

# Simposio Suramericano de Excavaciones en Roca Costa Rica, 2012

**Excavación con TBM**

 **srk** consulting

# El Túnel CIPRESES en el Proyecto Hidroeléctrico Chacayes

Agosto 7-9, 2012  
Costa Rica.

**Autores: G. Perri (\*) y L. Zurbaran A (+)**

(\*) Profesor de Proyectos de Túneles Universidad Central de Venezuela.

(+) Ingeniero Geólogo Senior en SRK Consulting Chile.

EL TÚNEL HIDRÁULICO “CIPRESES” EXCAVADO EN  
ANDESITAS CON TBM ABIERTA EN CHACAYES, CHILE  
2009 - 2010.

# Generalidades del Proyecto Hidroeléctrico CHACAYES

Proyecto  
construido por:  
ASTALDI S.P.A  
2008-2010

## • Obras Subterráneas

- 4 Túneles excavados con Drill & Blasting
- 1 Túnel mediante TBM
- 1 Chimenea y Pique vertical

## • Obras Superficiales

- Canales
- Bocatoma
- Casa de maquinas, Caminos, Piscinas, etc.
- Capacidad de generar 111 MW

# Tunnel Boring Machine

TBM tipo Wirth TB  
400/500 E  
Fase de Montaje



# El Túnel Hidráulico CIPRESES

Excavado  
mediante TBM  
abierta tipo Wirth  
TB 400/500 E

- Excavación Drill & Blasting, 200,74 m
- Excavación con TBM , 2.367,26 m
- Longitud total 2.501 m
- Inicio el 08-08-2009
- Fin el 31-08-2010
- TBM  $\varnothing$  nominal de 5,01 m, 1.280 kW, Torque de 1.295 kN, Fuerza axial hasta 9.000 kN
- 12 zapatas (grippers) y 42 discos cortantes
- Ciclo de avance de 1,5 m

9/5/2010 8:15

# Geología Excavada

Fm Geológica Coya – Machali (Terciario Inf.)  
Principalmente en:

- Andesitas
- Tobas
- Brechas

Reserva Nacional  
CIPRESES  
VI Región, Chile

# Interpretación Geológica Túnel Cipreses

Geología  
Superficial

- El proyecto del túnel anticipaba condiciones geológicas estándares para un macizo rocoso andesítico bastante masivo, basado en los resultados de la geología de superficie y en la relativamente baja cobertura del túnel, la cual alcanzaría solo 200 metros como máximo.
- Por lo anterior y considerando las dificultades de acceso para los equipos exploratorios a lo largo del trazado, no se efectuaron perforaciones diagnósticas.

# Geología y Geomecánica

Clasificación  
Geomecánica  
Rock Massing  
Rating  
(RMR, 1989)

GSI

Clase de Comportamiento de la Excavación	I	II	III	IV	V
RMR-GSI	RMR>70	46-70	31-45	16-30	RMR≤15



# Geología y Geomecánica

- 1% Clase I, (Andesitas y Tobas)
- 76% Clase II, (Brechas y Andesitas)
- 18% Clase III, (Brechas con intenso fracturamiento y rellenos blandos)
- 1% Clase IV, (Roca brechoide fracturada y muy alterada)
- 4% Clase V (Paleocauce, bolones con  $\emptyset$  hasta 200 cm embebidos en una matriz húmeda areno-limosa)

Clasificación  
Geomecánica  
Rock Massting  
Rating  
(RMR, 1989)

# Clase de Comportamiento de la Excavación

Clasificación  
Geomecánica  
Rock Massting  
Rating  
(RMR, 1989)

Soporte Básico Aplicado	Clase de Excavación
Pernos de acero ocasionales L:2m, Ø:25mm, 4 pernos cada 15 m lineales de túnel.	Clase I
Pernos de acero sistematicos en bóveda, malla de 2x2 m, L:2m, Ø:25 mm.	Clase II
Pernos de acero sistematicos en bóveda, L:2m, Ø:25mm, malla de 2x2. Pernos ocasionales en paredes cada 15 m lineales de túnel.	Clase III

# Clase de Comportamiento de la Excavación

Clasificación  
Geomecánica  
Rock Massting  
Rating  
(RMR, 1989)

