

EL TUNEL DE TARECUATO

Un resumen de los procedimientos de construcción utilizados
y de los resultados obtenidos

POR EL ING. ERNESTO BIESTRO M.

DE LA SECCION DE AVANCE DEL DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION DE LA COM. NAL. DE IRRIGACION

Con este artículo se inicia una serie de descripciones de los procedimientos de construcción empleados en los diversos túneles de las Obras de la Comisión Nacional de Irrigación. Continuará en el próximo número de esta revista con el correspondiente al Túnel de la Presa de La Angostura en Sonora

DATOS GENERALES

Este túnel está situado entre el Km. 1 + 120 y el Km. 2 + 088 del Canal que se utiliza para derivar las aguas del río Tarecuato con objeto de almacenarlas en la Presa de San Antonio Guaracha en el Estado de Michoacán.

Longitud: 968 M.

Pendiente: 0.005.

Curvas: No hay.

Clasificación: Túnel proyectado para trabajar como canal, con 1.50 M. de lámina de agua y un gasto de 8 M³/s.

Sección terminada: Herradura de 1.80 M. de diámetro en el tramo revestido y 2.10 M. en el tramo sin revestir.

Método de excavación: Ataque en dos frentes a sección completa.

Clase de revestimiento: Concreto simple sin refuerzo.

Iniciación

Excavación: 2 de marzo de 1936.

Revestimiento: 15 de octubre de 1937.

Inyecciones: 11 de abril de 1938.

Terminación

Excavación: octubre de 1937.

Revestimiento: febrero de 1938.

Inyecciones: septiembre de 1938.

Excavación

Material atacado: Material arcilloso compacto saturado y con boleo de roca dura en los 180 M. a partir de la entrada y 150 M. a partir de la salida. Entre los 180 M. y 290 M. a partir de la entrada, roca basáltica fracturada con intrusiones de material arcilloso. El resto, salvo unos 25 M., fueron en roca basáltica firme sumamente dura.

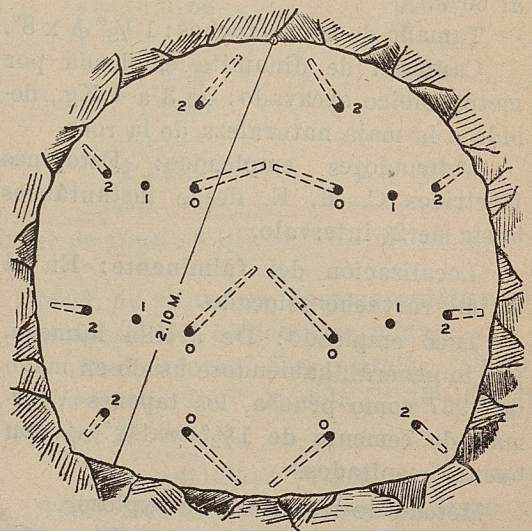
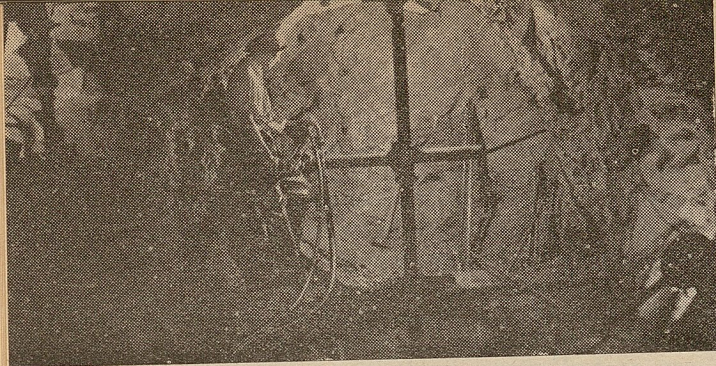
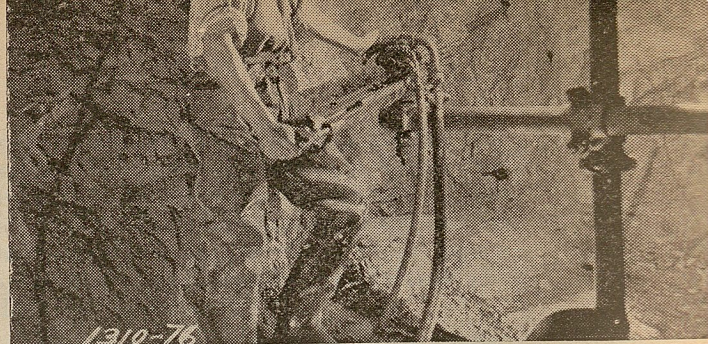


