, confiável e organizado de interpretação e aplicação das informações.

Durante a execução de um projeto, várias são as questões a demandar atualização constante e prontidão de resposta, como o rendimento das escavações, a qualidade dos maciços rochosos, os tipos de tratamento, as descontinuidades geológicas, os custos totais e a previsão cronológica de andamento e conclusão da obra.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 BANCOS DE DADOS COM FINS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

4.1.1 Características gerais

A utilização sistemática de bancos de dados voltada para fins geológico-geotécnicos remonta ao final da década de 1960, consolidando-se nas duas décadas seguintes, com o estabelecimento dos sistemas de informação geográfica e de gerenciamento de banco de dados. Assim, a evolução do uso dos bancos de dados se deu na medida em que novos métodos e técnicas foram incorporados às demandas específicas envolvidas em cada projeto (ZUQUETTE, 1987).

Bastos e Zuquette (2005a) enumeram os elementos primordiais referentes aos bancos de dados geológico-geotécnicos, de acordo com suas técnicas e finalidades:

- a) baseiam-se em dados de diversas procedências, geralmente advindos de ensaios e descrições geológico-geotécnicos, além de demais fontes úteis ao tipo de aplicação desejado;
- b) utilizam softwares ou linguagens de programação capazes de incorporar e relacionar dados geológico-geotécnicos em meio digital, além de facilitar a organização, o armazenamento e a visualização dos dados;
- c) permitem o vínculo a Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que otimizam a manipulação e análise dos dados, podendo gerar cartas geotécnicas e demais produtos auxiliares.
- d) respondem às mais diversas demandas possíveis, enquanto a aplicação dos dados pode ser realizada de maneira integrada e dinâmica;
- e) caracterizam-se pela agilidade e confiabilidade de entradas e saídas de dados, possibilitando a geração instantânea dos resultados, com informações constantemente atualizadas em tempo real.

A ABGE reconhece o papel decisivo dos bancos de dados em obras de engenharia (CELESTINO, 1998) e recomenda enfaticamente sua utilização como procedimento padrão em campanhas de sondagens (MONTICELI, 2013).

4.1.2 Alguns casos históricos

Como exemplos de utilização de bancos de dados geológico-geotécnicos encontrados na literatura técnica, estão os casos a seguir.

Tognon e Pereira Jr. (1984) desenvolvem o software Perfil, que reúne dados de sondagens geotécnicas, preenche boletins de acompanhamento de sondagens e gera automaticamente perfis de sondagens.

Giles (1994) reconhece a importância da utilização de meios digitais para a compilação e integração de dados geotécnicos e expõe a criação, por parte da Associação de Especialistas Geotécnicos do Reino Unido, de uma linguagem de programação a ser utilizada comumente como forma de armazenamento e transferência de dados geotécnicos.

Serra Jr. *et al.* (1993) introduzem o software MACinfo, desenvolvido pela Divisão de Geologia do IPT-SP, por meio do qual arquivam-se de modo organizado informações de sondagens e ensaios geotécnicos, o que permite cálculos de parâmetros, caracterização e classificação de maciços rochosos e terrosos, além da geração de perfis e relatórios geotécnicos automatizados, como os apresentados por Iyomasa *et al.* (1996).

Diniz *et al.* (1996) partem da elaboração de bancos de dados de sondagens na mina de Salobo, em Carajás-PA, para a realização de análises geoestatísticas das classes dos maciços rochosos em função do parâmetro Q de Barton. Como principais produtos, têm-se semivariogramas e mapas de krigagem ordinária relativos aos valores de Q.

Silva e Marques (2005) apresentam o software ROCKMEC, desenvolvido em linguagem Delphi, criado com o fim de agrupar dados de descrições e sondagens geotécnicas e automatizar a classificação de maciços rochosos.

Bastos e Zuquette (2005b) apresentam a estruturação do banco de dados geológico-geotécnico a partir do mapeamento geotécnico em escala 1:50.000 aplicado em Ribeirão Preto-SP, utilizando o software Spring 4.0, desenvolvido pelo INPE, e um aplicativo desenvolvido em linguagem Visual Basic, da Microsoft.

D'Alessandro (2006) propõe um método de mapeamento geológico-geotécnico aplicado à Mina Casa de Pedra, em Congonhas-MG, baseado na coleta e organização de dados geotécnicos associados a mapas geológicos, de modo a obter a classificação dos maciços rochosos e promover a retroanálise das classes obtidas.

4.2 ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DE UMA CENTRAL HIDRELÉTRICA

Para a compreensão terminológica e funcional dos elementos aqui tratados, faz-se necessária a apresentação esquemática e simplificada dos componentes genéricos de uma barragem para aproveitamento hidrelétrico (FIGURA 1). Logicamente, um esquema completo e detalhado englobaria um extenso elenco de estruturas, cada qual com suas propriedades e pormenores técnicos.

O túnel de adução, elemento abordado deste trabalho, é o componente responsável por conduzir a água captada do reservatório até a casa de força, cuja distância pode variar significativamente, a depender do arranjo geral da obra.

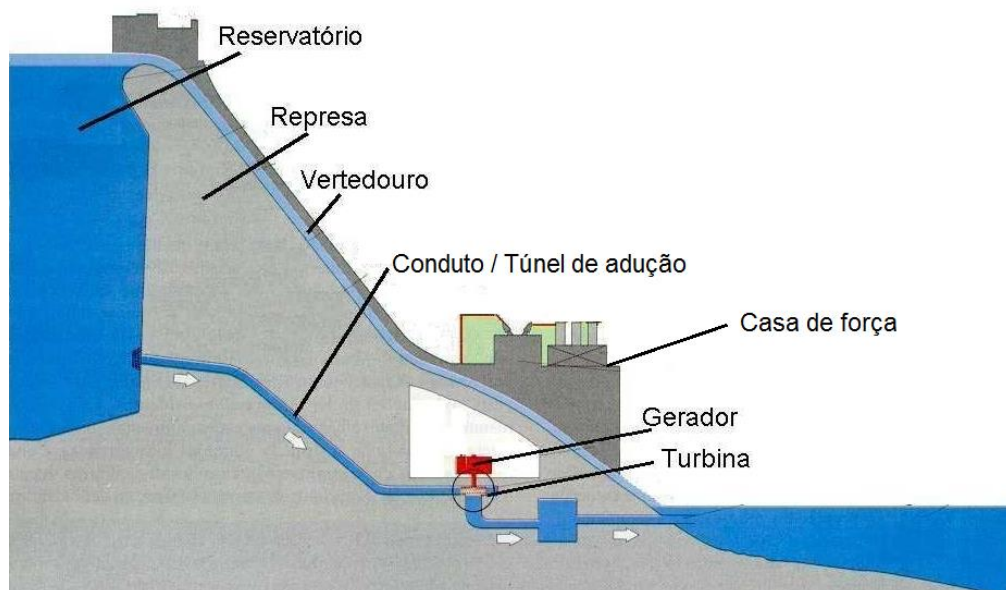


FIGURA 1 – ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DE UMA CENTRAL HIDRELÉTRICA
FONTE: GONÇALVES (2007) Modificada

4.3 CLASSIFICAÇÃO DOS MACIÇOS ROCHOSOS

O processo de implantação de uma central hidrelétrica exige, durante todas as etapas do projeto, o maior rigor e detalhamento possível na descrição de todas as características do meio físico que venham a influenciar direta ou indiretamente no empreendimento.

Realizados os estudos preliminares e definido o arranjo geral, inicia-se a fase de construção da obra. É quando entra em ação o chamado “projeto executivo”, em que há o aprofundamento dos estudos até então realizados, com o assíduo acompanhamento da obra, além da realização de ensaios e descrições *in situ* (MARQUES FILHO, 2008; COSTA, 2012).

Nesta fase do projeto, a classificação geológico-geotécnica dos maciços rochosos é de fundamental importância, uma vez que implica inferências quanto ao andamento da obra, a procedimentos técnicos a serem realizados, além das estimativas de custo e tempo de execução da obra.

Para tanto, faz-se necessária a determinação de um sistema de classificação específico, cujos resultados reflitam as reais condições dos maciços e possam ser relacionados a demais casos descritos sob as mesmas circunstâncias. Tais resultados são traduzidos na forma de índices, como é o caso do RMR (BIENIAWSKI 1989), o GSI (HOEK 2005) e o Q (BARTON 1974).

4.4 O SISTEMA Q

Proposto por Barton *et al.* (1974) junto ao Instituto Geotécnico da Noruega, baseando-se empiricamente na retroanálise de centenas de casos históricos de escavações subterrâneas, o sistema Q fundamenta-se em um índice logarítmico que busca traduzir as condições geomecânicas de um maciço rochoso. Quanto maiores os valores de Q, melhores as condições do maciço.

Para tal, consideram-se seis parâmetros que, convenientemente associados, determinam o índice Q, segundo a seguinte equação (NGI, 2013):

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

4.4.1 Parâmetros descritivos

Os parâmetros definem-se, resumidamente, da seguinte forma (MONTICELI *et al.*, 2013):

- a) RQD – *rock quality designation* (DEER 1964 *apud* SINGH, 1999), reflete o percentual de quantidade de rocha intacta maior do que 10 cm em um maciço
- b) J_n – índice de influência do número de famílias de descontinuidades
- c) J_r – índice de influência da rugosidade das descontinuidades
- d) J_a – índice de influência da alteração dos planos de descontinuidades
- e) J_w – índice de influência da ação da água subterrânea
- f) SRF – índice de influência do estado de tensões do maciço

Por meio de tabelas referenciais (APÊNDICE 5), definem-se valores numéricos que melhor representem os itens observados e resultem em um índice Q adequado à caracterização do maciço descrito.

4.4.2 Vantagens da utilização do sistema

Em seus mais de quarenta anos de utilização, o sistema Q demonstra sua eficácia pelo extenso portfólio de casos aplicados, por meio do qual houve o conhecimento de seus pontos fortes e fracos. A criação de um parâmetro comum capaz de homogeneizar a classificação de maciços rochosos em obras diversas facilita a comunicação e a troca de experiências, além de possibilitar a correlação relativa do método a demais sistemas historicamente consagrados (BIENIAWSKI, 1989; SERRA JR. *et al.*, 2008).

Outro ponto favorável é a interpretação qualitativa dos termos da equação (GOMES, 1991; MONTICELI *et al.*, 2013), que traduzem características geológico-geotécnicas importantes: o tamanho dos blocos (RQD/J_n), a resistência ao cisalhamento ao longo das superfícies das descontinuidades (J_r/J_a) e as tensões atuantes *in situ* (J_w/SRF).

4.4.3 Classes de maciço e tratamentos de escavação

A análise global do índice Q permite o estabelecimento de classes de maciço, cujos limites são definidos a partir de fatores de conversão e das peculiaridades inerentes a cada obra.

Além de auxiliar na compreensão geral da situação geológico-geotécnica de uma área, o estabelecimento de classes de maciço em escavações subterrâneas facilita a definição do tipo de tratamento a ser realizado em cada avanço (APÊNDICE 2; HOEK, 1995).

4.5 DESCRIÇÃO DE DESCONTINUIDADES

A avaliação de maciços rochosos pressupõe a descrição das descontinuidades presentes ao longo dos mesmos, visto que constituem informações geológico-geotécnicas importantes, por exemplo, na análise da estabilidade de taludes.

Os principais critérios descritivos de descontinuidades (ISRM 1983) resumem-se em:

- a) Espaçamento (S) – distância perpendicular entre descontinuidades adjacentes
- b) Persistência (L) – extensão do traço de uma descontinuidade observável em afloramento

- c) Abertura (T) – distância perpendicular entre as paredes de uma descontinuidade
- d) Rugosidade (R) – grau de irregularidade geométrica das paredes de uma descontinuidade
- e) Preenchimento (F) – tipo de material presente entre as paredes de uma descontinuidade
- f) Alteração (A) – grau de intemperismo das paredes da descontinuidade
- g) Percolação de água (W) – fluxo de água e umidade livre visíveis

4.6 A CENTRAL HIDRELÉTRICA CHAGLLA

A CH Chaglla, com geração estimada em 450 MW de energia, situa-se no rio Huallaga (FIGURA 2), entre os distritos de Chaglla e Chinchao, no departamento de Huánuco, no Peru. Compreende, além dos cerca de 50 km² de área de influência direta, as várias estruturas acessórias e secundárias, como é o caso dos mais de 40 km de estradas de acesso, reservatório e linhas de transmissão de energia, dentre outras (INTERTECHNE CONSULTORES S. A., 2015).

4.6.1 Aspectos da geologia regional

Geologicamente, a área do projeto (APÊNDICE 1) corresponde às rochas carbonáticas do Grupo Pucará, depositadas entre o Neotriássico e o Eojurássico, cujas características mineralógicas, texturais e estruturais, fortemente influenciadas pela tectônica andina, representam fator geológico importantíssimo a considerar-se em todos os estágios da obra (MARRANO, 2015; CHAUDHARY, 2015; INTERTECHNE CONSULTORES S. A., 2010).

Do ponto de vista geomorfológico, a Cordilheira Oriental Andina se caracteriza pela ocorrência de vales muito íngremes e encaixados (FIGURAS 3 e 4), o que justifica a utilização majoritária de túneis como elementos funcionais da barragem.

4.6.2 Arranjo geral da obra

O caso da CH Chaglla se destaca pela expressiva quantidade de escavações subterrâneas em rocha, que totalizam mais de 25 km lineares de escavação.

O túnel de adução, com seção de escavação do tipo arco-ferradura com 8 metros de altura (FIGURA 5; APÊNDICE 2) e 14.380 m de extensão (APÊNDICE 3), foi escavado entre agosto de 2012 e março de 2015, por meio de 5 janelas de acesso, totalizando 10 frentes simultâneas de escavação, operando 24 horas por dia. Os 5.584 avanços individuais de escavação se deram em progresso médio de 2,6 m a cada avanço que, distribuídos ao longo dos 951 dias, resultaram na média de 15 m escavados por dia.

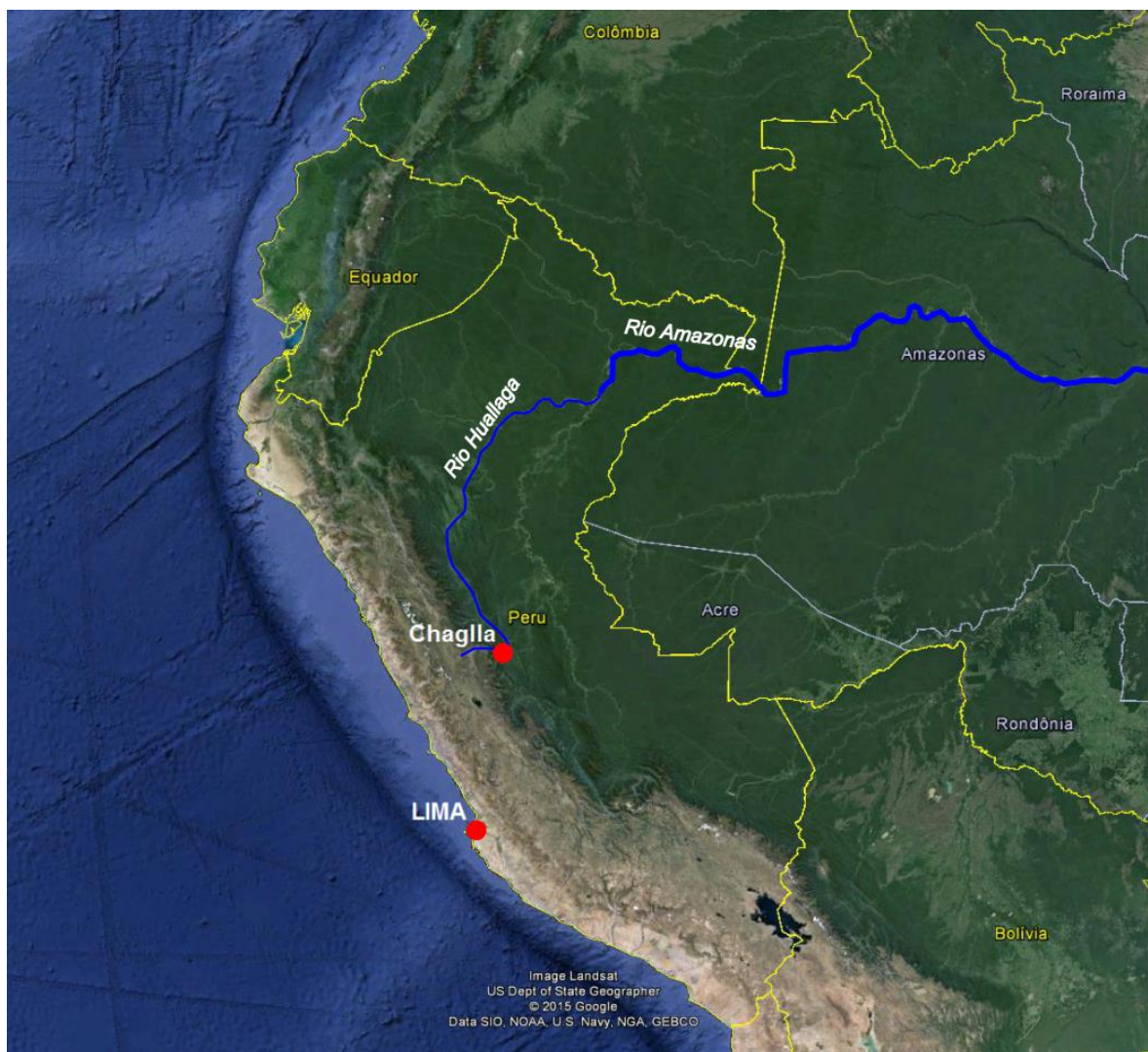


FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DA OBRA
FONTE: GOOGLE EARTH (2015) Modificada

