4) LAUREANO CORNEJO ÁLVAREZ

I Congreso Latino Americano de Obras Subterráneas. ITA TÚNELES 3-7 Junio 1984

Caracas (Venezuela).

Publicación:

"López Angostura Túnel Desing and Construction".

López Angostura Tunnel Desing and Construction

KLAUS MUSSGER — Atlanta, USA; Law-Geoconsult
LAUREANO CORNEJO — Madrid, España; Agroman Empresa Constructora, S.A.

1.- INTRODUCCION.-

El Proyecto hidroeléctrico de "Lopez - Angostura", que actualmente se construye en la República Dominicana para la compañia de Electricidad (CDE), forma parte del Complejo Tavera y tiene como objetivo permitir la operación en pico de la central de Tavera y la futura de Bao, aprovechando las aguas turbinadas mediante la construcción de una presa de contraembalse de 44 millones de m3. de capacidad.

El agua almecenada en el contraembalse se conducirá, mediante un túnel de carga de 3,9 Km. hasta la central hidroeléctrica de la Angostura en la que va ubicada una turbina tipo Francis de 18 MW de potencia y capaz de una producción media anual de 128 GWh.

De la construcción de este túnel trata el presente artículo.

2.- CARACTERISTICAS GENERALES DEL TUNEL.-

LONGITUD: 3,9 Km.

DIAMENTRO INTERIOR: 4,20 m.

PENDIENTE: 0,45%

FRENTES DE ATAQUE: 4; Boca nº 1 y Boca nº 4 (bocas - extremas)

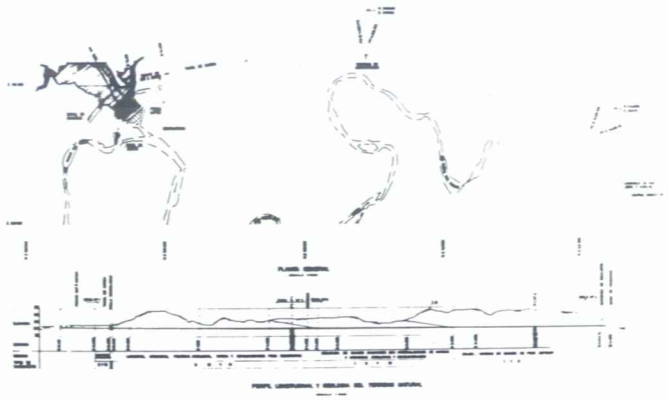
Boca nº 2 y Boca nº 3 (ataque por ventana)

(VER FIGURA Nº 1)

3.- INFORMACION GEOLOGICA.-

El túnel atraviesa en su primer tramo desde la boca nº 1, a partir del contraembalse Lopez la facies flysch de la formación Tavera (lutitas), atravesando seguidamente, en una longitud aproximada de 1.500 m. margas y conglomerados calcáreos, para en el último tramo de unos 2.000 m., adentrase en las calizas coralinas de la formación Baitoa.

Se trata de unas formaciones sedimentarias de origen marino en las que predominan los terrenos blandos y en los que aparecen intercalaciones de pequeño expesor de materiales calcáreos más duros.



4.- PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS.-

4.1.- Proyecto.- El proyecto y la ejecución posterior, se han desarrollado en base a los principios fundamentales del Nuevo Método Austriaco (NMA), contando para ello con el asesoramiento de la firma Geoconsult (Salzsburgo)

En el proyecto se han definido cuatro tipos de terreno en base a los tiempos de estabilidad sin sostenimiento para una longitud de avance determinada.

Estos terrenos son los siguientes:

Terreno Tipo I.-

Los componen las calizas, conglomerados, areniscas y pizarras arcillosas masivas con un mínimo grado de fracturación.

Terreno tipo II.-

Lo componen todos aquellos terrenos que presenten una inestabilidad en clave a las 24 h. de su excavación y para una longitud de avance sin sostenimiento de 4 m.

Terreno tipo III.-

Pertenecen a este tipo los terrenos que presentan una inestabilidad en clave a las 3 horas de su excavación y para una longitud de avance sin sostenimiento de 2 m. Se incluyenen en este tipo las limolitas, pizarras arcillosas y margas con presencia significativa de agua.

