

# Producción en México de Cemento de Bajo-Calor de Calidad Excepcional

POR EL ING. FEDERICO BARONA DE LA O.  
DEL DEPARTAMENTO DE PROYECTOS DE LA COMISION NACIONAL DE IRRIGACION

NOTA DEL EDITOR.—Con motivo de haberse publicado algunos artículos en el "Engineering News Record" (1º de febrero de 1940 "Influence of Cement and Aggregate on Concrete Expansion", por Thos E. Stanton, Jr., y 27 de marzo de 1941, "Concrete Deterioration at Parker Dam", por R. F. Blanks), y en el "Journal of the American Concrete Institute" (abril de 1941 "Cracking in concrete due to expansive reaction between aggregate and high-alkali cement as evidenced in Parker Dam", por H. S. Meissner), sobre defectos en algunas estructuras de concreto, atribuidos a compuestos detrimentales en el cemento, es satisfactorio para esta Revista publicar los siguientes datos relativos al cemento especificado a principios de 1937 para la Presa de "La Angostura", en el cual, se puso especial empeño en reducir al mínimo todos los compuestos indeseables.

La pequeña planta de cemento en Hermosillo, Sonora, ha producido un cemento de bajo-calor de calidad excepcional para la presa de "La Angostura". El alto contenido de sílice en las materias primas, las especificaciones y consejos técnicos de la Comisión Nacional de Irrigación y la cooperación dada por los Directores de dicha Planta, son los factores que han contribuido a la obtención de este buen éxito.

Las especificaciones para el cemento de bajo-calor para la presa de "La Angostura" que a principios de 1937 fueron redactadas por la Comisión Nacional de Irrigación, tuvieron como finalidad la consecución de un cemento que: 1º, para evitar agrietamientos en el concreto de la cortina, produjese al fraguar la menor cantidad posible de calor, y 2º, que al mismo tiempo fuese muy eficiente, de manera de lograr la resistencia y la impermeabilidad requeridas, con un consumo mínimo de cemento por metro cúbico de concreto.

Con dicha mira, las especificaciones se redactaron de manera de obtener el

máximo contenido posible de compuestos eficientes (silicatos), y el mínimo de los indeseables, como aluminato tricálcico, álcalis (óxidos de sodio y de potasio), mágnesia y cal libre.

El resultado fué muy satisfactorio como puede verse en el siguiente cuadro, en el que se da la composición general del cemento producido por la planta de Hermosillo.

COMPUESTO	Contenido en por %
Silicato Tricálcico.	27.2 (véase nota posterior).
Silicato Dicálcico.	50.6
<i>Total de Silicatos:</i>	<i>77.8</i>
Aluminato Tricálcico.	4.0
Ferro-aluminato-Tetracálcico.	11.8
<i>Total de Aluminatos:</i>	<i>15.8</i>
Oxido de Sodio—Na <sub>2</sub> O.	0.51
Oxido de Potasio—K <sub>2</sub> O	0.33
<i>Total de Alcalis:</i> = Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O.	<i>0.73</i>
Magnesia — MgO.	1.3
Cal libre.	0.8

El cemento anterior es excepcionalmente eficiente por su alto contenido de silicatos, casi 78%, en lugar del 72% usual en cementos de bajo-calor. Los compuestos indeseables: aluminato tricálcico, álcalis, magnesia y cal libre, son menores que los valores usuales en cementos de este tipo.

La composición apropiada de las materias primas disponibles fué, por supuesto, el factor principal que hizo posible este buen éxito. La caliza es muy pura, menos de 1.5%  $MgCO_3$ , muy poca alúmina y cerca de un 5% de sílice, que es al que se le debe el alto contenido de silicatos en el cemento. Granito desintegrado de composición uniforme y de elevada razón sílice-alúmina, suministra un material ácido muy apropiado para el tipo de cemento deseado.

La Fábrica de Cemento Portland Nacional, S. A., en Hermosillo, Sonora, es una planta pequeña, de proceso húmedo, de unas 100 toneladas diarias de capacidad.