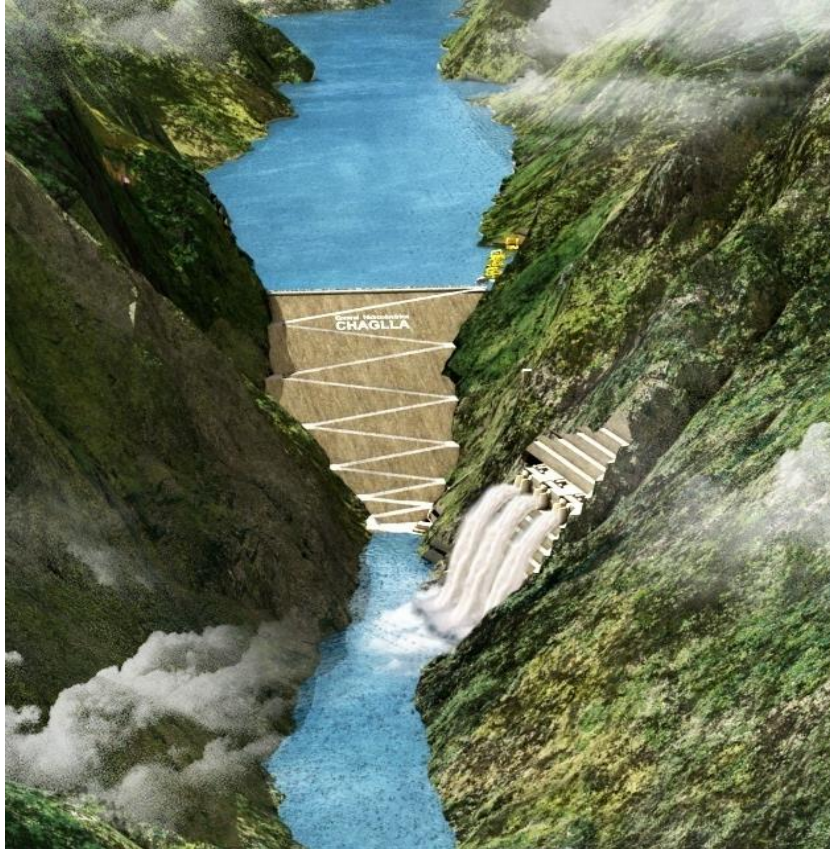


FIGURA 3 – MODELO ILUSTRATIVO DA CH CHAGLLA
FONTE: ODEBRECHT S. A. (2013)



FIGURA 4 – VALE DO RIO HUALLAGA, COM ASPECTO DA CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM
FONTE: ODEBRECHT S. A. (2013)



FIGURA 5 – ASPECTO TÍPICO DE FRENTE DE ESCAVAÇÃO DO TÚNEL DE ADUÇÃO
FONTE: ODEBRECHT S. A. (2013)

5 MÉTODO

5.1 FLUXO DE INFORMAÇÕES

A dinâmica da transmissão de dados durante o andamento da obra se comporta como uma constante troca de informações entre o trabalho de campo e o processamento em escritório, como é representado no fluxograma a seguir (FIGURA 6). Verifica-se a interdependência entre as informações, de modo que o material enviado do campo é processado pelo escritório e retorna em forma de relatório de acompanhamento da obra, útil na orientação do progresso das escavações.

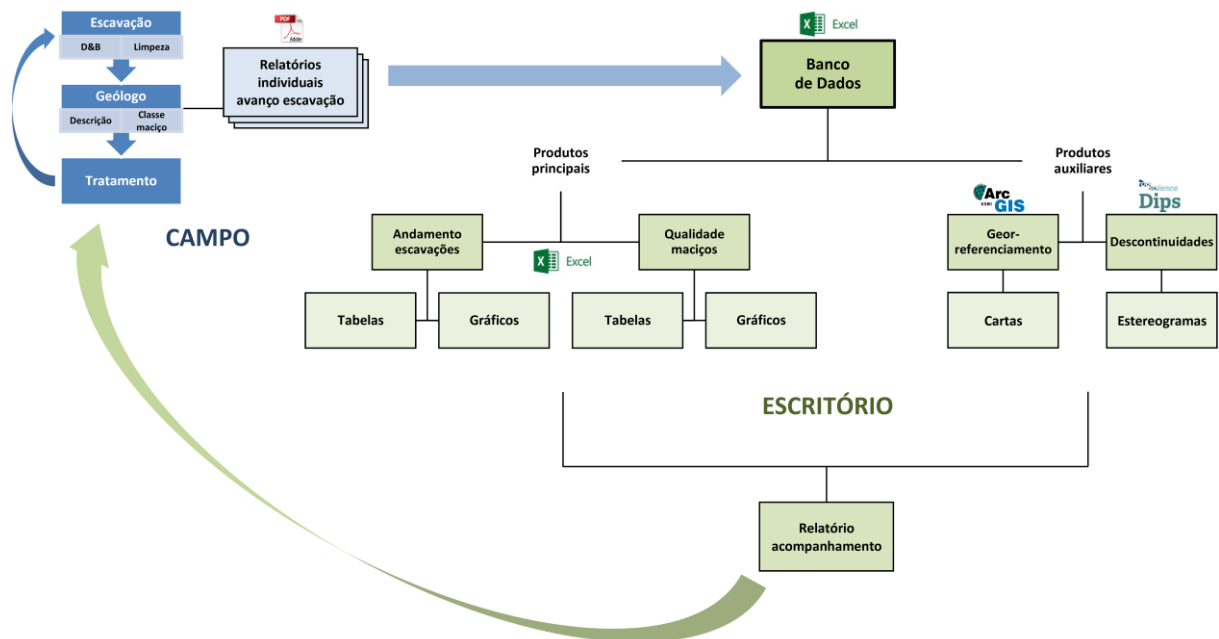


FIGURA 6 – FLUXOGRAMA DA GERAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE DADOS NO SISTEMA
 FONTE: O autor.

5.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

A obtenção dos dados geológico-geotécnicos ocorre durante o próprio processo de escavação do túnel, que utiliza a técnica conhecida como D&B – *drill and blast*, notória por sua viabilidade econômica, larga aplicabilidade e extensividade de uso (GERALDI, 2011). Várias perfurações são executadas na frente do maciço, as quais são convenientemente preenchidas com explosivos a serem detonados (OYENUGA, 2004).

Efetuada a abertura e consolidação da escavação, é feita a descrição geológico-geotécnica do maciço rochoso exposto, transcrevendo os dados obtidos em relatórios individuais de avanço de escavação (FIGURA 7; APÊNDICE 4), os quais constam de todas as informações necessárias ao adequado posicionamento e interpretação das informações obtidas em campo.

Dentre tais dados, estão o valor do índice Q e seus parâmetros (RQD, J_n , J_r , J_a , J_w e SRF), a descrição litológica do maciço, as atitudes e descrições das descontinuidades observadas e uma fotografia esquemática. No próprio relatório, o maciço recebe a qualificação por classes (I a V), orientações quanto ao tratamento a ser aplicado e eventuais observações de caráter geológico-geotécnico. O código da frente de escavação, o valor das estacas inicial e final do trecho escavado e a data e hora do procedimento garantem a localização dos dados no espaço e no cronograma da obra. Os parâmetros de Q e da descrição das descontinuidades, assim como as definições das classes de maciço, seguem tabelas padrão de cada método (APÊNDICES 4 e 5).

Os relatórios de campo são agrupados em 30 a 40 unidades e enviados ao escritório semanalmente, por e-mail, em formato digital, a fim de serem catalogados e interpretados.

- 1 - frente de escavação
- 2 - código do relatório
- 3 - data
- 4 - estaqueamento inicial
- 5 - estaqueamento final
- 6 - valor do índice Q
- 7 - valor do GSI
- 8 - classe de maciço
- 9 - parâmetros de Q
- 10 - identificação e atitudes das famílias de descontinuidades
- 11 - parâmetros de descrição das descontinuidades

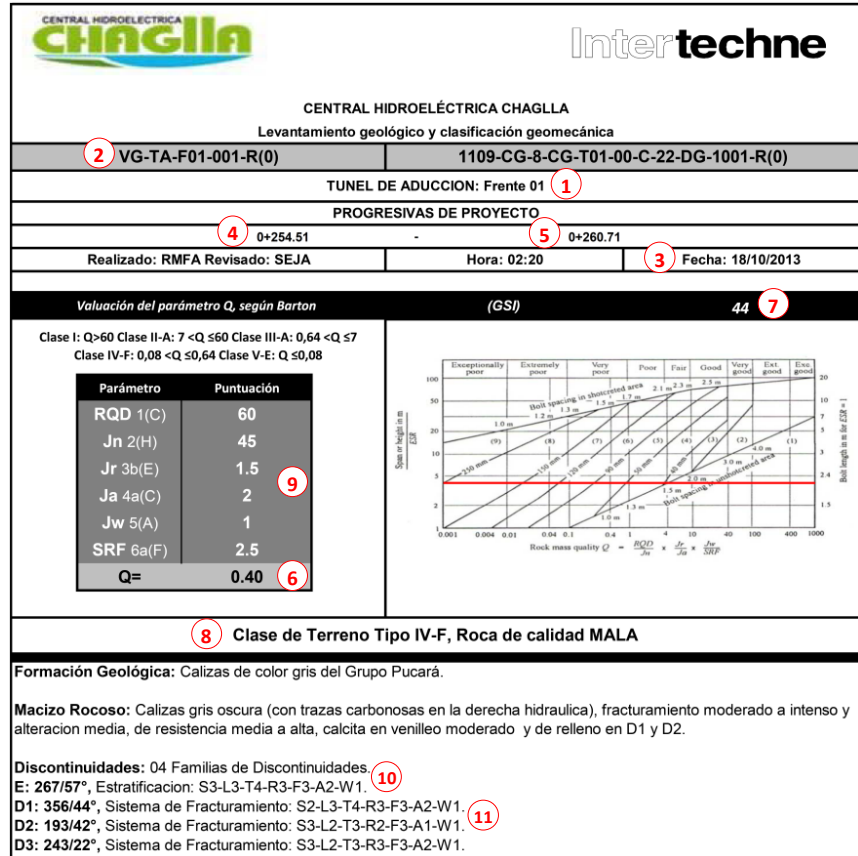


FIGURA 7 – DETALHE DE RELATÓRIO INDIVIDUAL DE AVANÇO DE ESCAVAÇÃO CONTENDO OS ITENS A SEREM INCORPORADOS AO BANCO DE DADOS (cfr. APÊNDICE 4). FONTE: INTERTECHNE CONSULTORES S. A. (2015)

FIGURA 8 – PLANILHA CONTENDO OS DADOS DE BASE OBTIDOS A PARTIR DOS RELATÓRIOS INDIVIDUAIS DE AVANÇO DE ESCAVAÇÃO. FONTE: INTERTECHNE CONSULTORES S. A. (2015)

5.3 COMPILAÇÃO DOS DADOS

Recebidos os relatórios, os dados são extraídos e transcritos sequencialmente em planilhas de formato MS Excel, de acordo com a ordem de escavação e a metragem progressiva de cada frente escavada (FIGURA 8), processo que dura pouco mais de uma hora, entre a incorporação e a revisão das informações. Estes são os dados de base, a partir dos quais se realizam os tratamentos estatísticos.

5.4 TRATAMENTO DOS DADOS

Feita a catalogação dos itens, os demais procedimentos se realizam automaticamente, visto que as ferramentas de vínculos e fórmulas presentes no Excel permitem o agrupamento, a soma e a projeção dos dados oriundos de uma mesma planilha original.

Um dos procedimentos adotados realiza a soma da quantidade total dos avanços cadastrados, comparando-os com a metragem total prevista para o túnel, definindo, assim, o progresso relativo das escavações.

Outras fórmulas e associações permitem agrupar os dados dos relatórios segundo seus valores de Q, permitindo a separação e quantificação das classes de maciço ao longo do túnel.

São procedimentos estatísticos relativamente simples que, usados integradamente, produzem resultados de grande robustez e significância.

6 RESULTADOS

6.1 ANDAMENTO DAS ESCAVAÇÕES

O primeiro produto gerado com base nos tratamentos estatísticos é a tabela que reflete o andamento das escavações do túnel de adução, com metragem prevista e executada, além do respectivo percentual já realizado (TABELA 1).

**TÚNEL DE ADUCCIÓN
AVANCE DE LAS EXCAVACIONES HASTA EL 13/09/14**

	Inicio de la excavación	Previsto (m)	Ejecutado (m)	%
Frente 1	18/10/2013	1.543,90	1.345,21	87%
Frente 1A	20/10/2013	142,30	135,21	95%
Frente 2	02/08/2012	2.550,00	2.458,64	96%
Frente 3	02/08/2012	2.927,80	2.927,76	100%
Frente 4	18/12/2012	1.853,10	1.562,85	84%
Frente 5	24/01/2013	1.696,00	1.421,32	84%
Frente 6	19/09/2013	1.268,90	984,24	78%
Frente 7	27/08/2013	366,10	302,32	83%
Frente 8A	22/01/2013	1.713,70	1.654,87	97%
Frente 8B	30/01/2013	319,20	315,50	99%
Frente 8	29/01/2013			
TOTAL		14.381,00	13.107,92	91%

TABELA 1 – ANDAMENTO DAS ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS
FONTE: INTERTECHNE CONSULTORES S. A. (2014)

O cálculo automático do montante mensal escavado permite a geração de gráficos representativos do progresso de escavação, os quais comparam o andamento real à previsão do cronograma original da obra. Ao mesmo tempo, estabelecem a estimativa da conclusão e futuro andamento das operações (FIGURA 9).

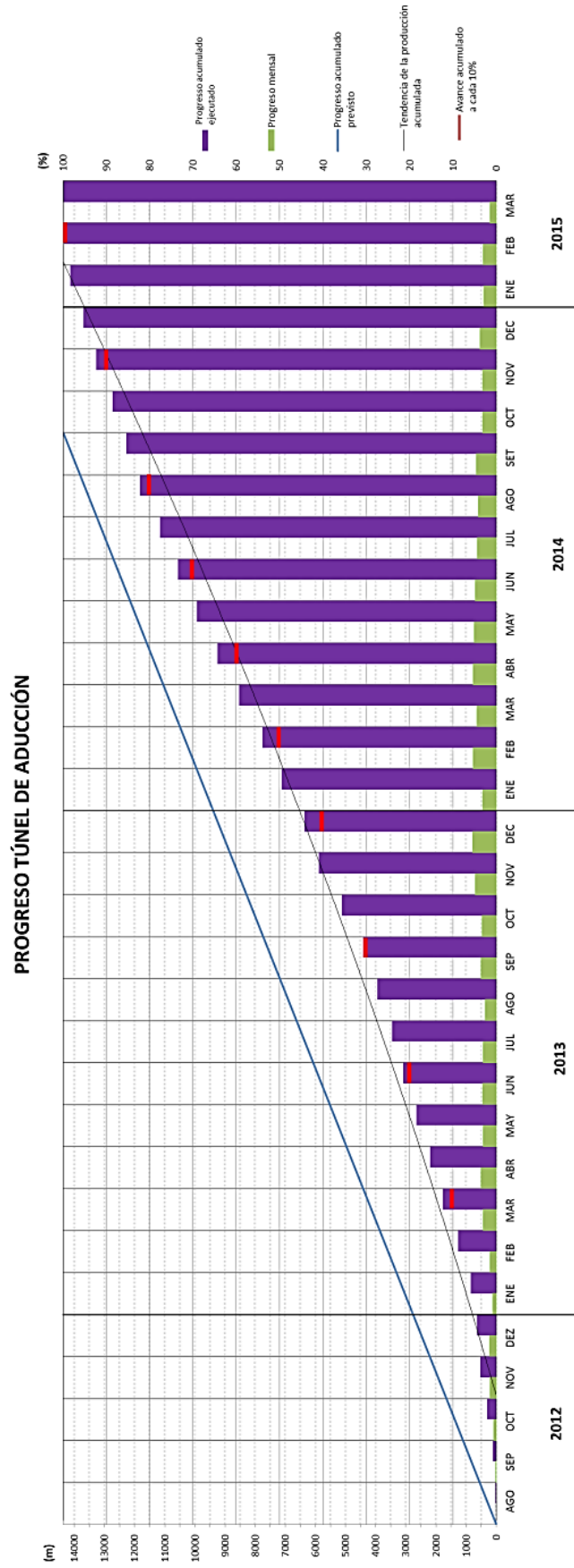


FIGURA 9 – PROGRESO MENSAL DAS ESCAVAÇÕES
 FONTE: INTERTECHNE CONSULTORES S. A. (2015)

6.2 QUALIDADE DOS MACIÇOS ROCHOSOS

Demais quadros são automaticamente calculados com base na classificação geomecânica dos maciços rochosos, indicando a proporção de cada classe em relação ao total escavado (TABELA 2).