Figura N° 1.—Los números indican el orden de tronado. El viaje de los barrenos de cuña superiores estuvieron forzados en esa dirección por lo pequeño de la sección, que estorbaba el manejo de la perforadora DA-35.



Fotografía No 1.—Frente de ataque por el lado de la salida, mostrando la disposición de la perforadora DA-35. Mayo, de 1937.



Fotografía No 2.—Frente de ataque por el lado de la salida, mostrando la textura de la roca. Mayo de 1937.

Dimensiones de la sección tronada: Herradura de 2.10 M. de diámetro.

Localización y orden de tronado de los barrenos: En la figura No 1, se ha dibujado un croquis del método de poblado y tronado de la sección.

Profundidad de los barrenos: Muy variable desde 0.70 M. hasta 1.40 M. de acuerdo con las grietas del frente.

Máquinas perforadoras usadas: "Chicago Pneumatic Tool" Modelo CP-10 en el material arcilloso e "Ingersoll Rand" Modelos CA-35 y DA-35 en la roca.

Tipo de barrenación: Seca hasta octubre de 1936 y húmeda posteriormente.

Montaje de las máquinas: Inicialmente a pulso y después en columna vertical provista de un brazo horizontal.

Explosivos usados: Dinamita gelatina al 60%.

Tamaño de los cartuchos: $1 \frac{1}{8}'' \phi \times 8''$.

Cantidad de dinamita empleada por metro cúbico excavado: de 3 a 4 Kg., debido a la mala naturaleza de la roca.

Detonadores empleados: Estopines eléctricos C. M. E. desde instantáneos hasta de 2º intervalo.

Localización del fulminante: En el último cartucho colocado.

Taco empleado: De arcilla húmeda, por lo general, habiéndose usado en mayo de 1937 como prueba, los tapones Voorman de cemento de $1 \frac{1}{2}''$ y $1 \frac{1}{4}'' \phi$ con buenos resultados.

Método de tronado. Con explosor.

Barrenos disparados por: El perforista, que era al mismo tiempo el sobrestante del turno.

Tratamiento de los barrenos cebados: En estos casos, que abundaron por el mal estado de los estopines, se extrajo cuidadosamente el taco con una cucharilla especial, se introdujo un nuevo cartucho con su estopín y se tronó el barreno.

Modo de fracturarse del material: En fragmentos pequeños, debido a la gran cantidad de dinamita empleada por metro cúbico.

Longitud avanzada por tronada: Como máximo el 70% de la profundidad de los barrenos.

La extracción comenzaba: Más o menos 10 minutos después de tronar.

Volumen teórico por metro lineal de avance: 3.6 M³ en el tramo sin ademar y 5.4 M³ en el ademado. (El tramo sin revestir se excavó con 2.10 M. de diámetro, con objeto de dificultar un poco menos la perforación y extracción del material.)

Avance medio mensual: 51 M. L.

Ventilación: Se instaló equipo especial de ventilación, pero el mal estado de la tubería de conducción impidió su uso, por lo que sólo se tenía la ventilación proporcionada por el aire comprimido de las perforadoras.

Línea de alumbrado: Doble alambre de intemperie con focos de 125 Volts. y de 60 y 100 W.