El proceso seguido en dicha planta, se ilustra con el diagrama anexo.

La uniformidad de las materias primas y el control de manufactura, fueron tan satisfactorios que permitieron conservar un ajuste muy preciso sobre el con-

tenido de silicato tricálcico. En épocas de calor, desde abril hasta noviembre, dicho compuesto se conservó dentro de los límites de no menor de 20 y no mayor de 24%, mientras que en invierno, cuando se deseaba en el cemento una mayor velocidad de endurecimiento, se elevaba el contenido de dicho compuesto hasta los límites de no menor de 26 y no mayor de 28%.

Tal ajuste preciso sobre el principal productor de resistencia (silicato tricálcico), constituyó una gran ayuda para la construcción, ya que hizo posible conseguir siempre la resistencia requerida a la edad deseada, facilitando así el anclaje de las formas, su remoción a tiempo oportuno, etc. El cemento usado en invierno producía 52 calorías por gramo, en tanto que el usado en tiempo de calor producía solamente 49. Ambos factores se refieren a la edad de 7 días.

Es de mucho interés el observar que este cemento manufacturado bajo especificaciones hechas a principios de 1937, satisface las especificaciones de 1940 de la Sociedad Americana de Ensayo de Materiales (A. S. T. M.), para Cemento Portland, no sólo las relativas al tipo IV (Bajo-Calor), sino también las del tipo V (Resistente a las Sales). Esto puede verse en el cuadro siguiente:

CEMENTO DE HERMOSILLO	ESPECIFICACIONES A. S. T. M. DE 1940 PARA CEMENTO PORTLAND	
	Tipo IV Bajo-Calor	Tipo V Resistente a las Sales
Sílice — $SiO_2$ .	24.8%	No menor de 24%
Alúmina — $Al_2O_3$ .	4.0%	No mayor de 4%
Oxido Férrico — $Fe_2O_3$ .	3.9%	No mayor de 4%
Magnesia — $MgO$ .	1.3%	No mayor de 4%
Silicato Dicálcico.	50.6%	—
Silicato Tricálcico.	27.2%	—
Aluminato Tricálcico.	4.0%	No mayor de 5%

Cemento de este tipo, con un contenido muy bajo de aluminatos, puede adaptarse fácilmente para hacer cemento de fraguado retardado, requerido en aquellos

casos cuando la lechada de cemento deba hacer un largo recorrido antes de llegar al punto final de su destino, como para cementar pozos petroleros o en inyeccio-