TUNEL DE ADUCCION - CLASE DE MACIZO				
Q	CLASE I	60	< Q	
	CLASE II	7	< Q ≤ 60	60
	CLASE III	0,64	< Q ≤ 7	7
	CLASE IV	0,08	< Q ≤ 0,64	0,64
	CLASE V		Q ≤ 0,08	0,08
TOTAL (m)				14.380,88
EXCAVADO (m)(%)		14.380,88	100%	
03.06.14				

CLASE	EJECUTADO (m)	EJECUTADO (%)	PRONOSTICO
I	0	0%	0%
II	358,395	2%	13%
III	7637,67	53%	47%
IV	4408,21	31%	31%
V	1976,6	14%	9%
TOTAL	14.380,88	100%	100%

FRETE 1 - TUNEL DE ADUCCION - CLASE DE MACIZO				
Q	CLASE I	60	< Q	
	CLASE II	7	< Q ≤ 60	60
	CLASE III	0,64	< Q ≤ 7	7
	CLASE IV	0,08	< Q ≤ 0,64	0,64
	CLASE V		Q ≤ 0,08	0,08
TOTAL (m)				1.543,90
EXCAVADO (m)(%)		1543,9	100%	
26.01.15				

FRETE 01 (0+254,51 - 1+798,4)				
CLASE	EJECUTADO (m)	EJECUTADO (%)	PRONOSTICO	
I	0	0%	0%	
II	3	0%	12%	
III	964,4	63%	45%	
IV	500,7	32%	31%	
V	75,8	5%	12%	
TOTAL	1543,9	100%	100%	

FRETE 6 - TUNEL DE ADUCCION - CLASE DE MACIZO				
Q	CLASE I	60	< Q	
	CLASE II	7	< Q ≤ 60	60
	CLASE III	0,64	< Q ≤ 7	7
	CLASE IV	0,08	< Q ≤ 0,64	0,64
	CLASE V		Q ≤ 0,08	0,08
TOTAL (m)				1268,90
EXCAVADO (m)(%)		1268,9	100%	
02.08.14				

FRETE 06 (10+900,41 - 12+085,6)				
CLASE	EJECUTADO (m)	EJECUTADO (%)	PRONOSTICO	
I	0	0%	0%	
II	15,4	1%	12%	
III	827,17	65%	45%	
IV	335,13	26%	31%	
V	91,2	8%	6%	
TOTAL	1268,9	100%	100%	

FRETE 1A - TUNEL DE ADUCCION - CLASE DE MACIZO				
Q	CLASE I	60	< Q	
	CLASE II	7	< Q ≤ 60	60
	CLASE III	0,64	< Q ≤ 7	7
	CLASE IV	0,08	< Q ≤ 0,64	0,64
	CLASE V		Q ≤ 0,08	0,08
TOTAL (m)				142,30
EXCAVADO (m)(%)		142,31	100%	
07.01.15				

FRETE 01A (0+112,2 - 0+264,51)				
CLASE	EJECUTADO (m)	EJECUTADO (%)	PRONOSTICO	
I	0	0%	0%	
II	0	0%	12%	
III	63,9	45%	45%	
IV	62,61	44%	31%	
V	15,8	11%	12%	
TOTAL	142,31	100%	100%	

FRETE 7 - TUNEL DE ADUCCION - CLASE DE MACIZO				
Q	CLASE I	60	< Q	
	CLASE II	7	< Q ≤ 60	60
	CLASE III	0,64	< Q ≤ 7	7
	CLASE IV	0,08	< Q ≤ 0,64	0,64
	CLASE V		Q ≤ 0,08	0,08
TOTAL (m)				366,06
EXCAVADO (m)(%)		366,06	100%	
07.02.14				

FRETE 07 (12+085,60 - 13+451,60)				
CLASE	EJECUTADO (m)	EJECUTADO (%)	PRONOSTICO	
I	0	0%	0%	
II	35,7	10%	12%	
III	230,3	63%	45%	
IV	83,66	23%	31%	
V	16,4	4%	6%	
TOTAL	366,06	100%	100%	

FRETE 2 - TUNEL DE ADUCCION - CLASE DE MACIZO				
Q	CLASE I	60	< Q	
	CLASE II	7	< Q ≤ 60	60
	CLASE III	0,64	< Q ≤ 7	7
	CLASE IV	0,08	< Q ≤ 0,64	0,64
	CLASE V		Q ≤ 0,08	0,08
TOTAL (m)				2.550,00
EXCAVADO (m)(%)		2549,98	100%	
12.03.15				

FRETE 02 (1+798,4 - 4+343,86)				
CLASE	EJECUTADO (m)	EJECUTADO (%)	PRONOSTICO	
I	0	0%	0%	
II	3,5	0%	12%	
III	937,4	36%	45%	
IV	930,88	37%	31%	
V	678,2	27%	12%	
TOTAL	2549,98	100%	100%	

FRETE 8A - TUNEL DE ADUCCION - CLASE DE MACIZO				
Q	CLASE I	60	< Q	
	CLASE II	7	< Q ≤ 60	60
	CLASE III	0,64	< Q ≤ 7	7
	CLASE IV	0,08	< Q ≤ 0,64	0,64
	CLASE V		Q ≤ 0,08	0,08
TOTAL (m)				1713,695
EXCAVADO (m)(%)		1713,695	100%	
23.04.14				

FRETE 08A (12+451,6 - 14+363,34)				
CLASE	EJECUTADO (m)	EJECUTADO (%)	PRONOSTICO	
I	0	0%	0%	
II	240,395	14%	12%	
III	964,03	56%	45%	
IV	374,77	22%	31%	
V	104,5	6%	6%	
TOTAL	1713,695	100%	100%	

FRETE 3 - TUNEL DE ADUCCION - CLASE DE MACIZO				
Q	CLASE I	60	< Q	
	CLASE II	7	< Q ≤ 60	60
	CLASE III	0,64	< Q ≤ 7	7
	CLASE IV	0,08	< Q ≤ 0,64	0,64
	CLASE V		Q ≤ 0,08	0,08
TOTAL (m)				2.927,80
EXCAVADO (m)(%)		2827,76	100%	
17.01.15				

FRETE 03 (4+343,86 - 7+270,7)				
CLASE	EJECUTADO (m)	EJECUTADO (%)	PRONOSTICO	
I	0	0%	0%	
II	60,4	2%	12%	
III	1682,8	58%	45%	
IV	921,46	31%	31%	
V	263,1	9%	12%	
TOTAL	2927,76	100%	100%	

FRETE 8B Y 8 - TUNEL DE ADUCCION - CLASE DE MACIZO				
Q	CLASE I	60	< Q	
	CLASE II	7	< Q ≤ 60	60
	CLASE III	0,64	< Q ≤ 7	7
	CLASE IV	0,08	< Q ≤ 0,64	0,64
	CLASE V		Q ≤ 0,08	0,08
TOTAL (m)				319,19
EXCAVADO (m)(%)		319,19	100%	
17.04.13				

FRETE 03B (7+270,7 - 9+130,51)				
CLASE	EJECUTADO (m)	EJECUTADO (%)	PRONOSTICO	
I	0	0%	0%	
II	0	0%	12%	
III	732,28	39%	45%	
IV	626,01	34%	31%	
V	494,8	27%	12%	
TOTAL	1853,09	100%	100%	

FRETE 4 - TUNEL DE ADUCCION - CLASE DE MACIZO				
Q	CLASE I	60	< Q	
	CLASE II	7	< Q ≤ 60	60
	CLASE III	0,64	< Q ≤ 7	7
	CLASE IV	0,08	< Q ≤ 0,64	0,64
	CLASE V		Q ≤ 0,08	0,08
TOTAL (m)				1.853,10
EXCAVADO (m)(%)		1853,09	100%	
20.02.15				

FRETE 04 (9+130,51 - 11+270,7)				
CLASE	EJECUTADO (m)	EJECUTADO (%)	PRONOSTICO	
I	0	0%	0%	
II	0	0%	12%	
III	732,28	39%	45%	
IV	626,01	34%	31%	
V	494,8	27%	12%	
TOTAL	1853,09	100%	100%	

FRETE 5 - TUNEL DE ADUCCION - CLASE DE MACIZO				
Q	CLASE I	60	< Q	
	CLASE II	7	< Q ≤ 60	60
	CLASE III	0,64	< Q ≤ 7	7
	CLASE IV	0,08	< Q ≤ 0,64	0,64
	CLASE V		Q ≤ 0,08	0,08
TOTAL (m)				1.696,12
EXCAVADO (m)(%)		1695,99	100%	
12.09.14				

FRETE 05 (11+270,7 - 14+900,41)				
CLASE	EJECUTADO (m)	EJECUTADO (%)	PRONOSTICO	
I	0	0%	0%	
II	0	0%	12%	
III	926,8	55%	45%	
IV	545,99	32%	31%	
V	223,2	13%	12%	
TOTAL	1695,99	100%	100%	

FRETE DEL TUNEL	
LÍMITES DE CLASIFICACIÓN GEOMECAÍNICA	PROPORCIONES MÉTRICAS E PORCENTUALES DE LAS CLASES
PROGRESO TOTAL DE EXCAVACIÓN	
Data última excavación	

TABELA 2 – PROPORÇÃO DAS CLASSES DE MACIÇO REFERENTES AO TUNEL DE ADUCCION
 FONTE: INTERTECHNE CONSULTORES S. A. (2015)

6.3 O PERFIL Q DAS ESCAVAÇÕES

Outra contribuição do sistema é a geração de gráficos cujo eixo horizontal representa a extensão longitudinal do túnel, em metros, e o eixo vertical, em escala logarítmica, corresponde ao valor de Q referente a cada avanço de escavação. O aspecto geral do gráfico, dividido segundo as classes de maciço, permite a avaliação global e visual das condições do maciço rochoso. Em um único panorama, respeita-se a singularidade de cada informação e representa-se, com sucesso, a disposição espacial dos dados e sua progressão relativa.

Da mesma forma que os casos anteriores, tal avaliação pode ser realizada tanto no túnel como um todo (FIGURA 10) como em suas frentes específicas (FIGURA 11).

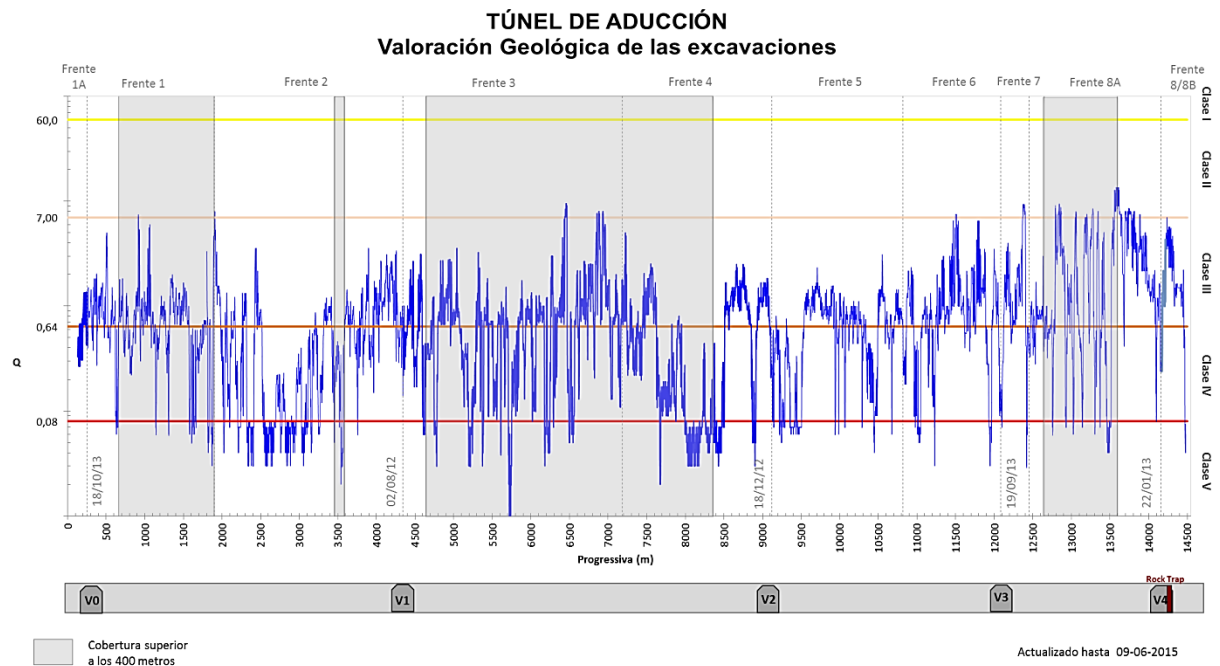


FIGURA 10 – PERFIL Q DO TÚNEL DE ADUÇÃO, COM INDICAÇÃO DAS JANELAS, POSIÇÃO E DATA DE ABERTURA DAS FRENTES DE ESCAVAÇÃO E COBERTURA DE ROCHA ACIMA DE 400 METROS

FONTE: INTERTECHNE CONSULTORES S. A. (2015)

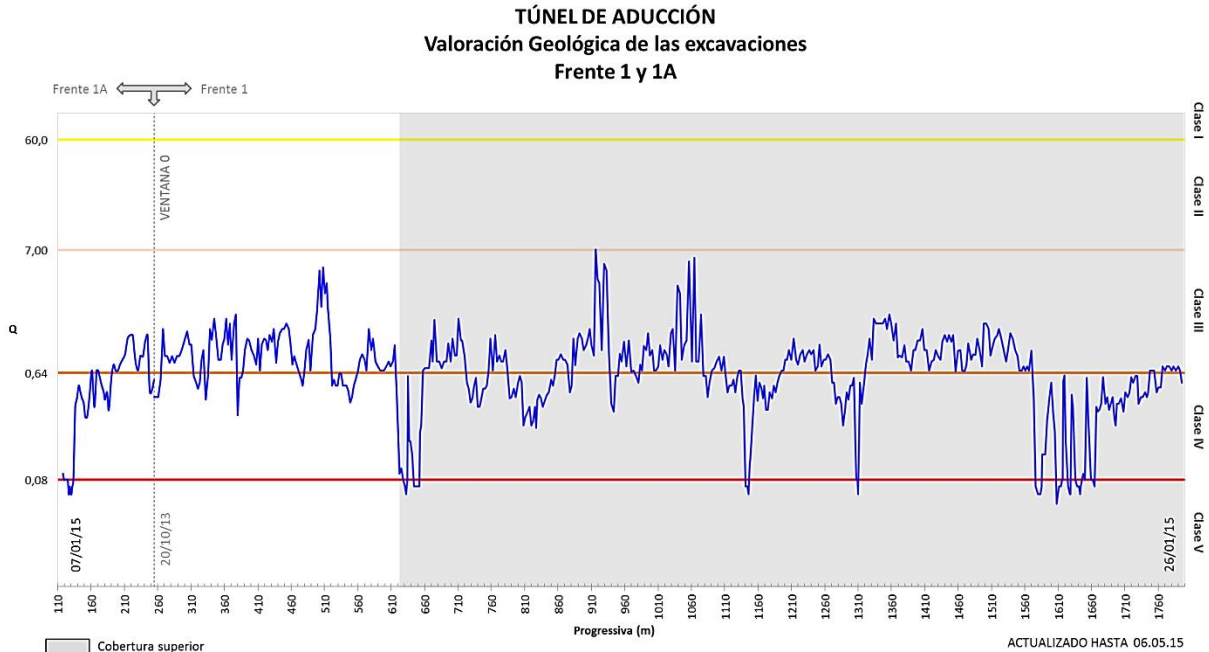


FIGURA 11 – PERFIL Q DAS FRENTES 1 E 1A DO TÚNEL DE ADUÇÃO, COM INDICAÇÃO DA JANELA, POSIÇÃO E DATA DE ABERTURA DAS FRENTES DE ESCAVAÇÃO E COBERTURA DE ROCHA ACIMA DE 400 METROS

FONTE: INTERTECHNE CONSULTORES S. A. (2015)

6.4 PRODUTOS AUXILIARES GERADOS A PARTIR DO BANCO DE DADOS

6.4.1 Georreferenciamento das informações geológicas

As informações contidas no banco de dados possibilitam análises geológicas tanto locais quanto regionais dos maciços escavados.

Como exemplo, tem-se a projeção do túnel em softwares de geoprocessamento, no caso o ESRI ArcGIS versão 10.0, em que cada avanço é desenhado e representado de acordo com sua classificação geomecânica. O concatenamento da projeção do túnel a imagens de satélite, lineamentos estruturais e demais dados geológicos obtidos remotamente ou em campo, permite tecer importantes inferências geológico-estruturais, permitindo uma variada gama de estudos e análises geológico-geotécnicas da área correspondente à obra (FIGURA 12).

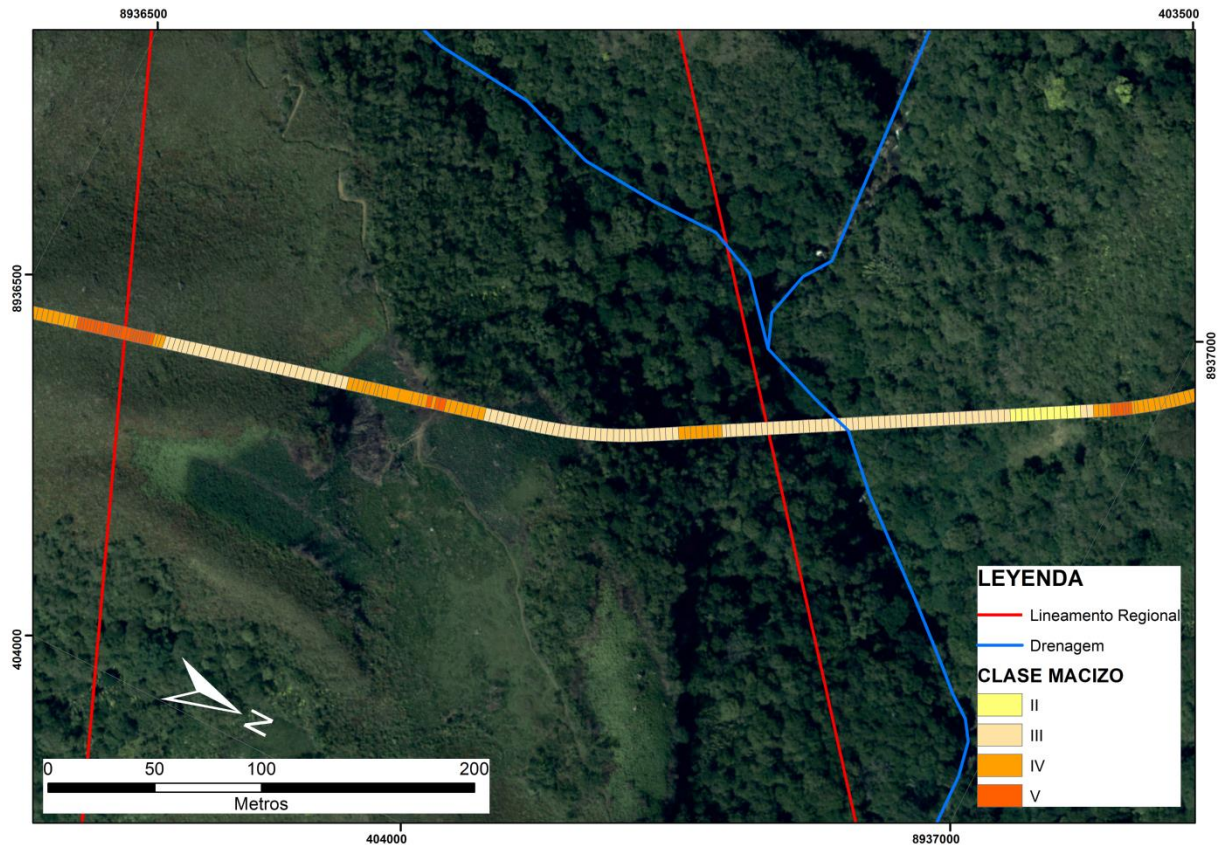


FIGURA 12 – PROJEÇÃO DE TRECHO DO TÚNEL DE ADUÇÃO NO ARCGIS
 FONTE: INTERTECHNE CONSULTORES S. A. (2015)

6.4.2 Análise das descontinuidades dos maciços

Igualmente, os dados descritivos de descontinuidades geológicas – estratificações, juntas e falhas – obtidos em campo, transcritos nos relatórios e repassados ao banco de dados, podem ser tratados, por exemplo, por meio de softwares de projeção e análise estrutural, como é o caso do Rocscience Dips versão 6.0.