Drenaje: En la salida se drenó por gravedad con una cuneta lateral; en la entrada se utilizó, desde el mes de mayo de 1936 en que las filtraciones eran de 3 litros por segundo, una bomba neumática de $2 \frac{1}{2}''$ con buenos resultados, pero

debido a la pequeña capacidad de las compresoras, sólo se podía bombear cuando no se barrenaba.

Método de extracción de la rezaga: Con vagonetas de $\frac{1}{3}$ hasta $\frac{3}{4}$ de M³ de capacidad.

Maquinaria de extracción: En el interior se usaron vagonetas acarreadas a mano y en el acarreo en el exterior por el lado de la salida se utilizó una pequeña locomotora.

Ancho de la vía y tamaño del riel usados: En la obra se recibieron rieles de diversos pesos: 12lb, 16lb y 25lb. El calibre en el interior del túnel fué de 0.60 M. por la entrada y 0.50 M. por la salida.

Espuela: En el exterior, por el lado de la entrada, se colocó una espuela como a 250 M. de la boca.

Acarreos: Por el lado de la entrada el tiradero se encontraba más o menos a 140 M. del portal y por la salida se tiró

la rezaga entre los 250 y 350 M. de distancia del portal.

Personal: En cada frente trabajan por turno: Un perforista (7.60), que era a la vez el sobrestante del turno, con dos ayudantes (\$ 4.24) y una cuadrilla de rezagueros compuesta de un cabo (\$ 3.36) con ocho o diez peones (\$ 2.40 a \$ 1.84).

Tiempo del ciclo: Se trabajaron tres turnos diarios y se hacían como promedio dos ciclos completos en todo el día. (Barrénación, tronado y extracción).

Volumen teórico total de la excavación del túnel: 4,425 metros cúbicos.

Volumen excavado total: 5,145 metros cúbicos. (1,633 M³ de Clase II y 3,512 M³ de Clase III.)

Sobreexcavación: 720 M³ = 16.3%.

Coso unitario directo por metro cúbico:

No se presenta el análisis total del costo unitario, debido a que en los Informes de Costos de la Obra de esa época se englobaban los análisis de los cargos del túnel y de los tajos:

Concepto	Importe directo	Costo unitario m ³ excavado	directo por: m ³ teórico
Excavación:	\$ 152,016.62	\$ 29.54	\$ 34.35
Bombeo:	4,808.16	0.93	1.09
Escombros:	2,865.00	0.56	0.65
Obras para const.			
en seco:	1,674.28	0.33	0.38
Desazolve. (Cl. IV):	715.80	0.14	0.16
Totales:	\$ 162,079.86	\$ 31.50	\$ 36.63

Costo directo de excavación por metro lineal de túnel: \$ 167.43 (Sin incluir ademe)

Equipo usado

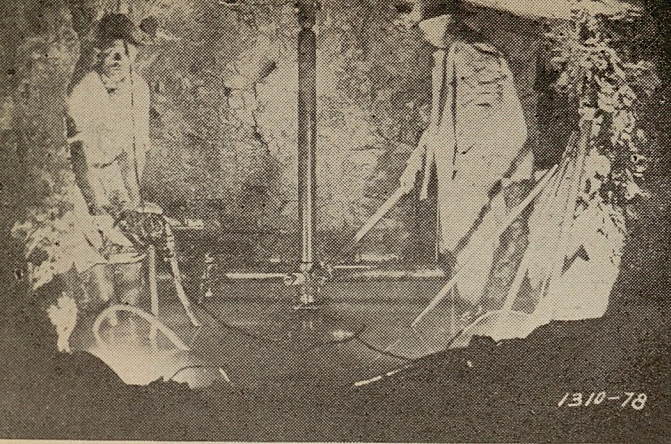
Aire comprimido: 3 compresoras "Chicago Pneumatic Tool", Modelo 210 de 210 pies cúbicos de aire por minuto, Tipo 4 con motor Diessel "Hércules" de 6 cilindros y 870 r.p.m., con arranque de motor de gasolina "Hércules" de 4 cilindros y montadas sobre ruedas de acero.