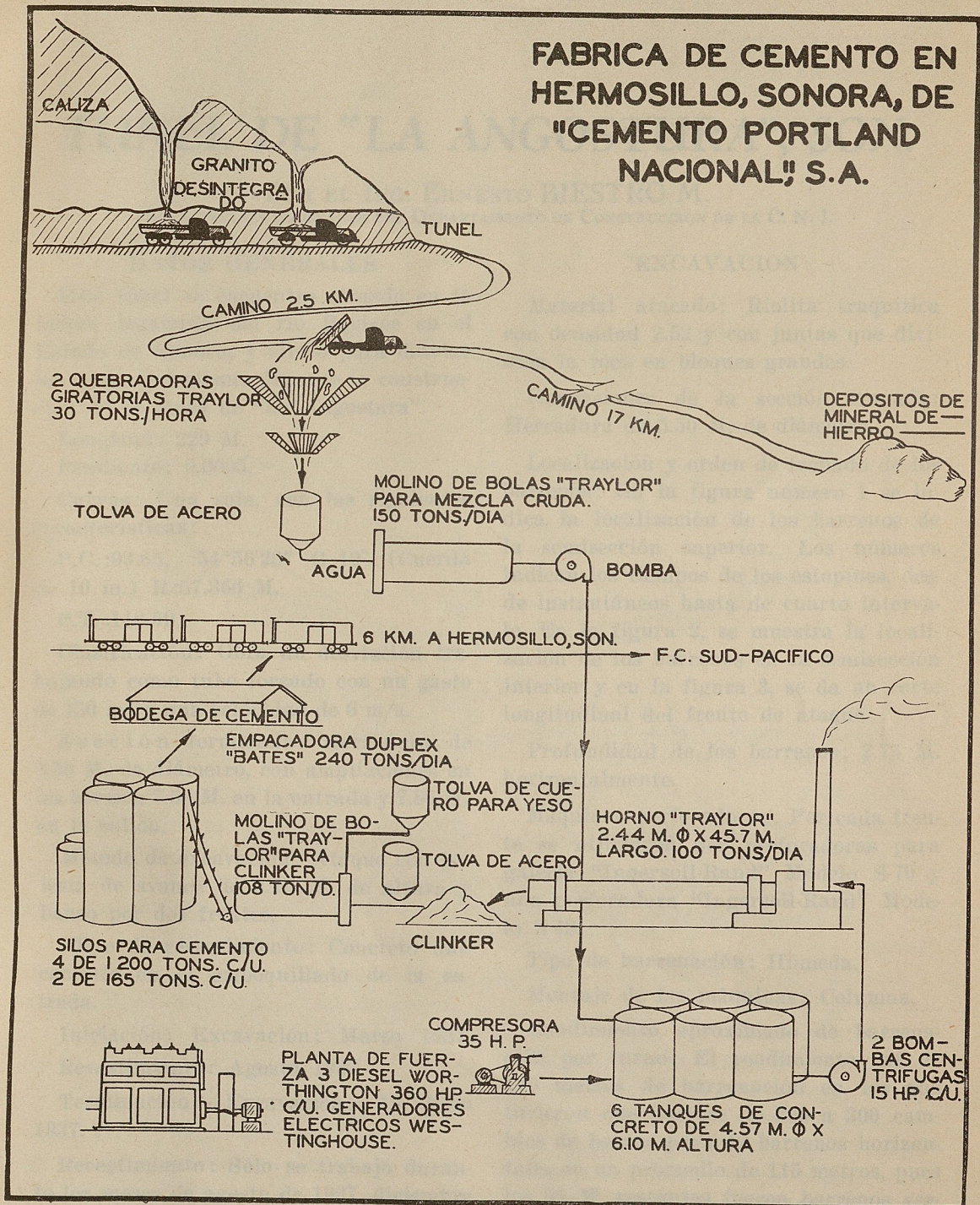
nes de cimentaciones, o para el relleno de juntas de contracción de estructuras de concreto.

*Personal*

Todas las actividades de la Planta

de Hermosillo, se encuentran bajo la dirección de su Gerente, señor Ignacio Soto; los trabajos técnicos los tiene a su cargo el Superintendente, señor Edgardo G. Quiroga.

## FABRICA DE CEMENTO EN HERMOSILLO, SONORA, DE "CEMENTO PORTLAND NACIONAL" S.A.



# TUNEL DE "LA ANGOSTURA", SON.

POR EL ING. ERNESTO BIESTRO M.

DE LA SECCION DE AVANCE DEL DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION DE LA C. N. I.

## DATOS GENERALES

Este túnel se encuentra situado en la ladera izquierda del río Bavispe en el Estado de Sonora, y sirvió para desviar las aguas del mismo durante la construcción de la presa de "La Angostura".

Longitud: 229 M.

Pendiente: 0.0005.

Curvas: Una sola, con las siguientes características:

P.C.:93.65, :54°56'23" G:10° (Cuerda de 10 m.) R:57.366 M.

P.T.:148.59.

Clasificación: Obra de desviación trabajando como tubo forzado con un gasto de 150 m<sup>3</sup> y una velocidad de 6 m/s.

Sección terminada: Herradura de 5.50 M. de diámetro, con ampliaciones en las bocas a 7.50 M. en la entrada y 7.86 M. en la salida.

Método de excavación: Ataque con galería de avance de 3.25 M. de altura y banco por dos frentes.

Clase de revestimiento: Concreto únicamente en el emboquillado de la entrada.

Iniciación: Excavación: Marzo 1937.