Analisados em conjunto, divididos em setores ou separados de acordo com o tipo de feição geológica, os resultados obtidos permitem investigações de caráter estrutural aplicáveis em diversos âmbitos e finalidades da obra ou mesmo em estudos geológicos regionais. Identificação de famílias de descontinuidades, tendências estruturais e análises de estabilidade de taludes figuram entre tais possibilidades (FIGURA 13).

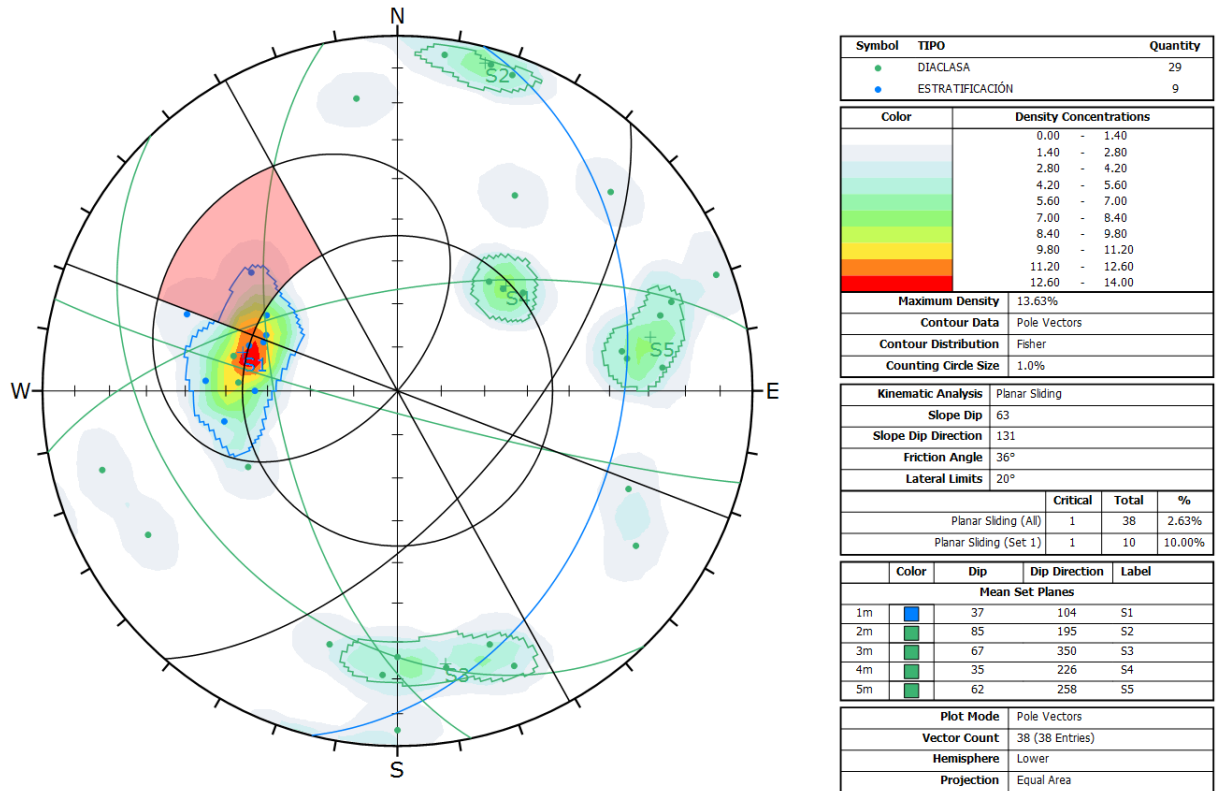


FIGURA 13 – EXEMPLO DE PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA DE POLOS DE DESCONTINUIDADES, COM ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES
 FONTE: INTERTECHNE CONSULTORES S. A. (2015) Modificada

7 DISCUSSÕES

7.1 ASPECTOS FAVORÁVEIS DO MÉTODO

7.1.1 Atualização em tempo real

O banco de dados proposto, haja vista a sua estrutura integrada e dinâmica, permite a atualização completa dos dados e a geração dos resultados em menos de 2 horas, assegurando resposta imediata e confiável à demanda do requerente.

7.1.2 Acessibilidade do software

O Microsoft Excel, cujo pacote Office encontra-se em praticamente todo computador doméstico, e a existência de versões gratuitas equivalentes desenvolvidas por outros fabricantes garantem custo zero e acesso irrestrito à implementação e utilização do banco de dados.

Da mesma forma, as técnicas, fórmulas e linguagens próprias do software são de amplo domínio do público, dispensando conhecimentos demasiadamente avançados em linguagens de programação e desenvolvimento de softwares.

Por fim, o dinamismo dos vínculos e ferramentas disponíveis é o que proporciona a agilidade e confiabilidade dos cálculos envolvidos nos processos de integração do banco de dados.

7.1.3 Histórico de uso

Ao analisar-se o papel desempenhado pelo banco de dados em seu ambiente de utilização, percebem-se o caráter inovador e os benefícios gerados na dinâmica de trabalho da empresa.

Basta comparar as circunstâncias em que a gestão e atualização de dados se davam antes da introdução do método, em relação à realidade vigente com o uso do banco de dados.

A agilidade e confiabilidade das respostas, somada à fácil e satisfatória adequação do método aos demais empreendimentos de escavação subterrânea, tornaram o banco de dados o modelo padrão no setor para a gestão de obras subterrâneas, tendo sido aplicado com sucesso nas obras da CH Laúca, em Angola, e na Barragem de Palo Redondo, no Peru.

7.1.4 Novidades em relação a outros modelos

A pesquisa acerca de outros métodos de formulação de bancos de dados permite ao menos deduzir a inexistência de outro sistema idêntico ao aqui proposto, o que, obviamente, não garante a novidade absoluta do método.

Porém, algumas vantagens se aplicam em relação aos demais métodos pesquisados, principalmente no que se refere aos baixos custos, acessibilidade e facilidade de operação. Diferentemente dos demais sistemas, não há necessidade de softwares de uso restrito e linguagem de programação avançada.

7.2 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

7.2.1 Ocorrência de erros

Sendo um banco com alimentação individual e não automatizada de dados, o sistema não é 100% imune a erros, pois depende da correta inserção dos valores em seus devidos campos de entrada.

Todavia, o aspecto integrado e visualmente amigável facilita a identificação e correção dos eventuais erros de armazenamento.

7.2.2 Conhecimento acerca do software

Embora bastante conhecido tanto por usuários domésticos quanto em meio profissional, o Microsoft Excel, em sua aplicação, demanda um mínimo de familiaridade com seus procedimentos e técnicas fundamentais.

A administração de um banco com grande quantidade de dados requer constante atenção na detecção e prevenção de eventuais disparidades e anomalias no funcionamento do sistema. Igualmente, a migração do sistema de uma obra a outra pode requerer a adaptação de fórmulas e parâmetros que se ajustem às novas demandas do projeto.

Assim, a intrincada associação de fórmulas e dados pode se mostrar pouco compreensível para um usuário sem o conhecimento prático primário sobre o software.

8 CONCLUSÕES

8.1 VALIDAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Os resultados apresentados e analisados neste trabalho confirmam o banco de dados como método válido para armazenar, sistematizar e tratar estatisticamente a grande quantidade de informações advindas de escavações subterrâneas.

As intervenções impostas à estrutura do banco de dados ao longo do desenvolvimento deste trabalho – como a reorganização de fórmulas, vínculos, linhas de cálculos e interfaces gráficas – tornaram o sistema ainda mais ágil, confiável e versátil.

O êxito da aplicação do método a demais obras de grande porte, durante a realização do projeto, é a comprovação de sua flexibilidade e eficácia. Do mesmo modo, a migração a outros projetos levantou questões úteis nas futuras melhorias a serem aplicadas ao sistema.

8.2 FUTURO DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO

8.2.1 Ampliação da fonte de dados

Um sistema integrado de banco de dados possibilita a inserção de informações geológico-geotécnicas de outras fontes, descrições ou tipos de ensaios. Tal ampliação aprofundaria o grau das análises possíveis, permitindo a maior compreensão dos fatores geológicos atuantes em determinado ponto de interesse.

8.2.2 Técnicas de Geoestatística

Os tratamentos estatísticos que compõem o banco de dados podem alcançar um nível mais avançado se utilizadas técnicas e fórmulas próprias da Geoestatística. O uso de ponderadores e a geração de variogramas, por exemplo, poderia levar ao refinamento dos prognósticos e acarretar interpretações e inferências geológicas mais avançadas.

8.2.3 Técnicas de programação

A aplicação de técnicas de programação ao banco de dados já consolidado poderá acarretar maior automatização na inserção dos dados, tornando o processo de geração de resultados ainda mais ágil e preciso. A criação de aplicativos em macros, com linguagem Visual Basic, já está sendo realizada em caráter experimental.

Se, por um lado, tal procedimento de fato torna o processo ainda mais eficiente, por outro requer um usuário com conhecimentos avançados em Excel e Visual Basic para o acompanhamento e administração do sistema.

8.2.4 Geração de modelo definitivo

O ápice do desenvolvimento do banco de dados se dará, talvez, quando da geração de um modelo customizável, que se adapte às características de cada projeto, possua uma interface o mais direta e simplificada possível, com filtros automáticos para os resultados e rastreamento e correção instantânea de erros.

Para tal, será necessário alto conhecimento em linguagem de programação, com manutenção constante do sistema até a obtenção do nível de desenvolvimento desejado.

REFERÊNCIAS

BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. **Rock Mechanics and Rock Engineering**, Berlim, v. 6, n. 4, p. 189-236, 1974.

BASTOS, G.; ZUQUETTE, L. V. Armazenamento, consulta e visualização das informações produzidas no mapeamento geotécnico. **Geotecnia Computacional**, Belo Horizonte, v. 5, p. 67-72, 2005a.

BASTOS, G.; ZUQUETTE, L. V. **Estruturação de banco de dados a partir do mapeamento geotécnico aplicado à região de Ribeirão Preto (SP)**. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos-USP, São Paulo, 2005b.

BIENIAWSKI, Z. T. **Engineering rock mass classifications**. New York: Wiley, 1989.

CHAUDHARY, A. CARRILLO, L. CARRASCO, J. Development and construction of the 406 MW Chaglla project in Peru. **The international journal on hydropower & dams**. Wallington v. 22, n. 1, p. 40-46, 2015.

CELESTINO, T. B.; DINIZ, N. C. Informática. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (edit.). **Geologia de Engenharia**. 8.ed., São Paulo: ABGE, 2008.

COSTA, W. D. **Geologia de Barragens**. 1.ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

D’ALESSANDRO, J. R. P. Metodologia de mapeamento geológico-geotécnico para obtenção de classificação de maciço rochoso (RMR). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS, 4., v. 4, 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABMS, 2006.

DINIZ, R. A. V.; CELESTINO, T. B.; STURARO, J. R. Estudo da classe de maciços rochosos em função do parâmetro Q de Barton por análise geoestatística. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8., v. 2, 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1996.

ESRI. **ArcGIS Desktop 10 service pack 5**. Redlands, 2010.

GERALDI, J. L. P. **O ABC das escavações em rocha**. 1.ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2011.

GILES, D. A digital data standard for the electronic transfer of geotechnical data from ground investigations. In: INTERNATIONAL CONGRESS – INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, 7., v. 6, 1994, Lisboa. **Proceedings...** Rotterdam: Balkema, 1994.

GOMES, R. C. **Classificações geomecânicas de maciços rochosos**. 1.ed. São Carlos: USP, 1991.

GONÇALVES, B. H. B. **Estudo comparativo da resistência à erosão por cavitação do metal de solda depositado por um arame tubular tipo 13% Cr - 4% Ni - 0,4% Mo e do aço fundido ASTM a 743 CA-6NM**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2007.

GOOGLE EARTH (Google Inc.). Imagem de satélite Landsat, set. 2013.

HOEK, E; MARINOS, V.; MARINOS, P. The geological strength index: applications and limitations. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**. Vancouver: Springer, 2005.

HOEK, E.; KAISER, P. K.; BAWDEN, W. F. **Support of underground excavations in hard rock**. 1.ed. Rotterdam: Balkema, 1995.

INTERTECHNE CONSULTORES S. A. **Central Hidroeléctrica Chaglla – levantamiento geológico y clasificación geomecánica**. Curitiba, 2014. Relatório técnico.

INTERTECHNE CONSULTORES S. A. **Central Hidroeléctrica Chaglla – levantamiento geológico y clasificación geomecánica**. Curitiba, 2015. Relatório técnico.

INTERTECHNE CONSULTORES S. A. **CH Chaglla – proyecto básico – informe técnico**. Curitiba, 2010. Relatório técnico.

ISRM. **Métodos para descrição quantitativa de descontinuidades em maciços rochosos**. 12.ed. São Paulo: ABGE, 1983.

IYOMASA, W. S.; MATSUDA, K.; BRITO, F. A. Sistema de gerenciamento de dados: perfil automatizado de sondagens (1ª etapa). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8., v. 2, 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1996.

MARQUES FILHO, P. L.; GERALDO, A. Barragens e reservatórios. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (edit.). **Geologia de Engenharia**. 8.ed., São Paulo: ABGE, 2008.

MARRANO, A.; DUARTE, J.; JASPE, S.; PINTO, C. L.; DIEZ, R. Challenges at the Chaglla headrace. **Tunnelling Journal**. Tunbridge Wells, v. 32, p. 44-51, jun./jul. 2015.

MICROSOFT CORPORATION. **Microsoft Office Excel version 14.0.7147.5000**. Redmond, 2010.

MONTICELI, J. J.; TRESSOLDI, M. (coord.). **Diretrizes para classificação de sondagens – 1ª tentativa**. 1.ed., São Paulo: ABGE, 2013.

NORWEGIAN GEOTECHNICAL INSTITUTE. **Using the Q-system**. Oslo: NGI, 2013.

ODEBRECHT S. A. **Central Hidroelectrica Chaglla**. Chaglla, 13 mai. 2013. Apresentação de trabalho.

OYENUGA, D. **FHWA Road tunnel design guidelines**. Oakland: FHWA, 2004.

ROCSCIENCE. **Dips version 6.0**. Toronto, 2012.

SERRA JR., E.; MATSUDA; K. AZEVEDO, A. A.; IYOMASA, W. S.; BRITO, F. A.; COSTA, M. O. Sistema automatizado para caracterização de maciços rochosos e terrosos em Geologia de Engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7., v. 2, 1993, Poços de Caldas. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1993.

SERRA JR., E.; OJIMA, L. M. Caracterização e classificação de maciços rochosos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (edit.). **Geologia de Engenharia**. 8.ed., São Paulo: ABGE, 2008.

SILVA, M. C.; MARQUES, E. A. G. Rockmec – um programa para determinação das classes de maciços rochosos, segundo as classificações de Bieniawski (1989) e Barton *et. al.* (1974). **Geotecnia Computacional**, Belo Horizonte, v. 5, p. 175-179, 2005.

SINGH, B.; GOEL, R. K. **Rock mass classification**. 1.ed. Oxford: Elsevier, 1999.