De ellas sólo se usaron dos a la vez, una en cada lado. Estas compresoras a

5000' de altura en Tarecuato daban más o menos 198' cúbicos por minuto.

Perforadoras: Dos pistolas "Chicago Pneumatic Tool" Modelo CP-10 para trabajar en seco.

Tres pistolas "Chicago Pneumatic Tool" Modelo CP-10 húmedas. Estas pistolas estaban en tal estado que consumían casi el doble del volumen normal de aire comprimido.



Fotografía N° 3.—Frente de ataque por la entrada inundado porque el material de la excavación impide la salida del agua, dificultando la perforación de los barrenos de piso. Junio de 1937.

Dos pistolas rompedoras neumáticas "Ingersoll Rand" Tipo CA-35.

Dos rompedoras "Ingersoll Rand" Tipo DA-35 de alimentación manual y broqueo de $1\frac{1}{8}$ " (29 mm.). Estas perforadoras a la altura de Tarecuato consumían 218' cúbicos por minuto, por lo cual fueron inadecuadas para las compresoras que sólo producían 198' cúbicos por minuto.

Soportes: Dos columnas completas con brazo universal, silla, collar y barra Jack N° C-32 de $3\frac{1}{2}$ ' de largo.

Cuatro carros montadores para adaptar pistolas CP-10 sobre las columnas G-58.

Accesorios: Dos tanques N° 7,500 portátiles para agua con capacidad de 67 litros.

Explosores: Dos aparatos marca "Atlas" N° 3 para 50 explosiones.

Plantas de luz: Una planta eléctrica "Allis Chalmers" de corriente directa de 5 K. W., 110 V. y 45.5 A., equipada con motor "Le Roi" de 15 H. P. Esta planta trabajó inicialmente para el alumbrado del campamento y del túnel, pero después se destinó exclusivamente para el primero.

Una planta Kohler de $1\frac{1}{2}$ K. W. y 110 V. con motor de 15 H. P.

Una planta Nelson Bros de $1\frac{1}{2}$ K. W. corriente directa de 115 a 125 V. con motor "Jumbo" de gasolina de 3 H. P.

Ventilación: Se instalaron dos venti-

ladores: Uno "Búfalo" N° 24 y otro "Coppus" Tipo T., pero no se usaron por el mal estado de la tubería de conducción.

Acarreo: El equipo proporcionado a esta obra fué de dos calibres, lo que obligaba a tender las vías con tres rieles con modificaciones continuas de cambios y durmientes, lo que originaba dificultades:

12 Vagonetas "Koppel" de volteo para todos lados, con capacidad de 0.333 M³ para vía de 50 cm.

9 carros volteo de 0.75 M³ de capacidad, en forma de V, para vía de 60 cm. con chumaceras de rodillos.

Una locomotora Whitcomb con motor "Continental".

Acero para barrenas: Redondo perforado de $1\frac{1}{8}$ " ϕ de diámetro con brocas desmontables (jack y timken bits) desde $1\frac{5}{8}$ " ϕ hasta $2\frac{1}{4}$ " ϕ .

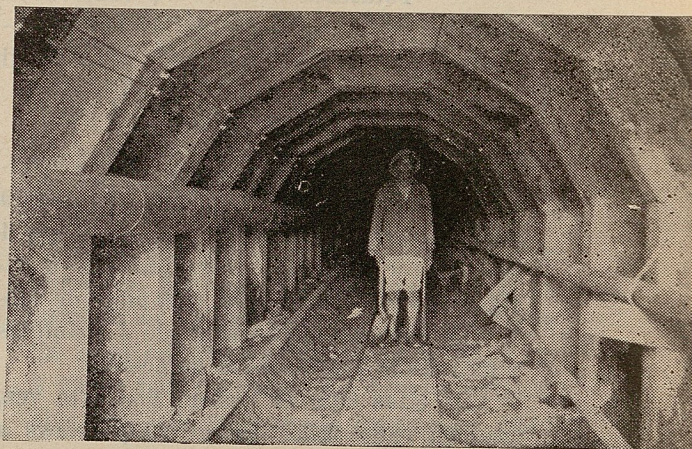
Fraguas: Una fragua con ventilador "Búfalo" de 24" \times 30" \times 6" con abanico de 12".