Revestimiento: Agosto 1937.

Terminación: Excavación: 17 julio 1937.

Revestimiento: Sólo se trabajó durante los meses de agosto de 1937, diciembre de 1938 y enero de 1939.

## EXCAVACION:

Material atacado: Riolita traquítica con densidad 2.52 y con juntas que dividían la roca en bloques grandes.

Dimensiones de la sección tronada: Herradura de 5.50 M. de diámetro.

Localización y orden de tronado de los barrenos: En la figura número 1 se indica la localización de los barrenos de la semisección superior. Los números indican los tiempos de los estopines, desde instantáneos hasta de cuarto intervalo. En la figura 2, se muestra la localización de los barrenos en la semisección inferior y en la figura 3, se da un corte longitudinal del frente de ataque.

Profundidad de los barrenos: 2.75 M. horizontalmente.

Máquinas perforadoras: Por cada frente se utilizaron dos perforadoras para galería "Ingersoll-Rand" Modelo S-70 y una perforadora "Ingersoll-Rand" Modelo S-49.

Tipo de barrenación: Húmeda.

Montaje de las máquinas: Columna.

Rendimiento aproximado de barrenación por turno: El rendimiento fué de 170 metros de barrenación en los que tuvieron que hacerse de 200 a 300 cambios de barras para 42 barrenos horizontales en un promedio de 115 metros, pues los 55 M. restantes fueron barrenos verticales para la semisección inferior.