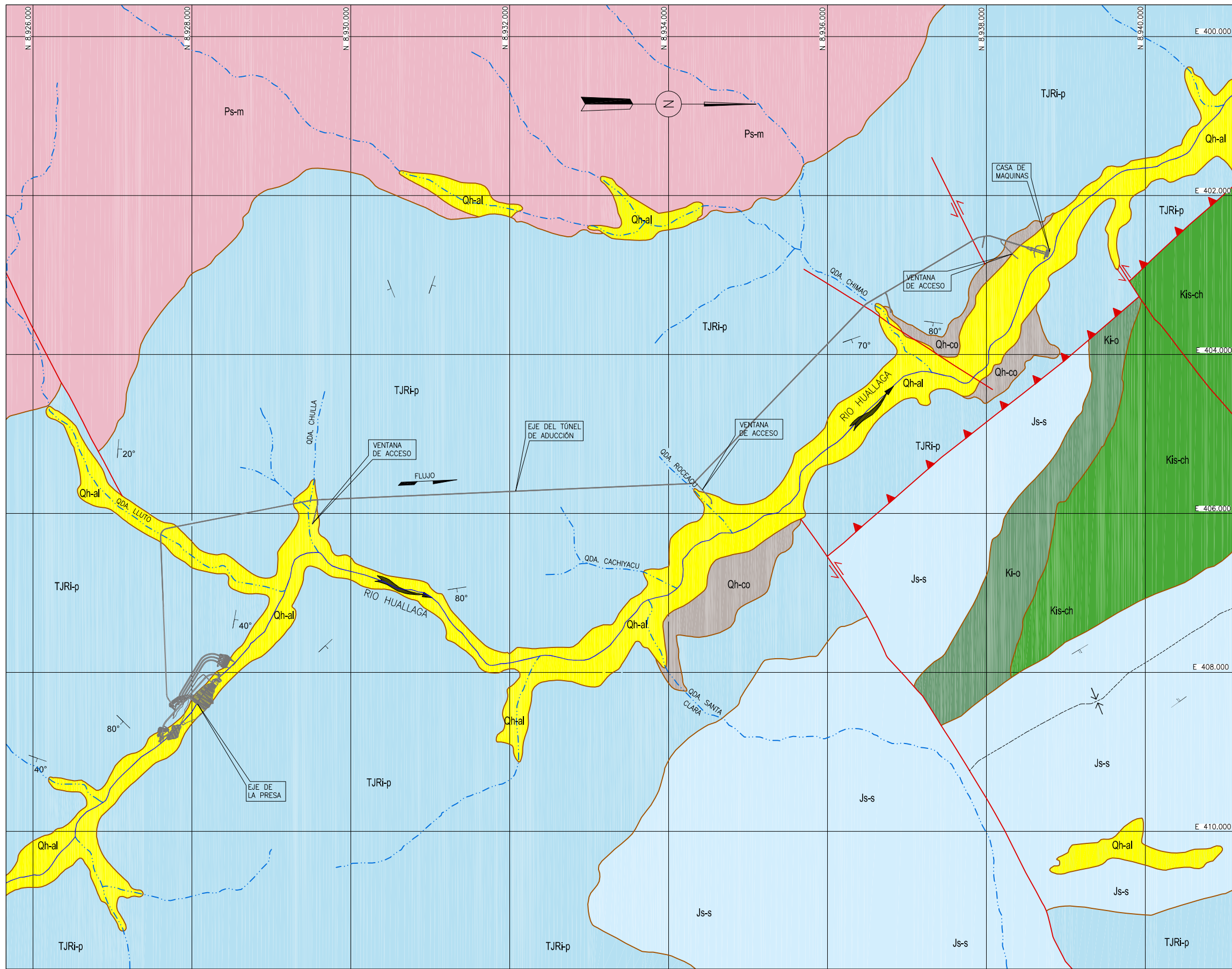
TOGNON, A. A.; PEREIRA JR., G. G. Elaboração de perfis de sondagens rotativas por meio de computação gráfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4., v. 3, 1984, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1984.

UFPR. **Orientação para normalização de trabalhos acadêmicos**. Disponível em: <<http://www.portal.ufpr.br/normalizacao.html>>. Acesso em: 01/06/2015.

ZUQUETTE, L. V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos-USP, São Paulo, 1987.

APÊNDICES

APÊNDICE 1	MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DA ÁREA DAS ESCAVAÇÕES .	47
APÊNDICE 2	SEÇÕES TRANSVERAIS DO TÚNEL DE ADUÇÃO	48
APÊNDICE 3	SEÇÃO LONGITUDINAL DO TÚNEL DE ADUÇÃO	49
APÊNDICE 4	EXEMPLO DE RELATÓRIO INDIVIDUAL DE ESCAVAÇÃO	50
APÊNDICE 5	TABELA MODELO PARA OS PARÂMETROS DO ÍNDICE Q.....	51



PLANTA

LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	
CENOZÓICA	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito Aluvial	Qh-al
			Depósito Coluvial	Qh-co
MESOZÓICA	CRETACEO	SUPERIOR	Formación Chonta	Kis-ch
		INFERIOR	Grupo Oriente	Ki-o
	JURASICO	SUPERIOR	Formación Sarayaquillo	Js-s
		TRIÁSICO	SUPERIOR	Grupo Pucará
	INFERIOR			
	PALEOZÓICA	PERMIANO		Grupo Mitu

- 80° RUMBO Y BUZAMIENTO DE LOS ESTRATOS
- RUMBO Y BUZAMIENTO FOTO INTERPRETADO (30°-60°)
- CONTACTO CONOCIDO
- FALLA INVERSA
- FALLA DE RUMBO
- FALLA DEFINIDA
- QUEBRADA
- EJE DE SINCLINAL
- CONTACTO GEOLÓGICO

NOTAS

- 1 - TODAS LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES ESTÁN EN METRO.
- 2 - MAPA GEOLÓGICO REGIONAL PRESENTADO POR GEOTÉCNICA EN EL INFORME INF-GEO-CHAGLLA-001-REV(B), FEB/11.
- 3 - PARA LOS MAPEOS GEOLÓGICOS LOCALES, VER PLANOS, DE2-00B05-1501, DE2-07B05-1501, DE2-08B05-1502.

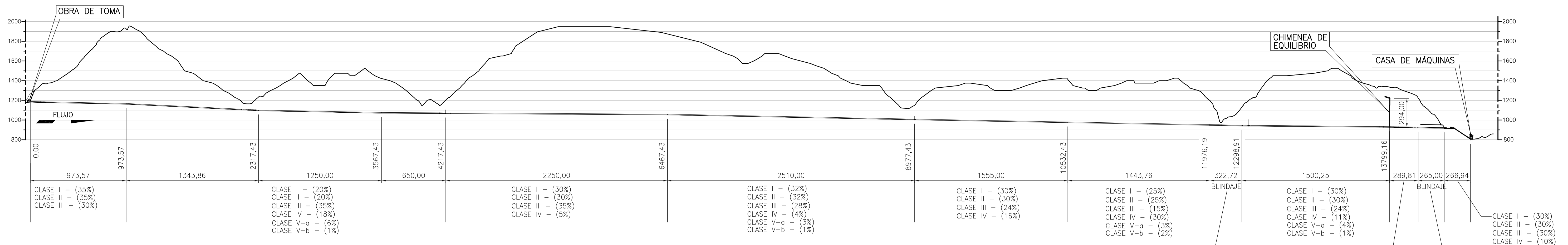
0	CONFORME PROCESO ING-CIVIL/INTERFACE-0036	JFP	MWJ	AGO/12
n°	descripción	prep.	aprob.	fecha

Intertechne CONSULTORES S.A.		ODEBRECHT		cinella	
elaborado	TSG	aprobado:	Sergio M. Kraemer	fecha	MAY/12
verificado	NFC	gerente del proyecto			
supervisor	AGNJ	responsable técnico	Laurencio J. N. Babá - CREA RJ 36084/D		

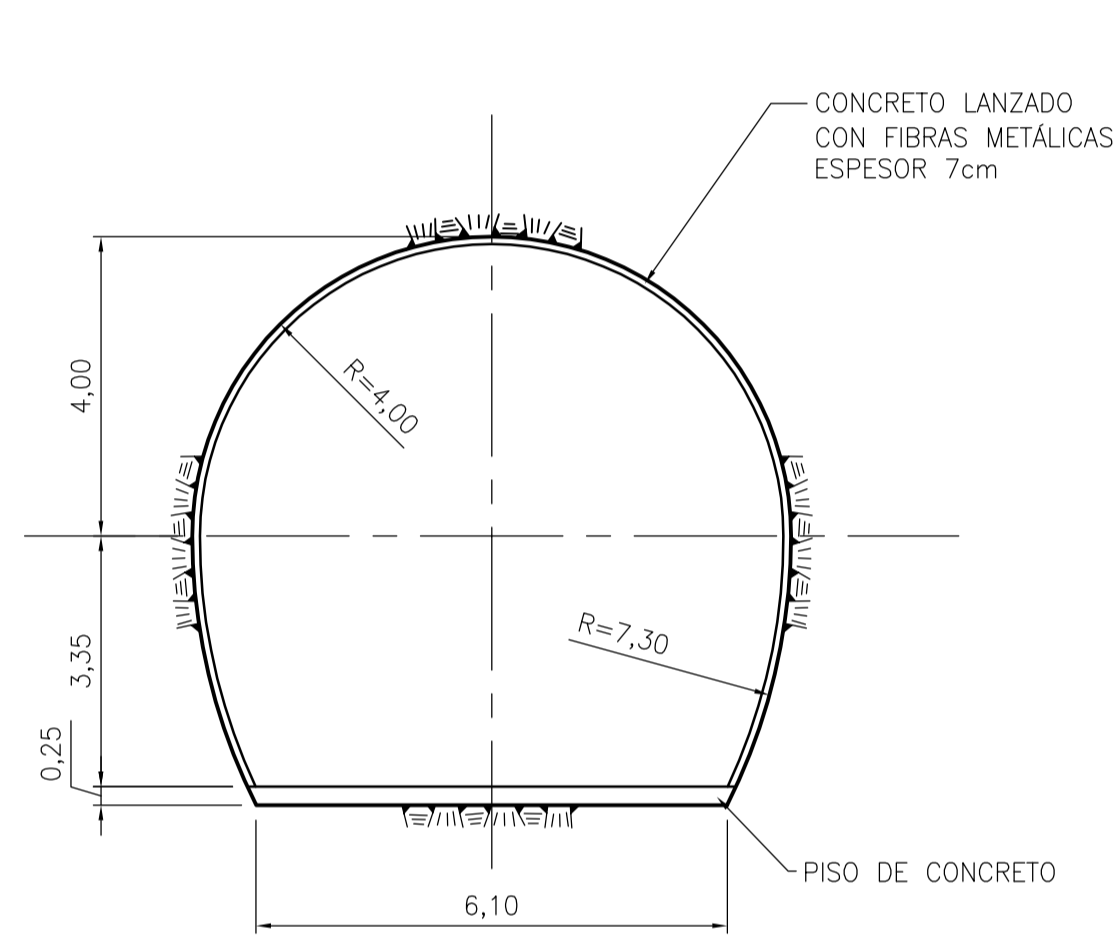
PROYECTO CENTRAL
HIDROELÉCTRICA CHAGLLA

PROYECTO BÁSICO

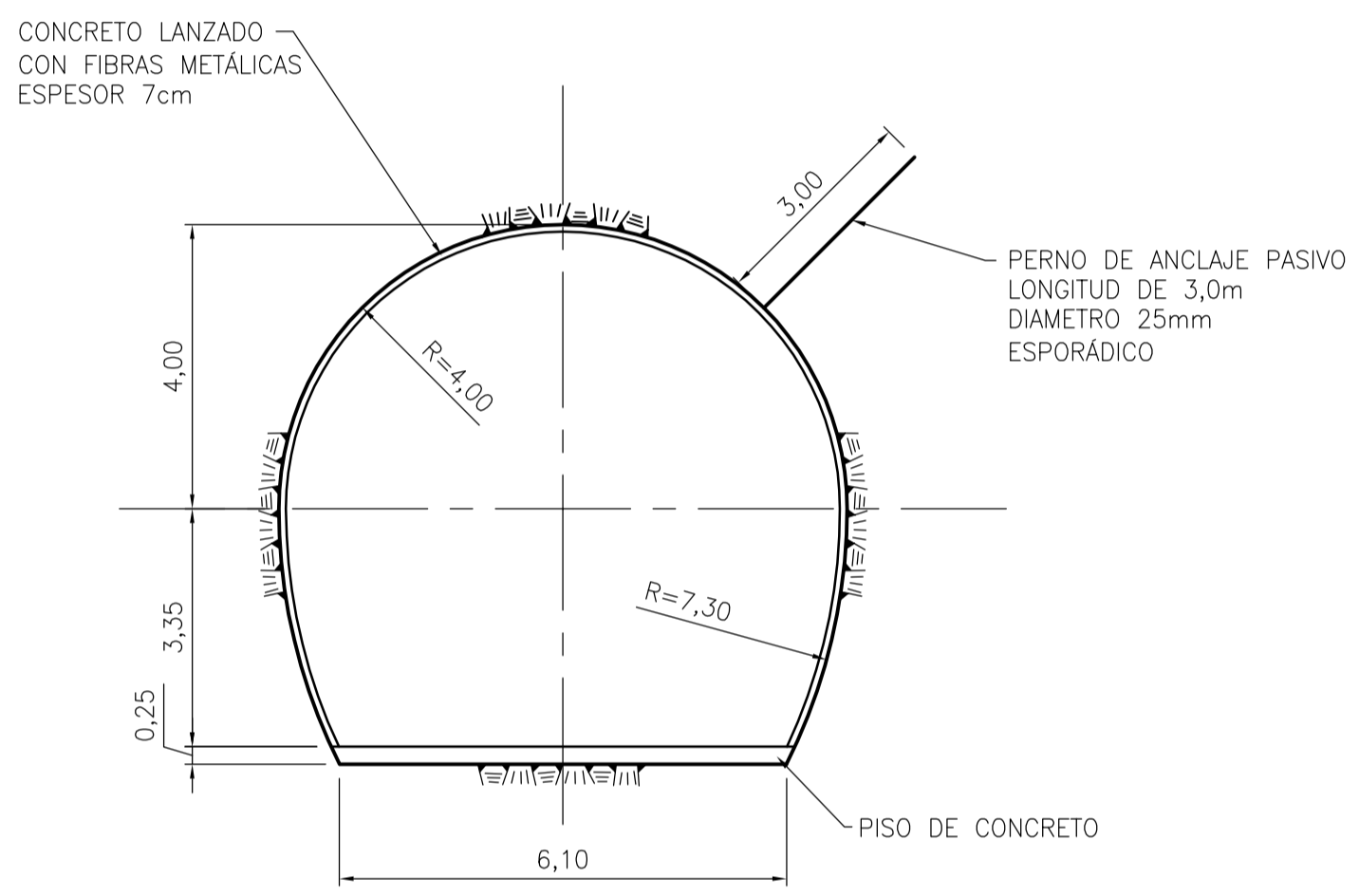
título		
GENERAL MAPA GEOLÓGICO REGIONAL PLANTA		
escala	código Intertechne:	revisión
1:25,000	1109-CG-6-GE-G00-00-C-12-DE-0003	0
hoja	código OPIC:	revisión
CHC-DE2-00B05-1503		0