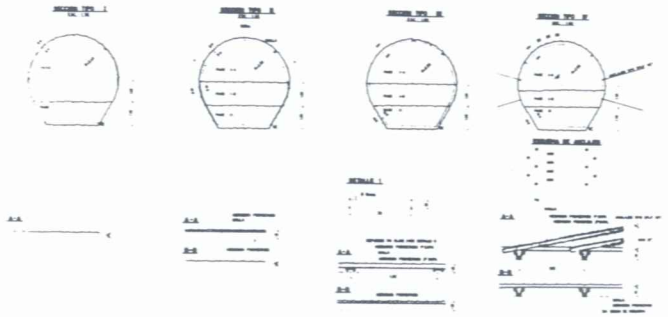
Terreno tipo IV.-

Se incluyen en este tipo los terrenos que manifiesten una inestabilidad en clave en el mismo momento de su excavación.

Para cada tipo de terreno se ha definido tambien un tipo de sostenimiento como puede verse en la figura nº 2

El sostenimiento esta formado por los siguientes elementos colocados en diversas cuantias según los tipos: a) Hormigón proyectado b) malla electrosoldada c) Pernos de anclaje d) Cercha metálica.

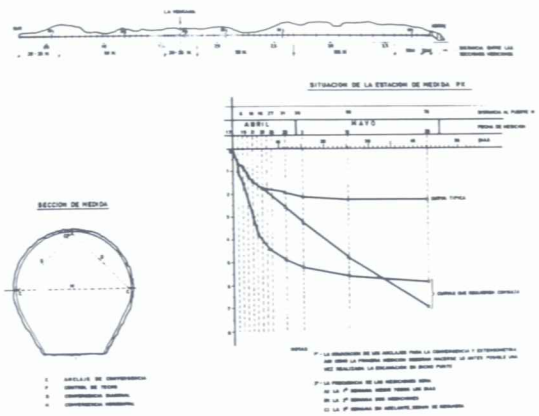
Todos estos componentes forman una piel flexible que, al permitir la deformación, reduce el nivel de presiones transmitidas por el terreno.



Los espesores del hormigón proyectado varian entre 5 y 15 cm; la malla es del tipo electrosoldada del nº 8; los pernos de anclaje son del tipo Split-Set de 2,50 m. de longitud; las cerchas metálicas son perfil TH-29 con una separación de 1,00 m.

Como técnica previa de consolidación y para los terrenos tipo IV, se ha proyectado un enfilaje previo a la excavación mediante 11 pernos Split-Set colocados en la zona de la clave con una inclinación máxima de 15º, repitiendose este enfilaje cada avance de 1,00 m.

El control de la eficacia del - sostenimiento dentro del,proceso constructivo se realiza me - diante mediciones sistemáticas de convergencia que registran - las deformaciones relativas que se producen hacia el interior - de la excavación. (Ver figura nº 3)



En el proyecto se limita la con vergencia máxima final a 5 cm. para los terrenos I y II y a 10 cm. para los terrenos tipo III y IV. Tambien se controla la ve locidad de la deformación de mo do que si la velocidad de defor mación media durante los tres - dias siguientes a la excavación supera los 0,5 cm/día, se proce da a reforzar el sostenimiento, bien instalando pernos de ancla- je más profundos o colocando - una capa adicional de hormigón proyectado.

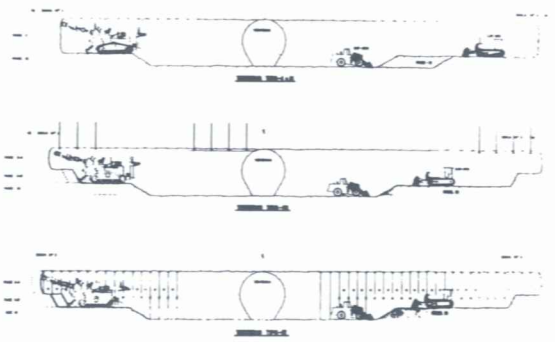
4.2.- Métodos Constructivos.- La exca vación del túnel se realiza de un modo simultáneo por cuatro - bocas; Las dos extremas nº 1 y nº 4 y las dos intermedias nº 2 y nº 3 mediante una ventana de ataque; se trabaja ininterrumpida mente durante las 24 horas del día excepto sábados y domingos.

Se ha puesto especial interés - en la elección de la maquinaria de excavación para los tramos - de roca blanda, de modo que cum pliran las dos condiciones prin cipales : a) Alterar mínima- mente durante la excavación las propiedades resistentes inicia- les del terreno. b) Conseguir altos rendimientos de excava - ción.

En base a ésto se decidió el em pleo de una máquina de excava - ción mecánica de ataque puntual (rozadora) marca Westfalia mode lo FL-5R-110 para la excavación por las bocas nº 2 y nº 3 (ven- tana) y una máquina retroexcava dora - cargadora marca SCHAEFF modelo HR5-211 para la excava - ción por la boca nº 1. Esta má- quina lleva incorporado un mar- tillo hidraulico Montabert y - tiene la particularidad de que ella misma carga el material que excava.