Una fragua de mano "Búfalo" N° 61.

Aguzadoras y afiladoras: Una afiladora de brocas (Jack bits) "Ingersoll Rand" Tipo JA-4 operada con aire comprimido.

Una aguzadora "Ingersoll Rand" Modelo I-R 50, operada también con aire comprimido.

Foto N° 4.—Tramo del túnel por el lado de la entrada mostrándose el ademe y las tuberías para aire comprimido, agua, desagüe y ventilación. Esta última no se utilizó.



Un esmeril de 5" "Boker" con manija H-7-5.

Ademes

Longitud del tramo ademado: 290 M. a partir de la entrada, 204 M. a partir de la salida y 28 M. aislados por el centro del túnel. En total: 522 M.

Forma de ademar la sección: Primero, provisionalmente con marcos de madera de 8" \times 8" sobre los que se apoyaban tablonces de 2" \times 12". Después se sustituyó por el definitivo consistente en marcos de madera de 10" \times 10" formados por secciones, mejor ajustados al contorno de la galería y separados de 1 M. hasta 2.50 M., apoyando en ellos tablonces de 2" \times 12" \times 10' para formar el cielo y las paredes del túnel.

Relleno: Los huecos comprendidos entre la cubierta de madera y el intradós de la galería se rellenaron con piedra quebrada bien retacada.

Importe directo: \$ 24,679.18.

Costo unitario directo por metro lineal ademado: \$ 47.28.

Revestimiento

Longitud del tramo revestido con concreto: 522 M. (El mismo ademado.)

Sección obtenida: Muy variable, pero siendo en teoría una herradura de 2.10 M. de diámetro, más el espacio ocupado por el ademe.

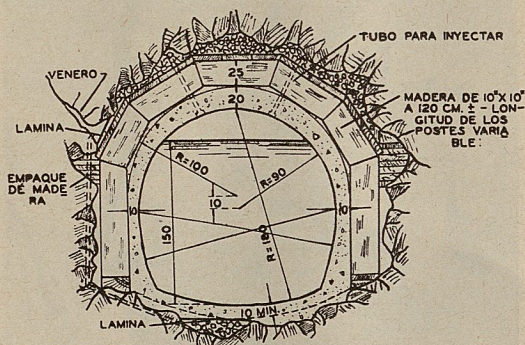
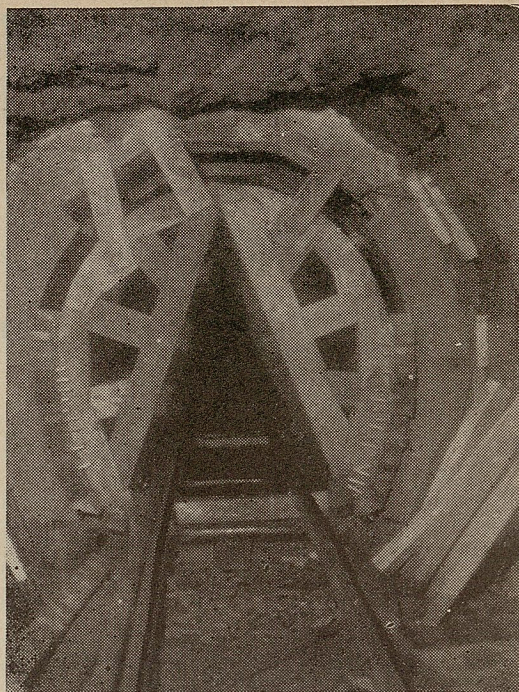


Figura N° 2.—Sección del Túnel mostrando el ademe y revestimiento empleados.



Fotografía N° 5. Los dos lados de la forma se unen en la parte superior por medio de una bisagra para facilitar las maniobras. Oct. de 1937.