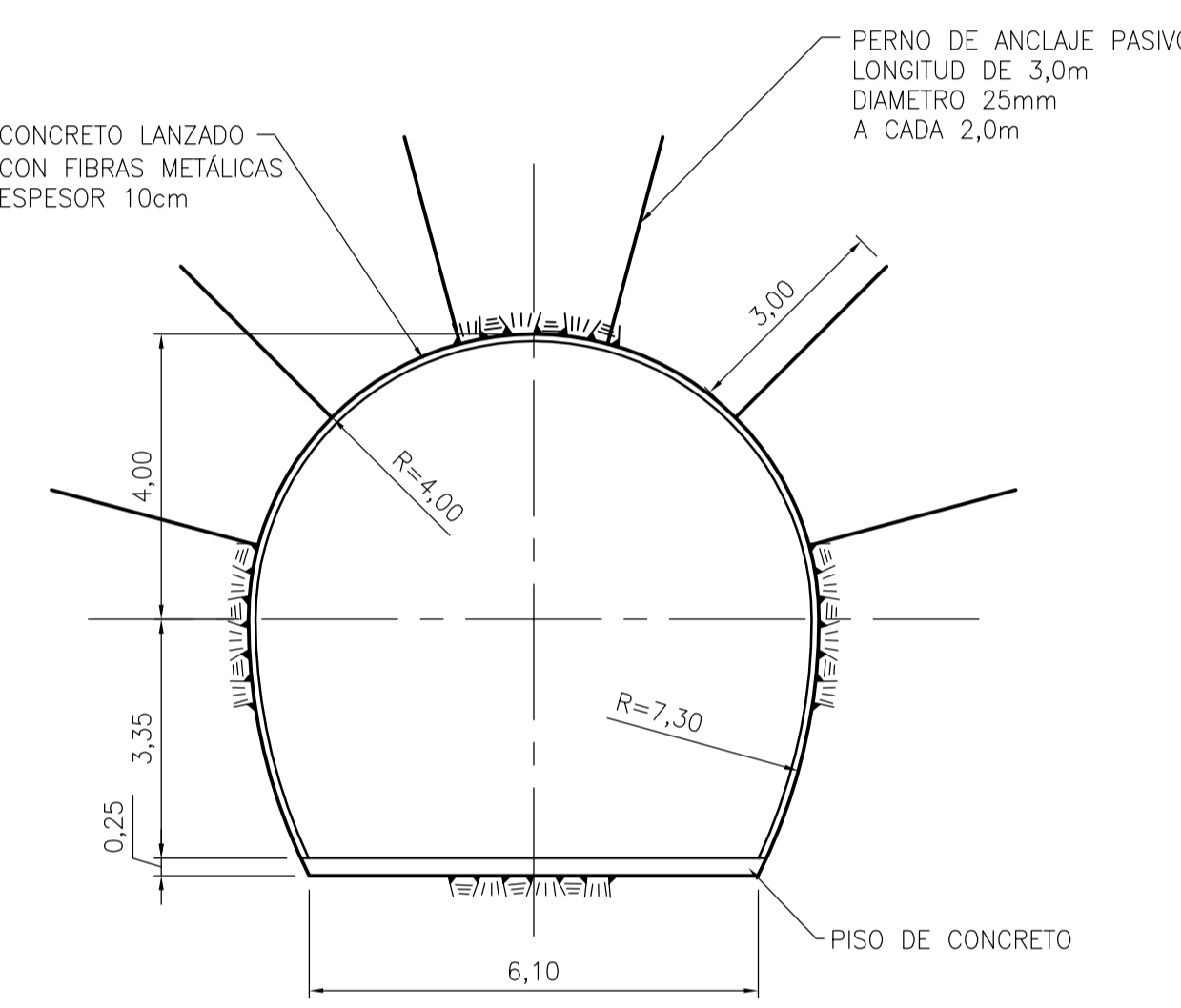
CIRCUITO DE GENERACIÓN
 ESC. 1:20.000



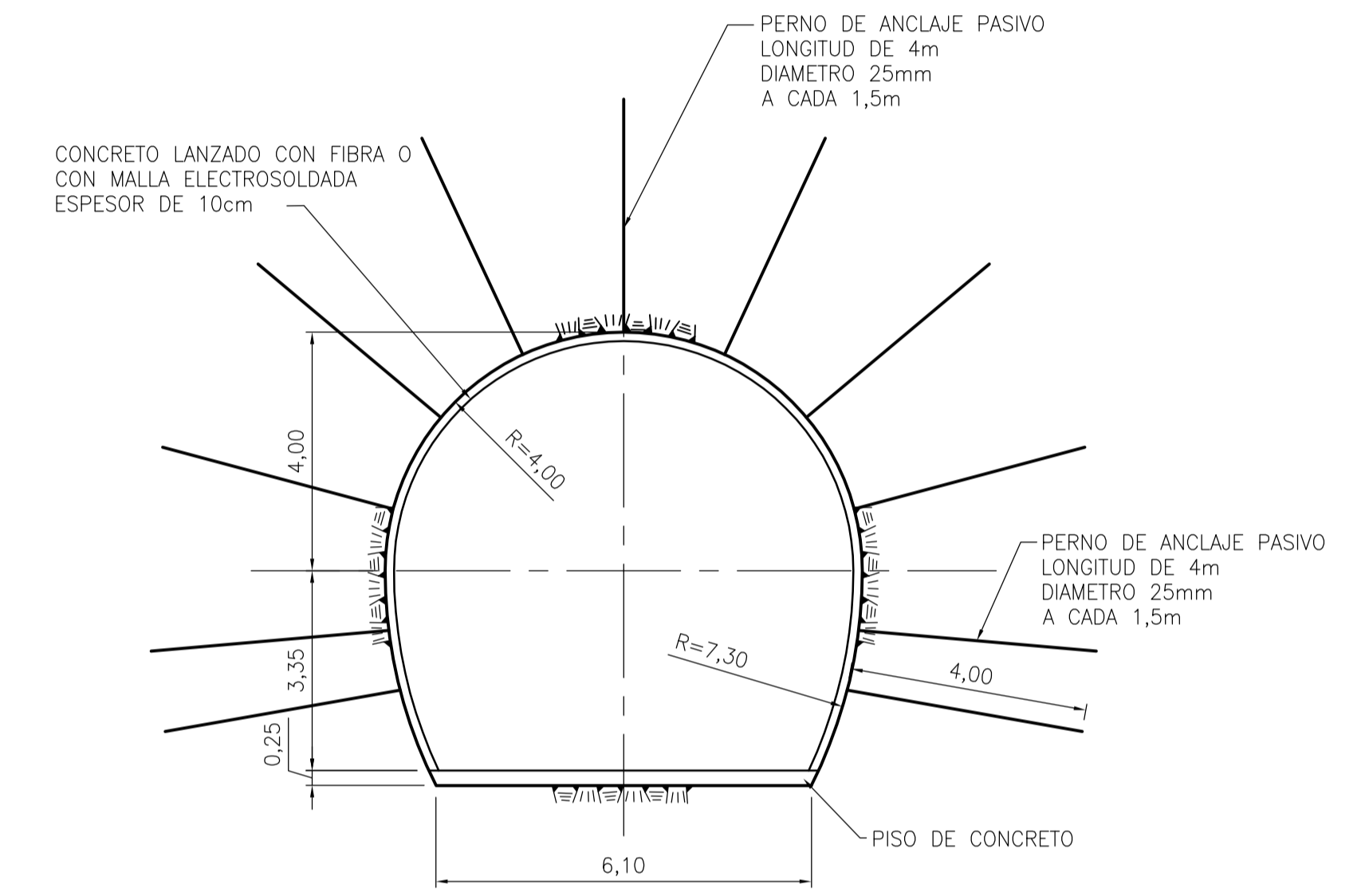
CLASE I
(Q > 60) (VER NOTA 3)
SECCIÓN TIPO
 ESC. 1:100



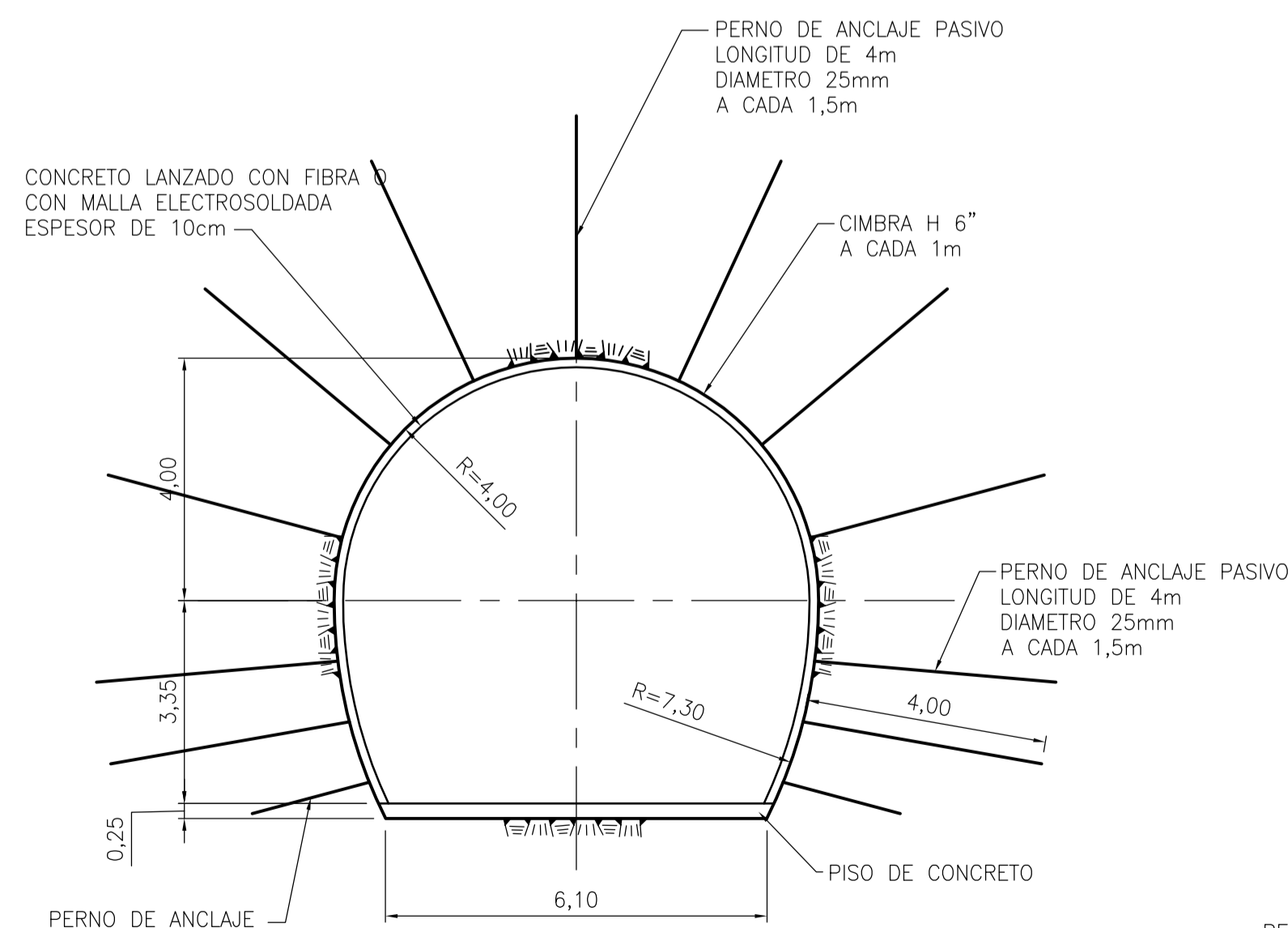
CLASE II
(7 < Q <= 60) (VER NOTA 3)
SECCIÓN TIPO
 ESC. 1:100



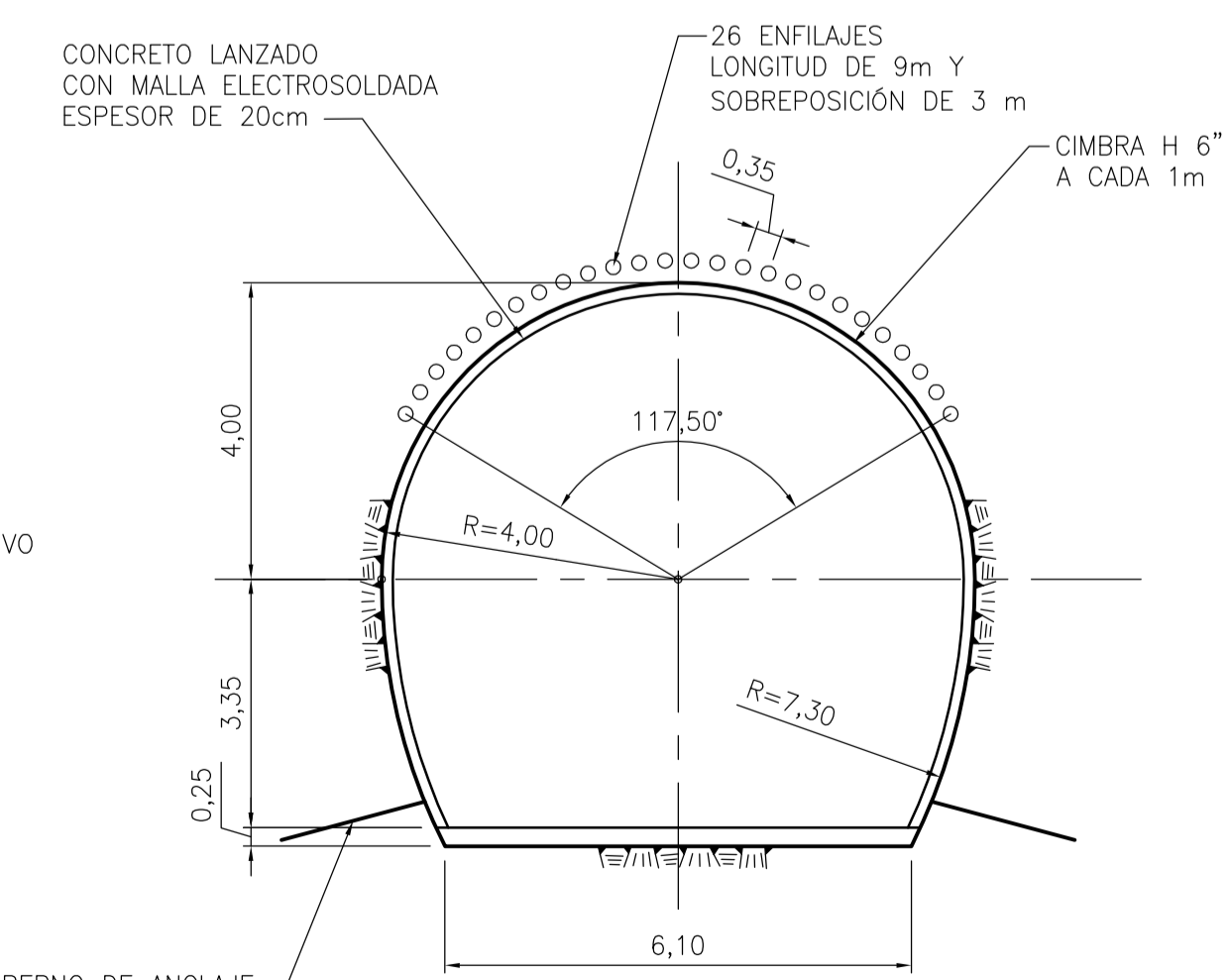
CLASE III
(0,64 < Q <= 7)
SECCIÓN TIPO
 ESC. 1:100



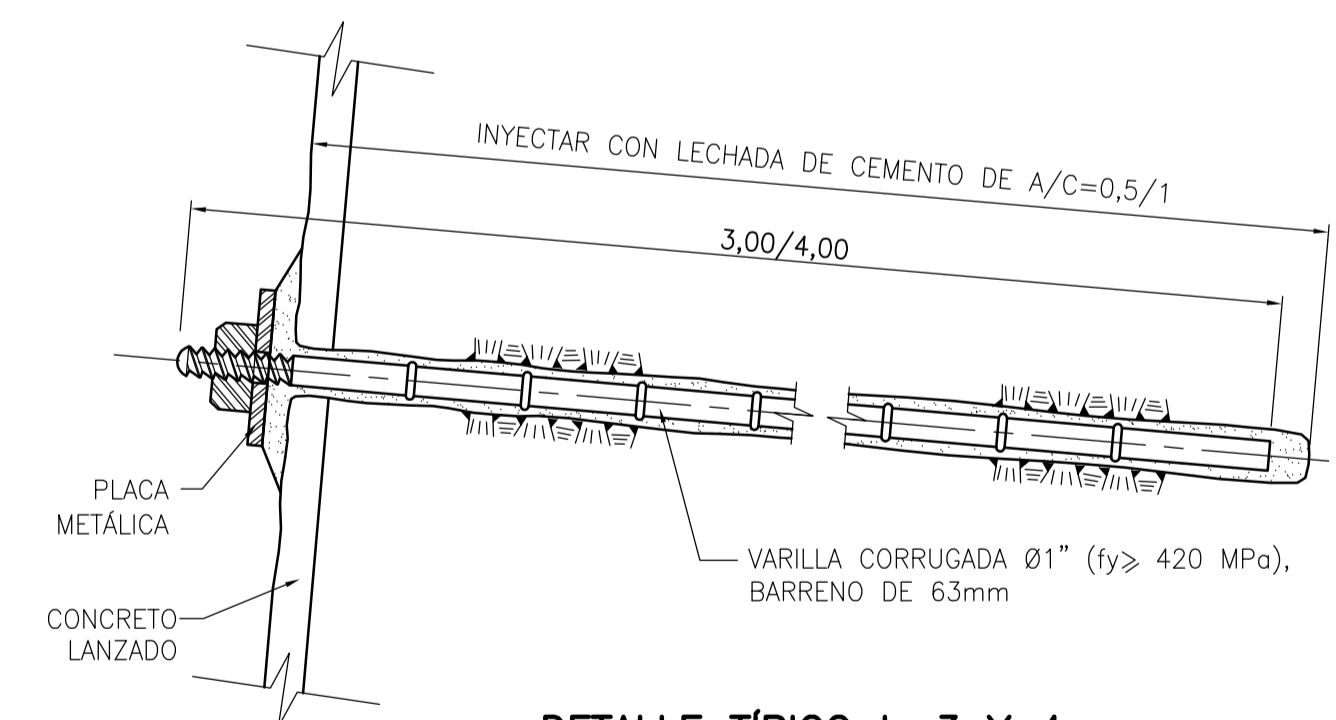
CLASE IV
(0,08 < Q <= 0,64)
SECCIÓN TIPO
 ESC. 1:100



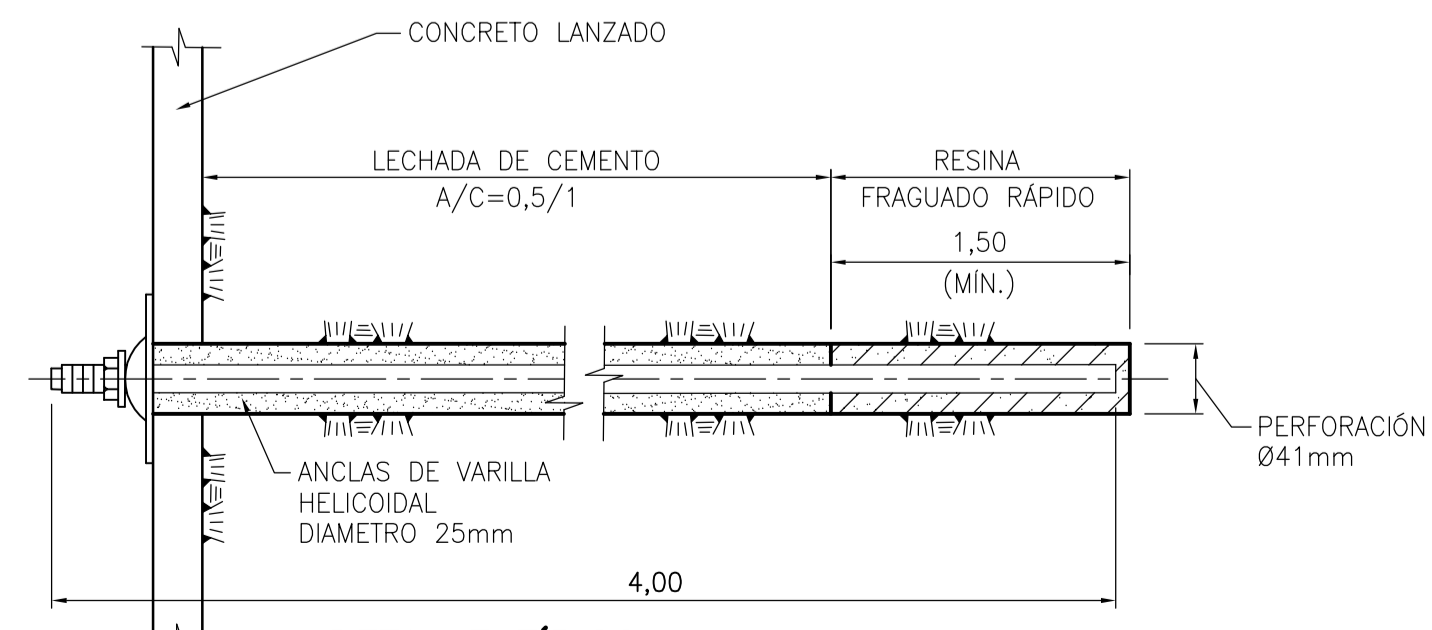
CLASE V-A (ROCA MUY ALTERADA)
(Q <= 0,08)
SECCIÓN TIPO
 ESC. 1:100



CLASE V-B (SUELOS)
(Q <= 0,08)
SECCIÓN TIPO
 ESC. 1:100



DETALLE TÍPICO L=3 Y 4m
PERNO DE ANCLAJE PASIVO
 SIN ESCALA



DETALLE TÍPICO L=4m
PERNO DE ANCLAJE ACTIVO CON RESINA
 SIN ESCALA

- NOTAS**
- 1 - DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METRO.
 - 2 - LAS CANTIDADES DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS EN LOS TÚNELES Y SU LOCALIZACIÓN SON PRELIMINARES, DEBENDO SER ADAPTADAS A LAS REALES CONDICIONES DEL MACIZO ROCOSO ENCONTRADO DURANTE LA EXCAVACIÓN.
 - 3 - LOS ANCLAJES PASIVOS DEBERÁN SER SUSTITUIDOS POR ANCLAJES ACTIVOS, CASO LAS CONDICIONES DEL MACIZO ROCOSO LO EXIGIREN.
 - 4 - EN LAS ÁREAS CUBIERTAS CON CONCRETO LANZADO SE DEBERÁ PREVER EL USO DE DRENE SUPERFICIALES PARA EL CONTROL DE LAS INFILTRACIONES DE AGUA ADENTRO DEL TÚNEL, CUANDO IDENTIFICADO NECESARIO POR LOS GEÓLOGOS.