La excavación por la boca nº 4, por tratarse de calizas coralinas, se realiza mediante explosivos.

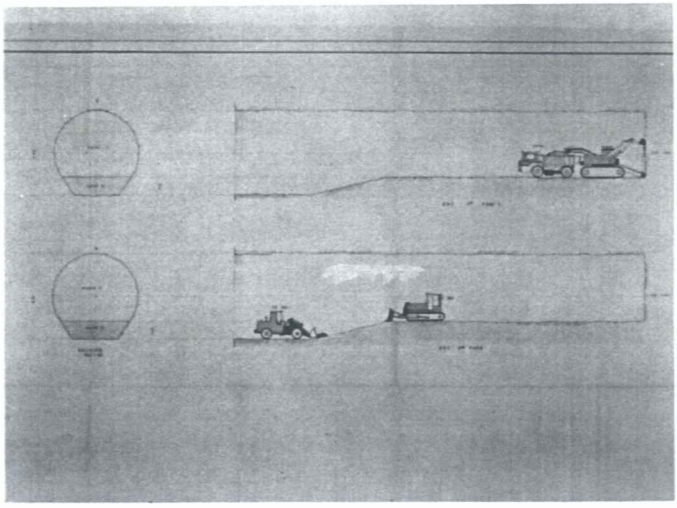
La excavación, en todos las bo- cas se realiza en 2 fases; en - las bocas nº 1, 2 y 3 con me - dios mecánicos como: retroexca- vadora, ó trascavator etc y en la boca nº 4 mediante voladuras de banqueo (Ver figuras nos. 4 y 5



Para la extracción de los escom- bros se emplean camiones de - asiento reversible que permite la conducción en ambas direccio nes, marca ASTRA modelo BM-2SA.

El hormigón proyectado se colo- ca por via seca utilizando equi pos compactos formados por ca - mión-tolva y máquina proyectado ra.

El control de la alineación se lleva con la ayuda de tubos la - ser.



5.- MAQUINARIA.-

Una relación de la maquinaria más importante utilizada en la construcción de los túneles es la siguiente:

1 Rozadora Westfalia FL-5R-110

1 Retro-cargadora SCHAEFF HRS-211

3 Camiones Reversibles ASTRA BM-2SA

1 Vagon perforador MONTABERT - Mini - pantoforo

8 Equipos perforadores manuales Montabert

1 Retro SCHAEFF SK-15

1 Cargadora 950 CAT

1 Cargadora 980 CAT

1 Cargadora Ebro

2 Camiones hormigonera ASTRA (hormigonado tunel)

5 Compresores betico (10 m3/min)

1 Compresor Gadner Denver (17 m3/min)

2 Grupos electrógenos (80KVA)

4 Máquinas gunitadoras MEYCO 060

2 Equipos compactos gunitadores

2 Bombas de hormigón SCHWING BP-130E

1 Central movil Barber-green (justificación de hormigón)

1 Planta de hormigonado

7 Ventiladores MT-SD-80/II Ø diámetro 800 mm.

4 Transformadores

2 Tubos laser.

6.- MARCHA DE LOS TRABAJOS.-

Se iniciaron estos en Julio del 83 - acometiendo primeramente la excavación de la ventana de ataque y el emboquillado de la boca nº 1.

6.1.- Ventana de ataque y bocas nº 2 y nº 3.- La excavación de la Ventana de ataque (aprox. 100 m) planteó problemas de estabilidad en clave; el terreno atravesado eran limolitas con intercalaciones delgadas de - algún banco calizo más duro. El terreno era permeable y - una vez excavado aparecia - agua, principalmente en la zona de la clave, que hacia ésta inestable. En estas condiciones la adherencia terreno hormigón proyectado no era especialmente buena; unido a esto se manisfestó una incompatibilidad entre el cemento - utilizado y el acelerante en polvo del hormigón proyectado. Todo esto daba como consecuencia que el hormigón proyectado a las 8 horas de colocado aun no había endurecido suficientemente y se producian - desprendimientos en clave del terreno y el hormigón proyectado.

Estos problemas se consiguieron resolver del siguiente modo:

1) Se cambió a un cemento mas reactivo de fraguado más - rapido.

2) Se cambió a un acelerante de acción más rápida e impermeabilizante.