Sección terminada: Herradura de 1.80 metro de diámetro.

Formas usadas: Cerchas desarmables de madera, en forma de herradura, en secciones formando gajos, con largueros de 2" \times 4" \times 10' de canto alrededor de ellas.

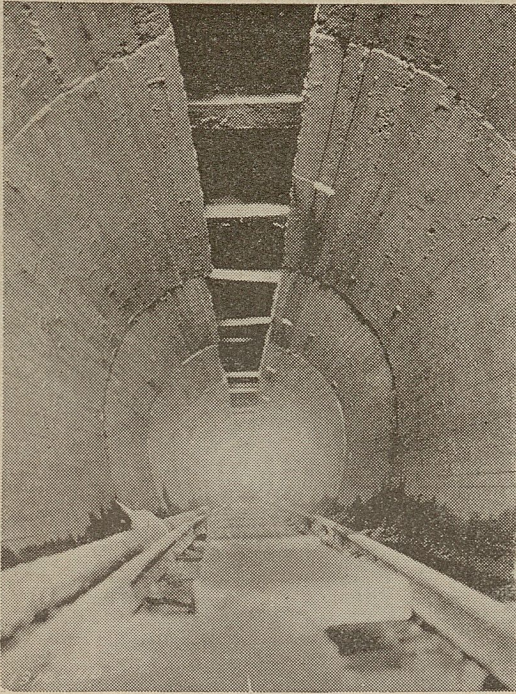
Refuerzo: No hubo.

Espesor mínimo del concreto: 20 cm. en la clave y 10 cm. tanto en las paredes como en el piso.

Agregados: Cemento, arena y grava en proporción: 1:3:3.

La arena se obtenía en parte por la pulverización de la rezaga del túnel previo lavado y en parte del mismo sitio de donde se extraía la grava.

La grava se extraía de depósitos del río Tarecuato en Chocandirán, de donde era acarreada unos 30 Km. en góndolas a contrato hasta la estación Angel. De aquí se transportaba hasta el sitio en camiones de volteo de dos toneladas, en un acarreo que variaba de 3½ Km. a 10 Km. según la boca del túnel.



Fotografía N° 6.—Aspecto del colado.

Producción del concreto: En la entrada se instaló una revolovedora sobre la boca del túnel y en la salida otra, como a 200 M. de la boca correspondiente, junto a la pulverizadora.

Acarreo del concreto: El acarreo se hizo a mano en carros pequeños, corriendo sobre la vía Decauville y construídos especialmente para permitir su paso bajo las formas.

Colado: Plantilla: Se coló en tramos de longitudes variables y sin formas.

Paredes: Montadas las formas viajeras, se coló partiendo al pie de ambos muros y terminando hasta donde fué posible trabajar cómodamente en tramos alternados de 3 M. Los tramos intermedios se colaron siete días después.

Clave: El espacio de 0.60 M. que quedó faltante de colar en la clave se hizo al final, también en tramos alternados de 3 M.

Volumen colocado de concreto: 1,166 metros cúbicos.

Importe directo: \$ 53,994.09.

Costo unitario directo: \$ 46.31/M³.
Pies tablón colocados en las formas: 33,600 p.t.

Importe directo: \$ 12,862.38.

Costo unitario directo: \$ 11.03/M³. y \$ 0.38/p.t.

Importe directo total del revestimiento: \$ 66,856.47.

Costo directo por metro lineal revestido: \$ 128.08.