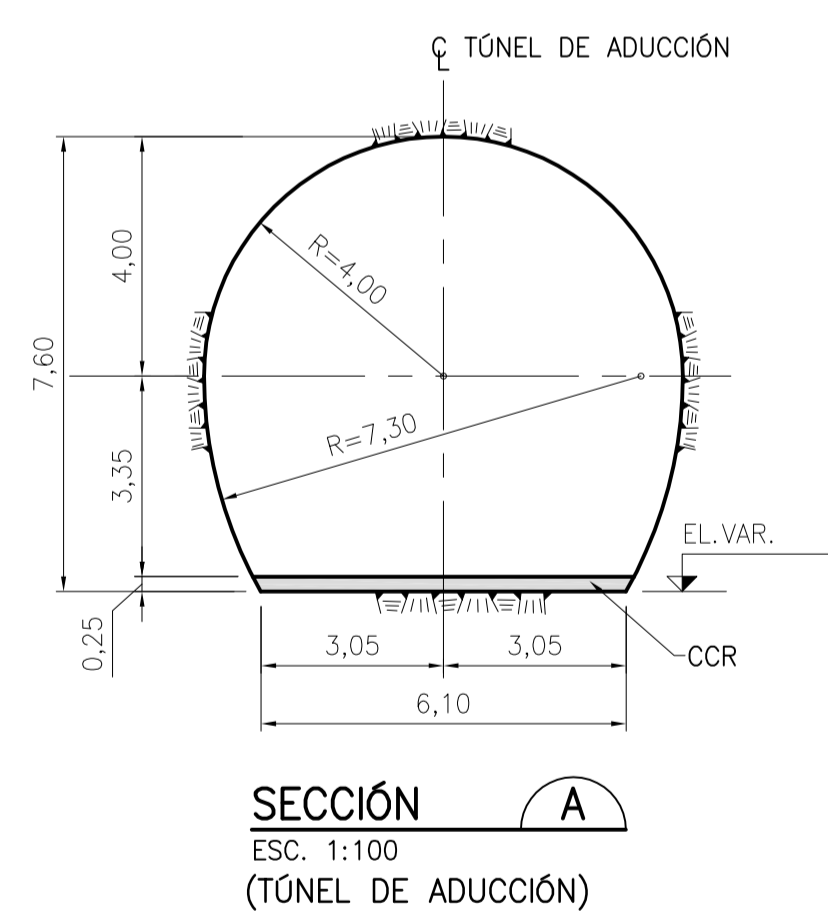
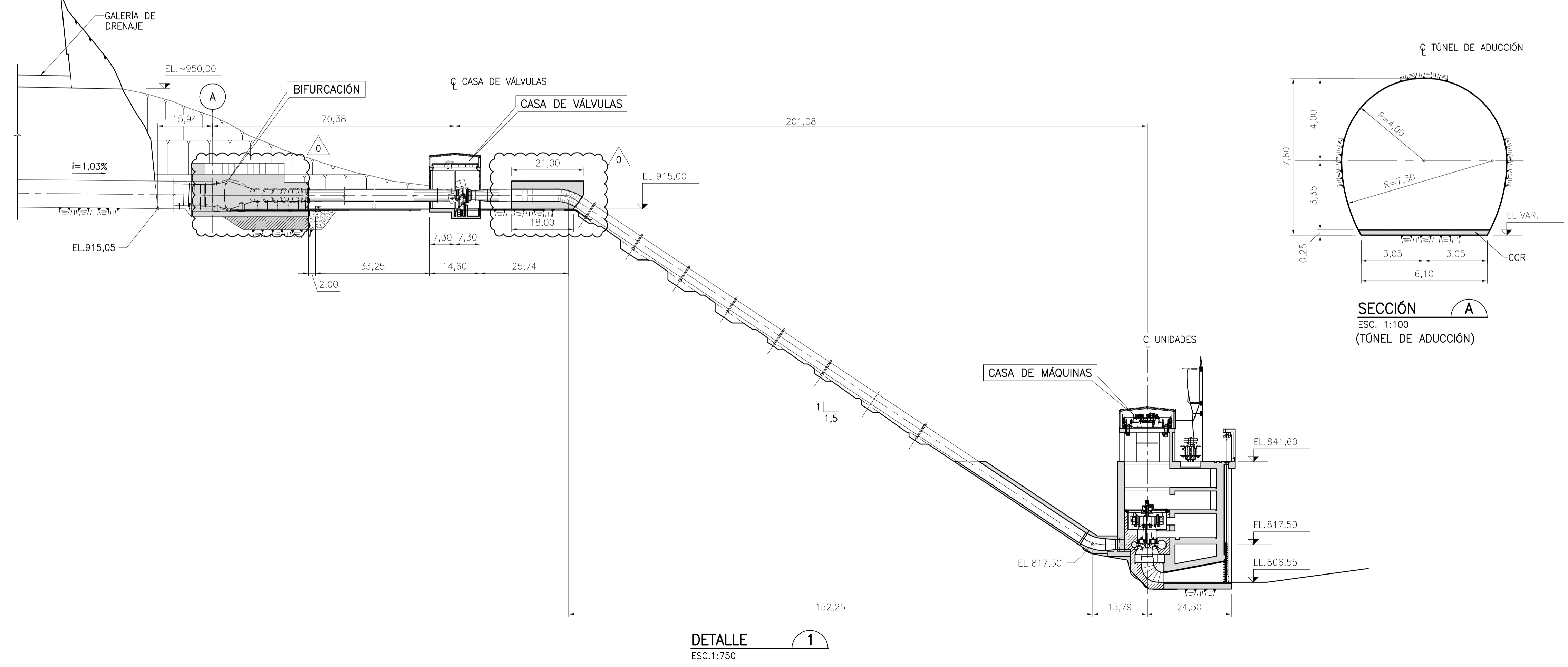
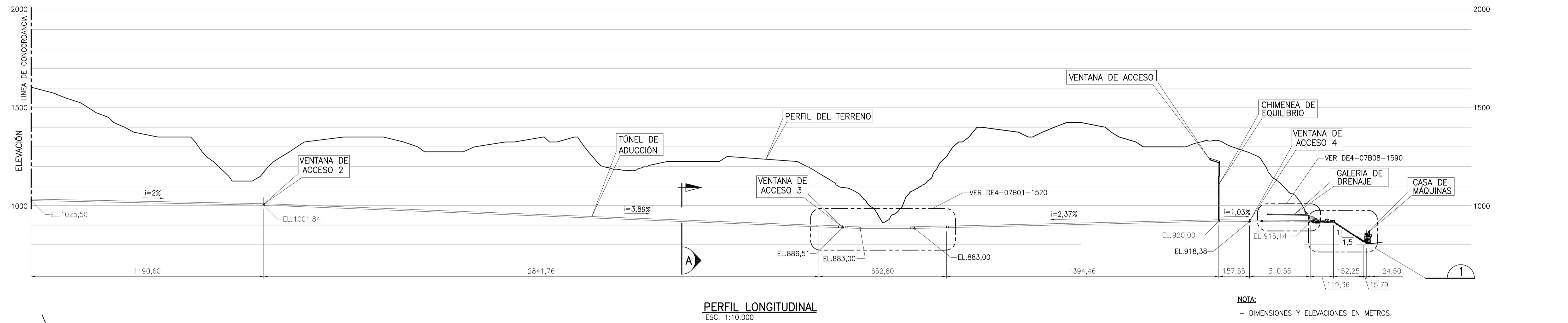
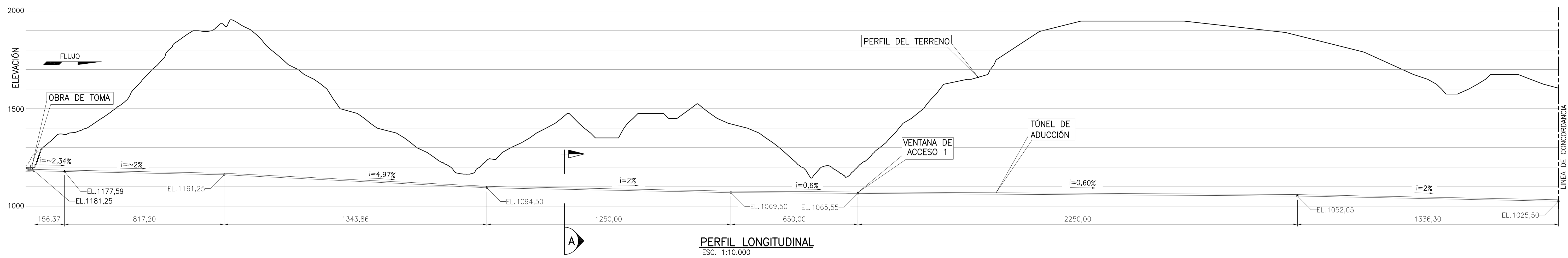
0	LIBERADO CONFORME ING-CIVIL/INTERFACE-0289	JFP	AGNJ	NOV/12
n°	descripción	prep.	aprob.	fecha

REVISIONES

elaborado	ELE	aprobado:	Sergio M. Kraemer	fecha	MAY/12
verificado	NFC	gerente del proyecto			
supervisor	AGNJ	responsable técnico	Laurengo J. N. Bobb - CREA RJ 36084/D		

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHAGLLA
PROYECTO BÁSICO
CIRCUITO DE GENERACIÓN
OBRAS DE SOSTENIMIENTO
PERFIL Y SECCIONES

escala	INDICADA	código Intertechne:	1109-CG-6-CG-T01-00-C-21-DE-0001	revisión	0
hoja		código OPIC:	CHC-DE2-07B08-1501	revisión	0



NOTA:
- DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METROS.

SEGURIDAD "CERO ACCIDENTES" PELIGROS PARA USO INTERNO ODEBRECHT			
USO DE EPI's BASICO			
LISTA MAESTRA DE DOCUMENTOS SST	DESCRIPCION	<p>EL USO NO ADECUADO DEL EQUIPO DE SEGURIDAD PUEDE OCASIONAR LESIONES GRAVES, INCLUSIVE LA MUERTE. SU USO ES OBLIGATORIO:</p> <p>USO DE EPP'S DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DE TRABAJO:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. PROTECCIÓN AUDITIVA 2. PROTECCIÓN RESPIRATORIA 3. ROPA IMPERMEABLE EN CONDICIONES DE LLUVIA 4. BOTAS Y GUANTES DE JEBE PARA TRABAJO CON CONCRETO 	
CODIGO			
0	PARA CONSTRUCCIÓN	MFA	MWJ
0A	PARA CERTIFICACIÓN CONFORME ING-CIVIL/INTERFACE-1934	CVG	PD
0AB	REVISIÓN EN EL DETALLE "1"	PGB	AGNJ
n°	descripción	prep.	aprob.

REVISIONES

Intertechn CONSULTORES S.A. **ODEBRECHT** **CHAGLLA**

elaborado PGB Mónica Carvalho gerente del proyecto fecha SEP/13
verificado NFC
supervisor AGNJ Lourenço J. N. Babó - CREA RJ 36084/D responsable técnico

PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHAGLLA

INGENIERÍA DE DETALLE

TÍTULO
TÚNEL DE ADUCCIÓN ARREGLO GENERAL PERFIL, SECCIÓN Y DETALLE

escala INDICADA	código Intertechn: 1109-CG-8-CG-T01-00-C-00-DE-0004	revisión	0
hoja	código OPIC: CHC-DE4-07B01-1504	revisión	0

CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHAGLLA
Levantamiento geológico y clasificación geomecánica

VG-TA-F08-005-R(0)

1109-CG-8-CG-T01-00-C-22-DG-8005-R(0)

TUNEL DE ADUCCION: Frente 08

PROGRESIVAS DE PROYECTO

14+474.02

-

14+472.02

Realizado: OBC Revisado: SEJA

Hora: 08:45

Fecha: 13/02/2013

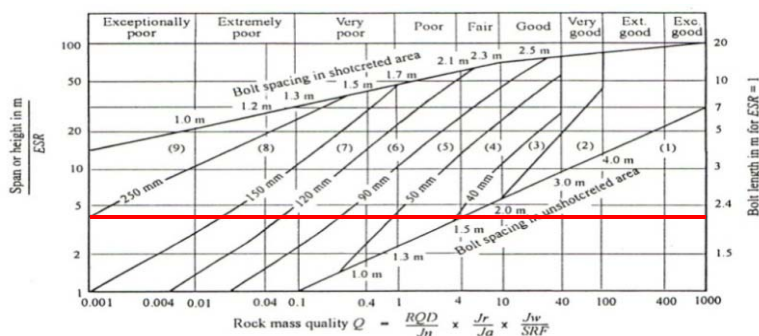
Valuación del parámetro Q, según Barton

(GSI)

30

Clase I: $Q > 60$ Clase II-A: $7 < Q \leq 60$ Clase III-A: $0,64 < Q \leq 7$
 Clase IV-C: $0,08 < Q \leq 0,64$ Clase V-(C,D): $Q \leq 0,08$

Parámetro	Puntuación
RQD 1(B)	25
2Jn 2(H)	30
Jr 3b(E)	1.5
Ja 4b(G)	6
Jw 5(A)	1
SRF 6a(B)	5
Q=	0.042



Clase de Terreno Tipo V-C, Roca de calidad MUY MALA

Formación Geológica: Calizas color gris pertenecientes al Grupo Pucara.

Macizo Rocos: Caliza color gris clara con fracturamiento y alteración moderado a fuerte, de resistencia baja; presencia de material limo arcilloso como relleno (en E, D1 y D3), calcita como relleno en D2 y material arenoso triturado sobre estratificación.

Discontinuidades: Presenta 04 familias de discontinuidades.

E: 42/54°, Estratificación: S3-L3-T4-R3-F4-A4-W1

D1: 200/50°, Sistema de fracturamiento: S3-L3-T4-R2-F4-A4-W1, buzamiento favorable al avance.

D2: 100/44°, Sistema de fracturamiento: S3-L3-T4-R3-F2-A3-W1

D3: 320/70°, Sistema de fracturamiento: S3-L3-T4-R3-F4-A3-W1, sub-vertical.