3) Se efectuó un drenaje previo a la excavación mediante pernos Split-Set colocados en la zona de la clave e inclinados 15° hacia - arriba; detrás se completaba el drenaje colocando radialmente pernos Split-set

4) Se redujo el avance por ciclo a 1,00 m.

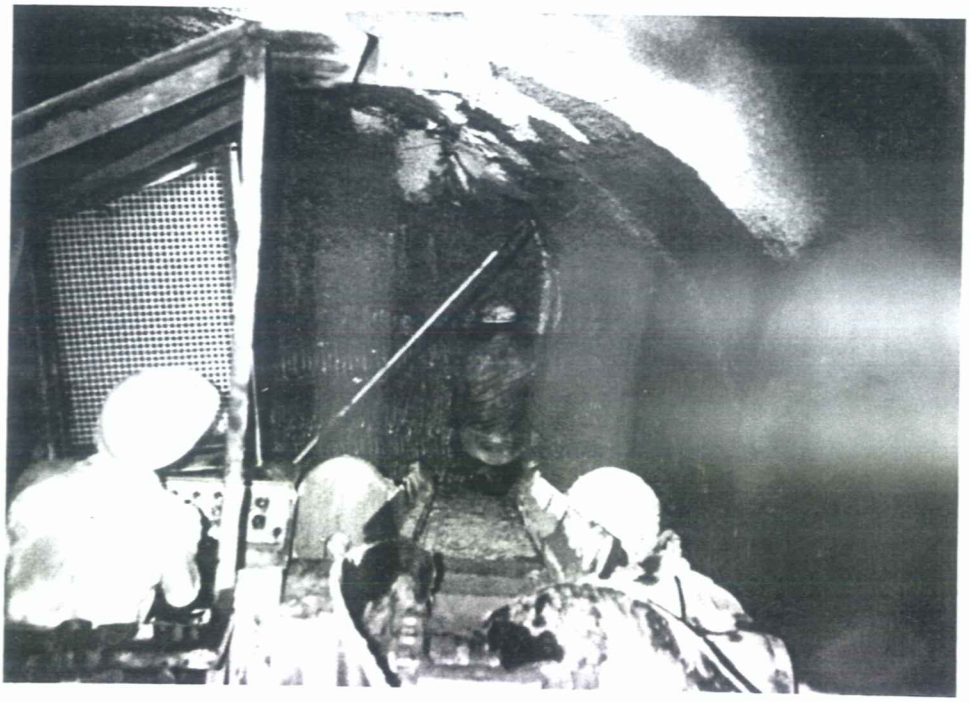
El avance por las bocas nº 2 y nº 3 viene afectado - por la misma problemática que la de la ventana ya - que son los mismos terrenos con pequeñas variaciones puntuales.

En consecuencia los avances se realizan en tramos cortos (1-1,2 m) con sostenimiento inmediato de la zona excavada y drenaje de las zonas de afluencia de agua.

Se trabaja de un modo alternativo cambiando la rozadura de - frente. Se ha llegado a efectuar avances de hasta 8 metros/día siendo los avances medios - de unos 4 m/día (VER FOTO Nº 1)

Dada la acumulación de agua en la solera ésta se hace intransitable por lo que periodicamente es necesario proceder a interrumpir el avace, excavar la segunda fase del tramo avanzado - en primera fase y hormigonar - una presolera.
Los trabajos de excavación en - estas bocas requieren una atención y una vigilancia especial ya que la conjunción de un terreno (limolita) blando y muy permeable junto con una afluencia de agua de un modo persistente, encierran el peligro de desprendimiento súbitos en clave; todo esto obliga a avanzar con mucha seguridad en detrimento de avances espectaculares pero inseguros.

Los terrenos que se van encontrando en el avance por bocas - nº 2 y nº 3 son muy variables - presentandose estratos alternados de limolitas, arenas limosas, margas y conglomerados; el espesor de los estratos no supera en ningún caso el espesor de 1,50 m. y siempre se avanza en presencia de agua.



En conglomerados el avance es - más rápido (6 m/día) en cambio en limolitas y margas saturadas de agua el avance se reduce a - 3,50 m/día siendo necesario colocar el sostenimiento inmediatamente despues de cada avance compuesto de hormigón proyectado (espesor 10 cm), malla metálica del nº 8 y refuerzo en clave; Tambien se colocan de un modo sistemático anclajes tipo Split-set que hacen a la vez de anclajes.

En los tramos de arenas limosas en presencia de agua el avance se reduce a 2,20 m. Como consecuencia del aumento en la fluencia del agua y el mayor riesgo de desprendimiento en clave.