Soporte Básico Aplicado	Clase de Excavación
Marcos metálicos espaciados 1m c/u + concreto proyectado con fibras, e: 5 cm y perforación de subdrenes.	Clase IV
Marcos metálicos cada 75 cm + concreto proyectado con fibras, e: 12 cm sobre todo el perímetro y ocasionalmente en el frente / micropilotes de pre soporte + <i>grouting</i> de consolidación + concreto proyectado con fibras y subdrenes.	Clase V

# Imprevistos Geológicos

## Clase V

### PALEOCAUCES

1er paleocauce interceptado, 20 metros  
2do paleocauce interceptado, 70 metros

- Gravas de cantos subredondeados  $\leq 5$  cm
- Matriz areno-limosa
- Flujos de agua
- Bolones subredondeados (5 cm hasta 2 m)
- Matriz con baja cementación y escasa capacidad de autosoporte

Avances Cortos

# Metodología de Avance en Clase V

Ciclos de Avance  
Condicionados

- Sondajes exploratorios desde el back up
- Avances lentos y cortos (TBM)
- Movilización de forma manual de bolones
- Inspecciones al frente de excavación
- Aplicación de sostenimiento inmediato
- Monitoreo y control
- Medidas de refuerzo en el sostenimiento aplicado

# Presencia de Agua

Flujos  
Localizados



- Febrero del 2010 a razón de 4.287 m<sup>3</sup>/día
- Marzo del 2010 a razón de 6.500 m<sup>3</sup>/día

# Monitoreo y Control

Límite máximo  
aceptable 1% R<sub>o</sub>

- Instalación de estaciones de convergencia (estación total y extensómetro)
  - ✓ Nivel de advertencia 0,5 cm.
  - ✓ Nivel de atención 1 cm.
  - ✓ Nivel de alarma 2 cm.
- Inspección visual de zonas con potencial movimiento.

# Fotografías Paleocauce

E10-05-2010,  
primera evidencia  
sector derecho  
hidráulico, bolones  
hasta 30 cm





# Fotografías Paleocauce

El 10-05-2010,  
se continúa la  
excavación  
donde se  
intercepta aún  
más la Clase V



# Fotografías Paleocauce

Matriz areno -  
limosa y  
bolones hasta  
35 cm, Clase V



# Fotografías Paleocauce

Extracción manual  
de gran bolón de  
roca que  
conforma el  
paleocauce



# Fotografías Paleocauce

Bolón de roca  
con  $\varnothing$  mayor  
de 200 cm



# Fotografías Paleocauce

Bolones de rocas  
con  $\varnothing$  mayor de  
200 cm



# Perforación Exploratoria

Perforación  
Exploratoria



Perforación de 25 m

Bollones de rocas en  
matriz arenosa



# Inspección Visual

Inspección en la  
cabeza de la TBM



# Paleocauce

Bolones de roca en matriz arenosa cortados por la TBM



Bolones de roca subredondeados y subangulares



Bolones cortados por la TBM



# Sostenimiento

Marcos metálicos  
cada 75 cm y 12  
cm de concreto  
proyectado  
fibroreforzado



# Marcos Metálicos

Campo de marcos  
metálicos  
instalados



**Distanciados hasta 1 m**

# Micropilotes

Paraguas de  
Micropilotes

- Se encontraron notables dificultades en conformar los paraguas de micropilotes, pero finalmente los aproximados 70 metros lineales de extensión de este segundo paleocauce, pudieron ser excavados y se requirieron para ello en total unos 32 días calendarios, con un avance efectivo promedio en este tramo de un poco más de un par de metros por día.