	Espaciado	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Agua
	S	L	T	R	F	A	W
1	> 2m	< 1m	sellada	muy rugosa	ningún	ninguna	ningún
2	60cm - 2m	1 - 3m	< 0,1mm	rugosa	duro < 5mm	leve	< 10L/min
3	20cm - 60cm	3 - 10m	0,1 - 1mm	levemente rugosa	duro > 5mm	mediana	10 - 25L/min
4	6cm - 20cm	10 - 20m	1 - 5mm	suave	blando < 5mm	fuerte	25 - 125L/min
5	< 6cm	> 20m	> 5mm	lisa	blando > 5mm	completa	> 125L/min

INTERTECHNE:

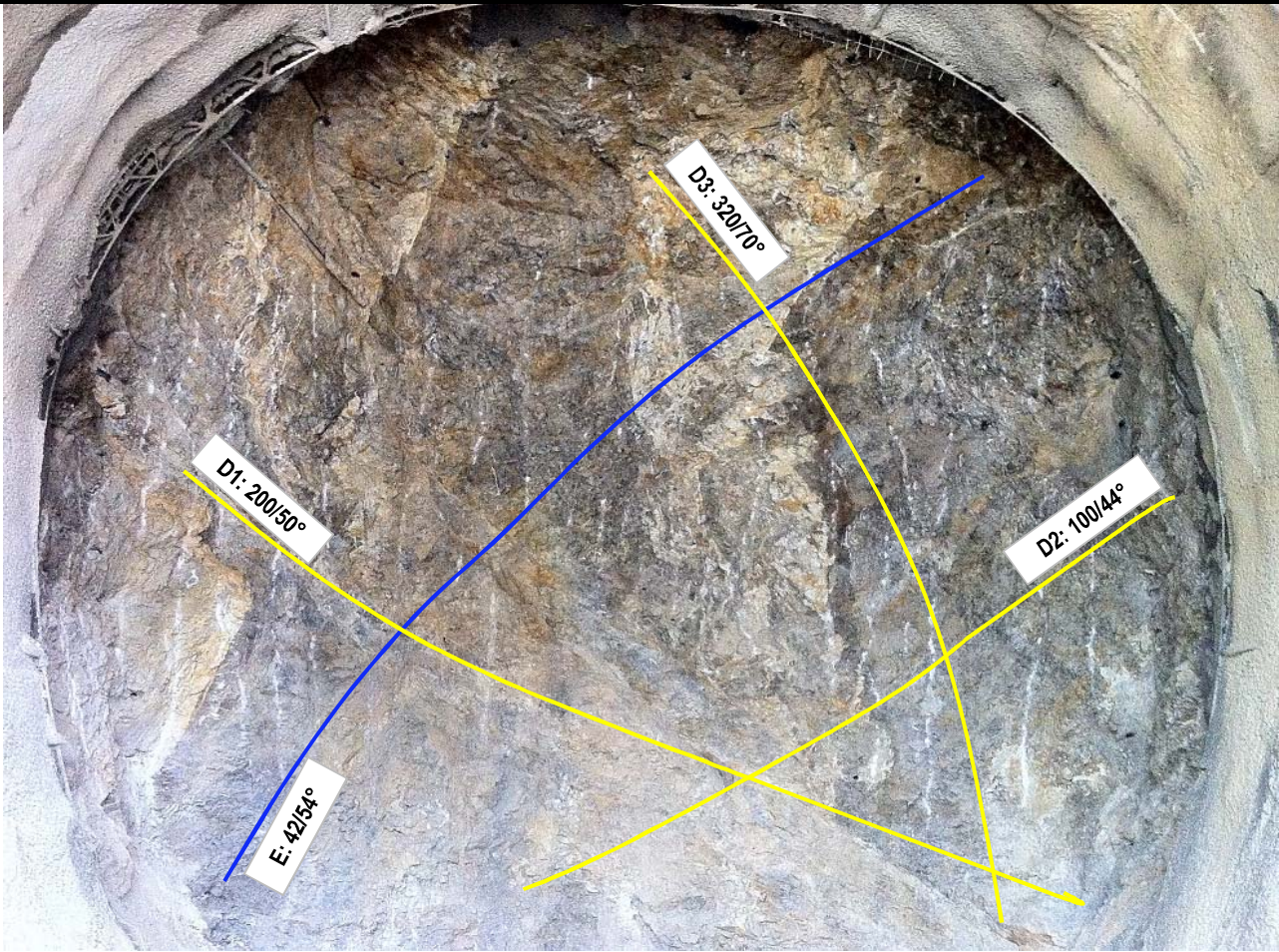
Supervisión:

Hoja 1 de 2

CENTRAL HIDROELÉCTRICO CHAGLLA
Levantamiento geológico y clasificación geomecánica

VG-TA-F08-005-R(0)

1109-CG-8-CG-T01-00-C-22-DG-8005-R(0)



Frontal

Perfil de la sección de excavación: El perfil de la sección se presenta irregular e inestable con leves desprendimientos en bóveda por el material limo arcilloso presente así como el grado de meteorización del macizo.

Observaciones: Colocar sostenimiento para **roca tipo V-C (5-C)**, de acuerdo a lo indicado en **PC: CHC-IC4-07B35-0015-R(1)** completo antes de siguiente avance. Se considera el valor del índice de diaclasado J_n ($2J_n$) por encontrarse en la boca de túnel.



Intertechne

PRESA PALO REDONDO Y OBRAS AUXILIARES

INFORME DE TRATAMIENTO DE OBRA

Túnel

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS MAYORES DEL PROYECTO CHAVIMOCHIC

RQD - DESIGNACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ROCA ("ROCK QUALITY DESIGNATION")

R1	MUY POBRE	0 - 25
R2	POBRE	25 - 50
R3	REGULAR	50 - 75
R4	BUENO	75 - 90
R5	EXCELENTE	90 - 100

Nota: Caso el valor de RQD sea < a 10, se deberá adoptar el valor 10.

Jn - ÍNDICE DE LAS FAMILIAS DE LAS JUNTAS

A	MACIZO, NINGÚN O POCAS JUNTAS	0,5 - 1,0
B	UN SISTEMA DE JUNTAS.	2
C	UN SISTEMA DE JUNTAS MÁS JUNTAS ALEATORIAS.	3
D	DOS SISTEMAS DE JUNTAS.	4
E	DOS SISTEMAS DE JUNTAS MÁS JUNTAS ALEATORIAS.	6
F	TRES SISTEMAS DE JUNTAS.	9
G	TRES SISTEMAS DE JUNTAS MÁS JUNTAS ALEATORIAS.	12
H	CUATRO O MÁS SISTEMAS DE JUNTAS, JUNTAS ALEATORIAS, ROCA MUY FRACTURADA, ROCA EN TIRONES	15
I	ROCA TRITURADA, TERROSA	20

Nota: En intersección de túneles utilizar 2D (3xJn). En apartamientos utilizar 2D (2xJn).

Jr - ÍNDICE DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES

a) CONTACTO ENTRE LAS DOS CARAS DE LA DISCONTINUIDAD.		
b) CONTACTO ENTRE LAS DOS CARAS DE LA DISCONTINUIDAD ANTE UN DESPLAZAMIENTO CORTANTE INFERIOR A 10 cm.		
A	DIACLASAS DISCONTINUAS	4
B	DIACLASAS ONDULADAS, RUGOSAS O IRREGULARES	3
C	DIACLASAS ONDULADAS, LISAS	2
D	DIACLASAS ONDULADAS, PERFECTAMENTE LISAS	1,5
E	DIACLASAS PLANAS, RUGOSAS O IRREGULARES	1,5
F	DIACLASAS PLANAS, LISAS	1,0
G	DIACLASAS PLANAS, PERFECTAMENTE LISAS	0,5
c) NO EXISTE CONTACTO ENTRE LAS CARAS DE LA DISCONTINUIDAD ANTE UN DESPLAZAMIENTO CORTANTE.		
H	ZONA QUE CONTIENE MINERALES ARCILLOSOS CON UN ESPESOR SUFICIENTE PARA IMPEDIR EL CONTACTO DE LAS CARAS DE LA DISCONTINUIDAD.	1,0
J	ZONA QUE CONTIENE MINERALES ARCILLOSOS CON UN ESPESOR SUFICIENTE PARA IMPEDIR EL CONTACTO DE LAS CARAS DE LA DISCONTINUIDAD.	1,0

Nota: Añadir 1 si el espaciado fuera superior a los 3 metros
 $Jr=0,5$ puede ser utilizado para diaclasas irregulares y lisas, planas con orientación favorable al movimiento.

Ja - ÍNDICE DE ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

a) CONTACTO ENTRE LOS PLANOS DE LA DISCONTINUIDAD (SIN MINERALES DE RELLENO INTERMEDIOS)		
A	DISCONTINUIDAD CERRADA, DURA, SIN REBLANDECIMIENTOS, IMPERMEABLE, CUARZO	0,75
B	PLANOS DE DISCONTINUIDAD INALTERADOS, SUPERFICIES LIGERAMENTE MANCHADAS	25° - 35°
C	PLANOS DE DISCONTINUIDADES LIGERAMENTE ALTERADOS. PRESENTAN MINERALES NO REBLANDECIBLES, PARTICULAS ARENOSAS, ROCA DESINTEGRADA LIBRE DE ARCILLAS, ETC.	25° - 30°
D	RECUBRIMIENTOS DE ARCILLAS LIMOSAS O ARENOSAS, FRACCIÓN PEQUEÑA DE ARCILLA (NO BLANDA).	20° - 25°
E	RECUBRIMIENTOS DE ARCILLAS BLANDAS O DE BAJA FRICCIÓN, ES DECIR, CAOLINITA O MICA, TAMBIÉN CLORITA, TALCO, YESO, GRAFICO, ETC., Y PEQUEÑAS CANTIDADES DE ARCILLAS EXPANSIVAS	8° - 16°
b) CONTACTO ENTRE LOS PLANOS DE LA DISCONTINUIDAD ANTE UN DESPLAZAMIENTO CORTANTE INFERIOR A 10 cm (MINERALES DE RELLENO EN PEQUEÑOS ESPESORES)		
F	PARTICULAS ARENOSAS, ROCA DESINTEGRADA LIBRE DE ARCILLA, ETC.	25° - 30°
G	FUERTEMENTE SOBRECONSOLIDADOS, CON RELLENOS DE MINERALES ARCILLOSOS NO BLANDOS (CONTINUOS, PERO CON ESPESORES INFERIORES A 5 mm).	16° - 24°
H	SOBRECONSOLIDACIÓN MEDIA A BAJA, CON REBLANDECIMIENTO, RELLENOS DE MINERALES ARCILLOSOS (CONTINUOS, PERO DE ESPESORES INFERIORES A 5 mm).	12° - 16°
J	RELLENOS DE ARCILLAS EXPANSIVAS, ES DECIR, MONTMORILLONITA (CONTINUOS, PERO CON ESPESORES INFERIORES A 5 mm). EL VALOR DE Ja DEPENDE DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS CON TAMAÑOS SIMILARES A LOS DE LAS ARCILLAS EXPANSIVAS	6° - 12°
c) NO SE PRODUCE CONTACTO ENTRE LOS PLANOS DE LA DISCONTINUIDAD ANTE UN DESPLAZAMIENTO CORTANTE (RELLENOS DE MINERAL DE GRAN ESPESOR).		
K	ZONAS O BANDAS DE ROCA DESINTEGRADA O TRITURADA Y ARCILLAS (VER CLASE G PARA LA DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE LAS ARCILLAS).	6,8 o 8-12
L	ZONAS O BANDAS DE ROCA DESINTEGRADA O TRITURADA Y ARCILLAS (VER CLASE H PARA LA DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE LAS ARCILLAS).	6,8 o 8-12
M	ZONAS O BANDAS DE ROCA DESINTEGRADA O TRITURADA Y ARCILLAS (VER CLASE J PARA LA DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE LAS ARCILLAS).	6,8 o 8-12
N	ZONAS O BANDAS DE ARCILLAS LIMOSAS O ARENOSAS, CON PEQUEÑAS FRACCIONES DE ARCILLAS NO REBLANDECIBLES.	5
O	ZONAS O BANDAS CONTINUAS DE ARCILLAS, DE ESPESOR GRUESO (VER CLASE G PARA LA DESCRIPCIÓN DE LA CONDICIONES DE LAS ARCILLAS)	10-13 o 13-20
P	ZONAS O BANDAS CONTINUAS DE ARCILLAS, DE ESPESOR GRUESO (VER CLASE H PARA LA DESCRIPCIÓN DE LA CONDICIONES DE LAS ARCILLAS)	10-13 o 13-20
R	ZONAS O BANDAS CONTINUAS DE ARCILLAS, DE ESPESOR GRUESO (VER CLASE J PARA LA DESCRIPCIÓN DE LA CONDICIONES DE LAS ARCILLAS)	10-13 o 13-20

Jw - FACTOR DE REDUCCIÓN POR LA PRESENCIA DE AGUA

A	EXCAVACIONES SECAS O PEQUEÑAS AFLUENCIAS, INFERIORES A 5 l/min, DE FORMA LOCALIZADA	< 1 kg/cm ²	1
B	AFLUENCIA A PRESIÓN MEDIA, CON LAVADO OCASIONAL DE LOS RELLENOS DE LAS DISCONTINUIDADES	1 - 2,5 kg/cm ²	0,66
C	AFLUENCIA IMPORTANTE O PRESIÓN ALTA, EN ROCAS COMPETENTES CON DISCONTINUIDADES SIN RELLENO	2,5-10 kg/cm ²	0,50
D	AFLUENCIA IMPORTANTE O PRESIÓN ALTA, PRODUCIÉNDOSE UN LAVADO CONSIDERABLE DE LOS RELLENOS DE LA DIACLASAS	2,5-10 kg/cm ²	0,33
E	AFLUENCIA EXCEPCIONALMENTE ALTA, O PRESIÓN ELEVADA EN EL MOMENTO DE REALIZAR LAS VOLADURAS, DECRECIENDO CON EL TIEMPO.	> 10 kg/cm ²	0,2 - 0,1
F	AFLUENCIA EXCEPCIONALMENTE ALTA, O PRESIÓN ELEVADA DE CARÁCTER PERSISTENTE, SIN DISMINUCIÓN APRECIABLE	> 10 kg/cm ²	0,1 - 0,05

SRF - CONDICIONES TENSIONALES DE LA ROCA

a) LAS ZONAS DÉBILES INTERSECTAN A LA EXCAVACIÓN, PUDIENDO PRODUCIRSE DESPRENDIMIENTOS DE ROCA A MEDIDA QUE LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL VA AVANZANDO			
A	MÚLTIPLES ZONAS DÉBILES, CONTENIENDO ARCILLA O ROCA DESINTEGRADA QUÍMICAMENTE, ROCA DE CONTORNO MUY SUELTA (A CUALQUIER PROFUNDIDAD)		10
B	ZONAS DÉBILES AISLADAS, CONTENIENDO ARCILLA O ROCA DESINTEGRADA QUÍMICAMENTE (PROFUNDIDAD DE LA EXCAVACIÓN ≤ 50 m)		5
C	ZONAS DÉBILES AISLADAS, CONTENIENDO ARCILLA O ROCA DESINTEGRADA QUÍMICAMENTE (PROFUNDIDAD DE LA EXCAVACIÓN > 50 m)		2,5
D	MÚLTIPLES ZONAS DE FRACTURAS EN ROCA COMPETENTE (LIBRES DE ARCILLAS), ROCA DE CONTORNO SUELTA (A CUALQUIER PROFUNDIDAD)		7,5
E	ZONAS DE FRACTURA AISLADAS EN ROCA COMPETENTE (LIBRES DE ARCILLAS) (PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN ≤ 50 m)		5
F	ZONAS DE FRACTURA AISLADAS EN ROCA COMPETENTE (LIBRES DE ARCILLAS) (PROFUNDIDAD DE LA EXCAVACIÓN > 50 m)		2,5
G	TERRENO SUELTO, DIACLASAS ABIERTAS, FUERTEMENTE FRACTURADO, EN TIRONES, ETC. (A CUALQUIER PROFUNDIDAD)		5
b) ROCAS COMPETENTES, PROBLEMAS TENSIONALES EN LAS ROCAS			
H	TENSIONES PEQUEÑAS CERCA DE LA SUPERFICIE, DIACLASAS ABIERTAS	σ_c / σ_1 > 200	σ_3 / σ_1 < 0,01
J	TENSIONES MEDIAS, CONDICIONES TENSIONALES FAVORABLES	200 - 10	0,01 - 0,3
K	TENSIONES ELEVADAS, ESTRUCTURA MUY COMPACTA, NORMALMENTE FAVORABLE PARA LA ESTABILIDAD, PUEDE SER DESFAVORABLE PARA LA ESTABILIDAD DE LOS HASTIALES	10 - 5	0,3 - 0,4
L	LAJAMIENTO MODERADO DE LA ROCA DESPUÉS DE 1 HORA EN ROCAS MASIVAS	5 - 3	0,5 - 0,65
M	LAJAMIENTO Y ESTALLIDO DE LA ROCA DESPUÉS DE ALGUNOS MINUTOS ENROCAS MASIVAS	3 - 2	0,65 - 1
N	ESTALLIDOS VIOLENTOS DE LA ROCA (DEFORMACIÓN EXPLOSIVA) Y DEFORMACIONES DINÁMICAS INMEDIATAS EN ROCAS MASIVAS	< 2	> 1
c) ROCAS DEFORMABLES: FLUJO PLÁSTICO DE ROCA INCOMPETENTE SOMETIDA A ALTAS PRESIONES LITOSTÁTICAS			
O	PRESIÓN DE DEFORMACIÓN BAJA	1 - 5	5 - 10
P	PRESIÓN DE DEFORMACIÓN ALTA	> 5	10 - 20
d) ROCAS EXPANSIVAS: ACTIVIDAD EXPANSIVA QUÍMICA DEPENDIENDO DE LA PRESENCIA DE AGUA.			
R	PRESIÓN DE EXPANSIÓN BAJA		5 - 10
S	PRESIÓN DE EXPANSIÓN ALTA		10 - 15

ECUACIÓN DE Q-BARTON

$$Q = (RQD/Jn) \times (Jr/Ja) \times (Jw/SRF)$$

$\frac{RQD}{Jn} = \quad \quad \quad \frac{Jr}{Ja} = \quad \quad \quad \frac{Jw}{SRF} =$

Q =

CLASES DE TRATAMIENTO			
VALOR DE Q		TRATAMIENTO	
Q>50		I	
5<Q<50		II	
0,7<Q<5		III	
0,07<Q<0,7		IV	
Q<0,07		V	
CLASE DE MACIZO (BARTON, 2002)			
VALOR DE Q	DESCRIPCIÓN	VALOR DE Q	DESCRIPCIÓN
0,001 - 0,01	EXCEPCIONALMENTE MALO	4 - 10	REGULAR
0,01 - 0,1	EXTREMADAMENTE MALO	10 - 40	BUENO
0,1 - 1	MUY MALO	40 - 100	MUY BUENO
1 - 4	MALO	100 - 400	EXTREMADAMENTE BUENO
		400 - 1000	EXCEPCIONALMENTE BUENO

Clase de Tratamiento: _____ Clase de Macizo: _____

Codigo INTT: 1407-PR-8-..... Supervisión: Intertechne - Geologia: Intertechne - Geologia: CNO - Producción: Supervisión:

Codigo Cliente: PECH-DE6-1-..... Fecha: __/__/____ Fecha: __/__/____ Fecha: __/__/____ Fecha: __/__/____

Hora: __: __ Hora: __: __ Hora: __: __ Hora: __: __