6.2.- Boca nº 1.- Por este lado nos encontramos con una roca (lutita) blanda pero compacta con alguna fisuración en zonas y seca en los 120 mts. primeros, con alternancias de arenisca - que permitió un avance sin problemas y sin necesidad de colocar el sostenimiento de un modo inmediato.

Los cuatro primeros días de la semana se avanzaba y en el fin de semana se colocaba una capa de hormigón proyectado de 5 cm principalmente en la zona de - la clave.(VER FOTO Nº 2)

En estas circunstancias se han llegado a avanzar 7 m/día.

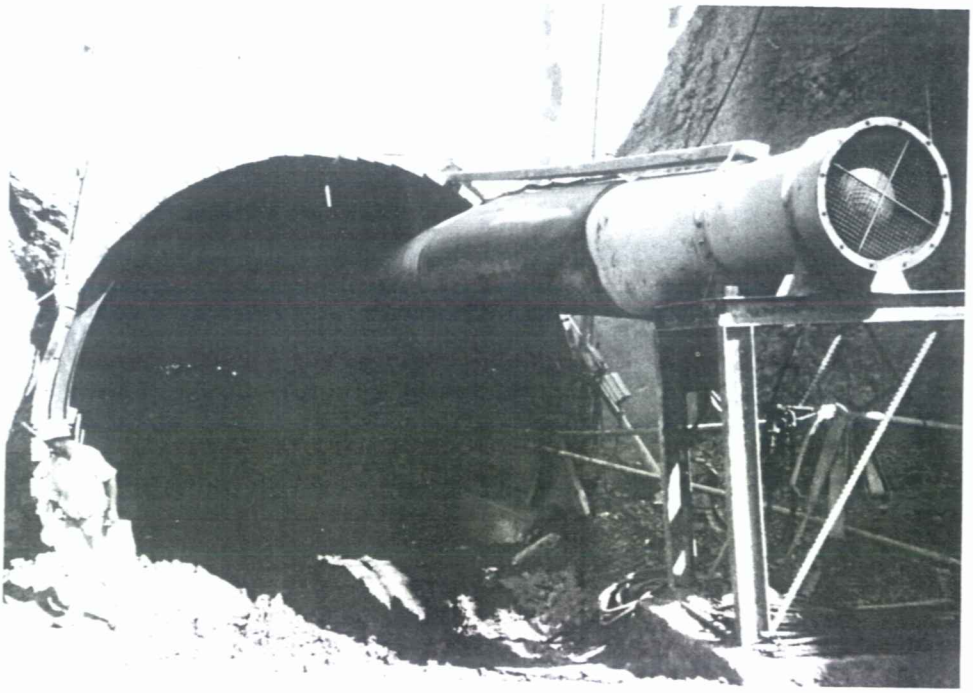
En el P.K. + 370 se produjo un cambio de litología con la aparición de conglomerados próbemente litificados en alternancia con limolita arenosa apareciendo filtraciones de agua que aunque no en cuantía importante si lo suficiente para disminuir la cohesión del terreno en la zona de la clave - disminuyendo tambien la adherencia terreno - hormigón proyectado.

Esto obliga a reducir el ritmo de avance y a construir una - presolera de hormigón ya que - de otro modo se hace imposible el transito de máquinas por el túnel.

En la estación 565 aumentan - las filtraciones con aparición de algunos chorros de agua.

Se colocan anclajes Split-set reforzados con malla que cumplen una doble función como - drenes.

6.3.- Boca nº 4.- Por este frente - atravesamos las calizas coralinas de una formación heterogenea en cuanto a la dureza de - los elementos que la componen;



presenta una buena estabilidad y competencia por lo que su excavación se realiza mediante explosivos.(VER FOTO Nº 3)

Para evitar la meteorización se proyecta en clave una capa de hormigón pero no de un modo inmediato despues de la excavación.

El avance medio es de unos 4m/día.

6.4.- Resumen.- Se trata de un túnel, salvo en el tramo de la boca nº 4, de terrenos blandos, heterogeneos y saturados de agua lo que obliga a avanzar en tramos cortos (1,20 m) con el sostenimiento pegado al frente.

La adherencia terreno-hormigón proyectado plantea problemas produciendose algunos desprendimientos generalmente pequeños en la zona de la clave.

Tanto el proyecto como la ejecución se esta desarrollando en base a los principios del NMA.

Para facilitar la estabilidad en los tramos de rocas blandas se excava con procedimientos mecánicos mediante máquina rozadora Westfalia WaV 178 y Retrocargadora Scheff HRS-112.