Equipo adicional para el revestimiento

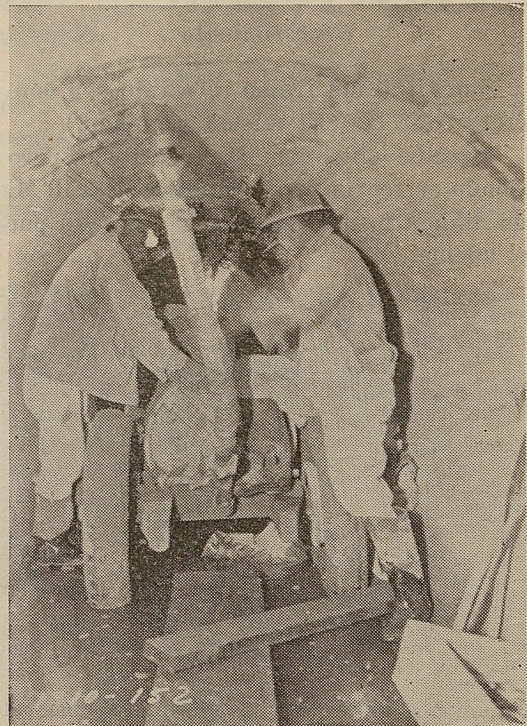
Un molino de martillos marca "Jeffrey Williams", movido con motor "Caterpillar" Diesel de 50 H. P.

Una mezcladora "Rex" de 7 sacos con motor "Le Roi", de 4 cilindros y 15 H. P.

Una mezcladora "Rex" 14 sacos con extensión para cucharón de carga N° 22, con motor "Le Roi" de 4 cilindros y 16 H. P.

Dos básculas "Fairbanks" de 800lb de capacidad con tres escalas, para pesar cemento y material inerte.

Fotografía N° 7. Aspecto del inyectado.



Inyecciones

Tramo inyectado: 522 M. (El mismo tramo revestido.)

Colocación de los tubos: Al tiempo le colar los 60 cm. finales de la clave, se dejaron empotrados tubos de 2" de diámetro, uno delante y otro detrás de cada marco del ademe y alternado cada par, uno a la derecha y otro a la izquierda de los 60 cm. de la clave.

Profundidad de los tubos: El tubo colocado enfrente del marco atraviesa los tablonces de madera del ademe y penetra más o menos 5 cm. en el relleno de piedra. El colocado en la parte posterior del marco no atraviesa los tablonces.

Proporción de la lechada: Inicialmente se usó una proporción de 33 litros de agua por saco de cemento, pero debido a los fuertes escurrimientos se optó por usar una mezcla más seca, hasta llegar a 20 litros de agua por saco de cemento.

Presión adoptada: Se dió una presión de 30 libras por pulgada cuadrada como

máximo, obteniéndose ésta mediante el aire comprimido de una compresora instalada fuera del túnel.

Volumen inyectado: 294 M³ de lechada con un consumo de 403 toneladas de cemento.

Importe directo de las inyecciones: \$30,399.99.

Costo unitario directo por metro cúbico inyectado: \$ 103.40.

Equipo adicional para las inyecciones

Injector: El inyector usado fué fabricado en el taller de la obra, con uno de los tambores usados para gasolina, cinchándolo para resistir una presión hasta de 45 libras por pulgada cuadrada. La lechada era agitada por medio de un eje con aspás, movido con un motor de aire comprimido de perforadora "Gardner Denver".

Se tropezó con dificultades en su funcionamiento.

IMPORTES Y COSTOS TOTALES

Los importes y costos unitarios totales de la obra, considerando la excavación, el revestimiento y las inyecciones son

Importes:

Directo:	\$ 284,015.50	67.5%
Indirecto:	136,841.10	32.5%
Total:	\$ 420,856.60	

Costo por metro cúbico:

	Excavado	Teórico
Directo:	\$ 55.20	\$ 64.19
Indirecto:	26.60	30.92
Total:	\$ 81.80	\$ 95.11

Costo por metro lineal de túnel:

Directo:	\$ 293.41
Indirecto:	141.36
Total:	\$ 434.77

Cargo por obras provisionales:

Para tener incluido el cargo correspondiente por obras provisionales deben incrementarse todos los importes y costos que aparecen en el presente trabajo en 6.800% el directo y 4.756% el indirecto.

Personal

Superintendente: Ing. Jorge M. Negrete.

Residente: Ing. Guillermo Alvarez de la Cadena.

=====