# Monitoreo y Control

Estaciones de  
convergencia  
instaladas  
Clase V



# Ultimos metros de Excavación



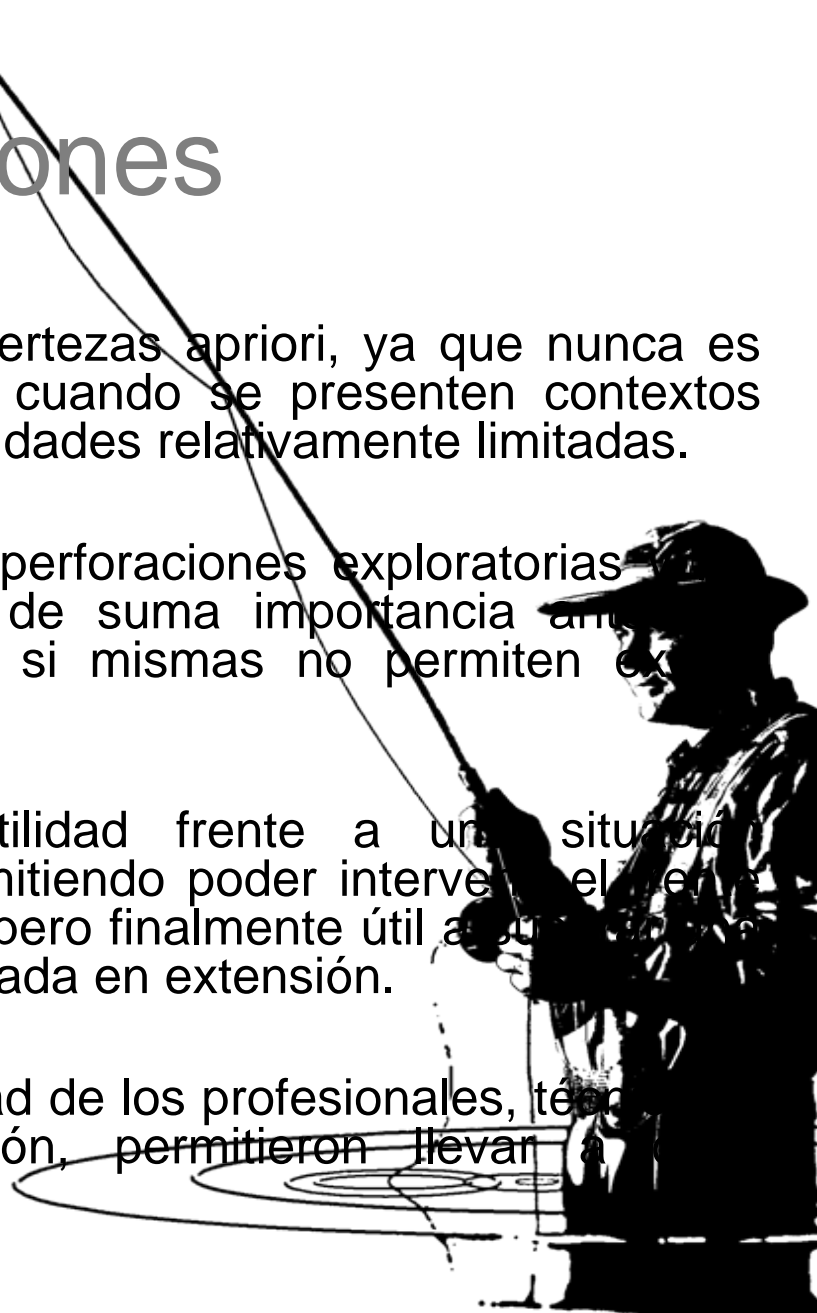
Ultimos metros de  
la excavación  
Clase III

Ultimos metros de Excavación

 **srk** consulting

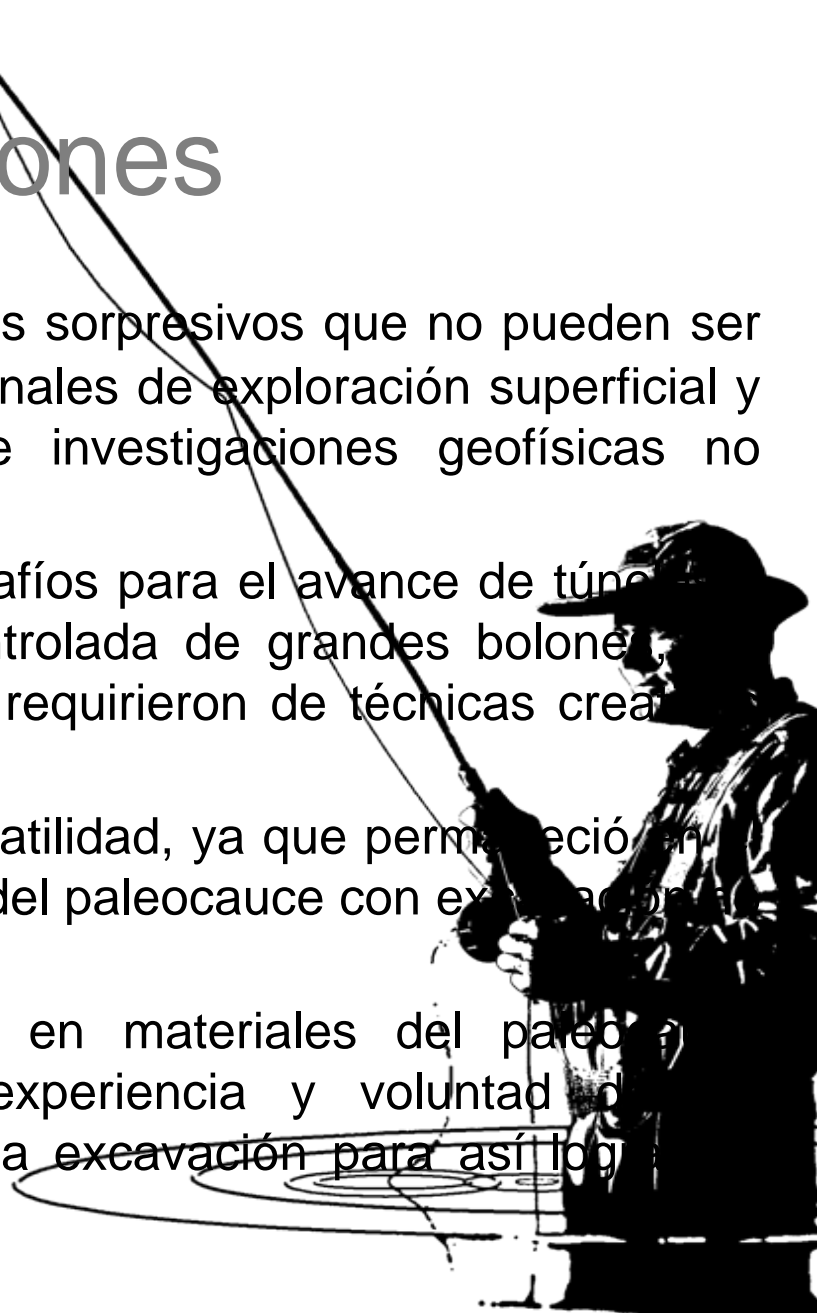
# Conclusiones

- En obras subterráneas no existen total certezas a priori, ya que nunca es excluible la sorpresa o la atipicidad, aun cuando se presenten contextos aparentemente homogéneos y bajo profundidades relativamente limitadas.
- La exploración geológica superficial, las perforaciones exploratorias, las investigaciones geofísicas, aunque son de suma importancia ante emprender un proyecto subterráneo, por si mismas no permiten excluir escenarios sorpresivos.
- La TBM abierta comprobó su versatilidad frente a una situación definitivamente y críticamente atípica, permitiendo poder intervenir en la de excavación de manera no mecanizada, pero finalmente útil a pesar de la criticidad severa, aunque relativamente limitada en extensión.
- Solamente la gran experiencia y la voluntad de los profesionales, técnicos y operadores encargados de la excavación, permitieron llevar a cabo satisfactoriamente el excepcional logro.



# Conclusiones

- Existen escenarios geológicos-geotécnicos sorpresivos que no pueden ser reconocidos a través de criterios convencionales de exploración superficial y donde aun perforaciones exploratorias e investigaciones geofísicas no aseguran detectarlos.
- Los paleo cauces presentan grandes desafíos para el avance de túnel, en este caso particular la excavación controlada de grandes bolones, como el flujo de agua al interior del túnel requirieron de técnicas creativas que funcionaron exitosamente.
- La maquina TBM abierta confirmó su versatilidad, ya que permitió el avance en el túnel permitiendo un avance en el material del paleocauce con excavación mecanizada.
- Las decisiones en obra para avanzar en materiales del paleocauce requirieron de todo el nivel técnico, experiencia y voluntad de los profesionales y operarios encargados de la excavación para así lograr un avance satisfactorio ante tales condiciones



# Gracias!



Túnel CIPRESES 2.568 m con TBM

 **srk** consulting



# Autores.

- Gianfranco Perri,  
[gianfrancoperri@gmail.com](mailto:gianfrancoperri@gmail.com)

- Luis Zurbarán Aguirre,  
[lzurbaran@srk.cl](mailto:lzurbaran@srk.cl) / [javierbjj79@gmail.com](mailto:javierbjj79@gmail.com)