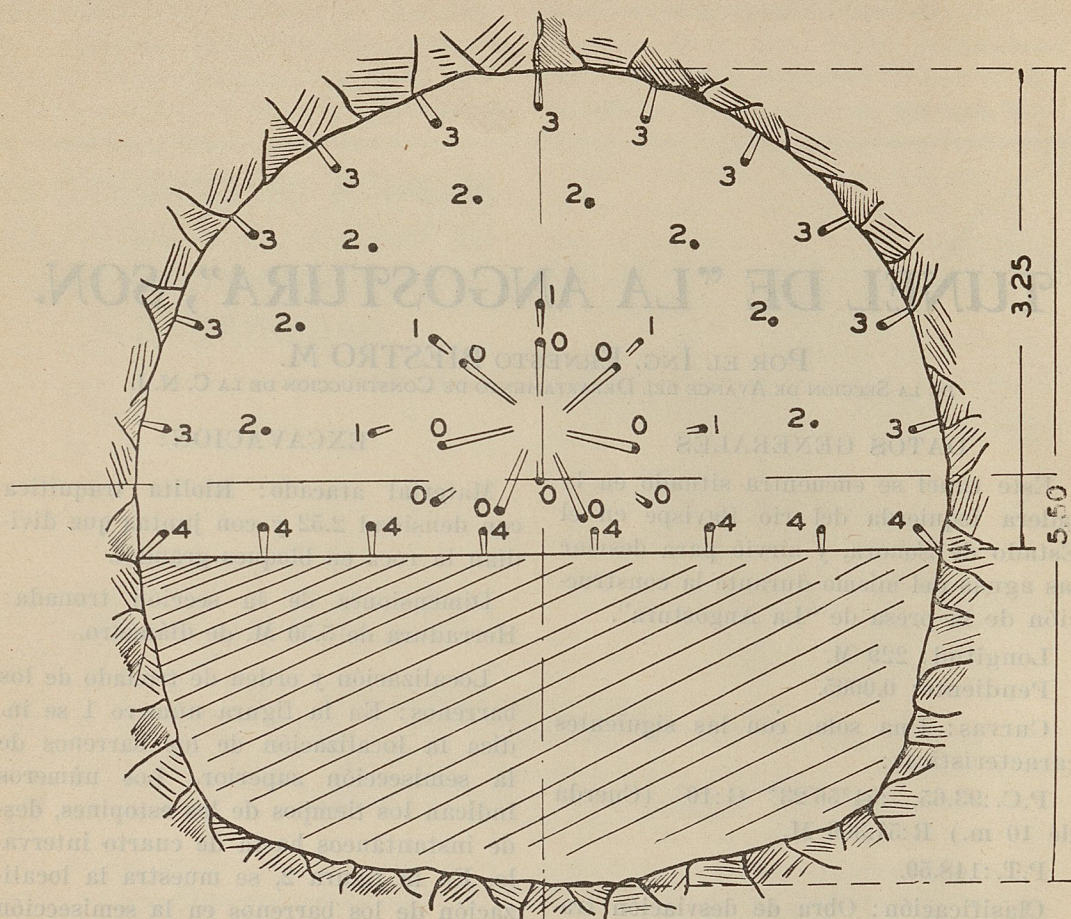


FIGURA 1

Explosivos usados: Dinamita gelatina 40% y en poca cantidad de 60%.

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

Cantidad de dinamita usada por metro cúbico excavado: 1.828 Kg.

Detonadores: Estopines eléctricos desde instantáneos hasta de 4° intervalo de tiempo.

Localización del fulminante: A la mitad de la carga.

Taco: De arcilla.

Método de tronado: Al principio se utilizó el explosor y después la corriente de la planta eléctrica. También se usó fulminante con cañuela en pequeña cantidad cuando no era botada la sección completa, como moneo para el afine de la sección.

Barrenos disparados por: El sobretante.

Tratamiento de los barrenos cebados: En esos casos se extraía la arcilla del taco con mucho cuidado mediante una cucharilla especial y se introducía un nuevo cartucho con su fulminante, volviéndose a disparar el barreno.

Modo de fracturarse el material: Bien, siendo posible cargar a mano la piedra máxima extraída.

Longitud avanzada por tronada: 2.50 M. en la semisección superior.

La extracción comenzaba: En la noche 30 minutos después de tronar y al mediodía se empleaba una hora, que era la utilizada para comer.

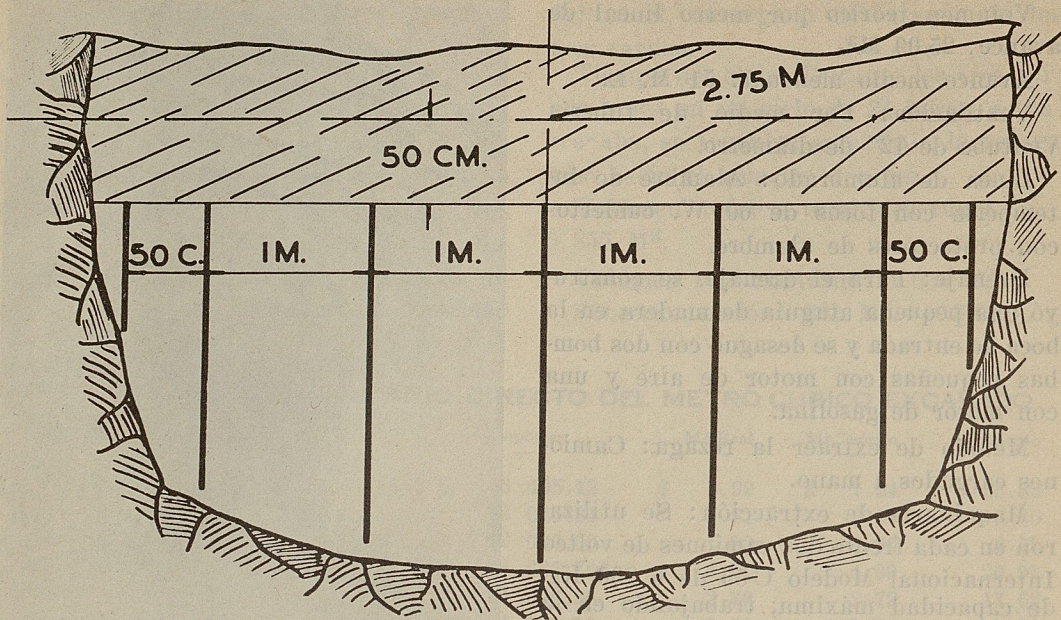


FIGURA 2

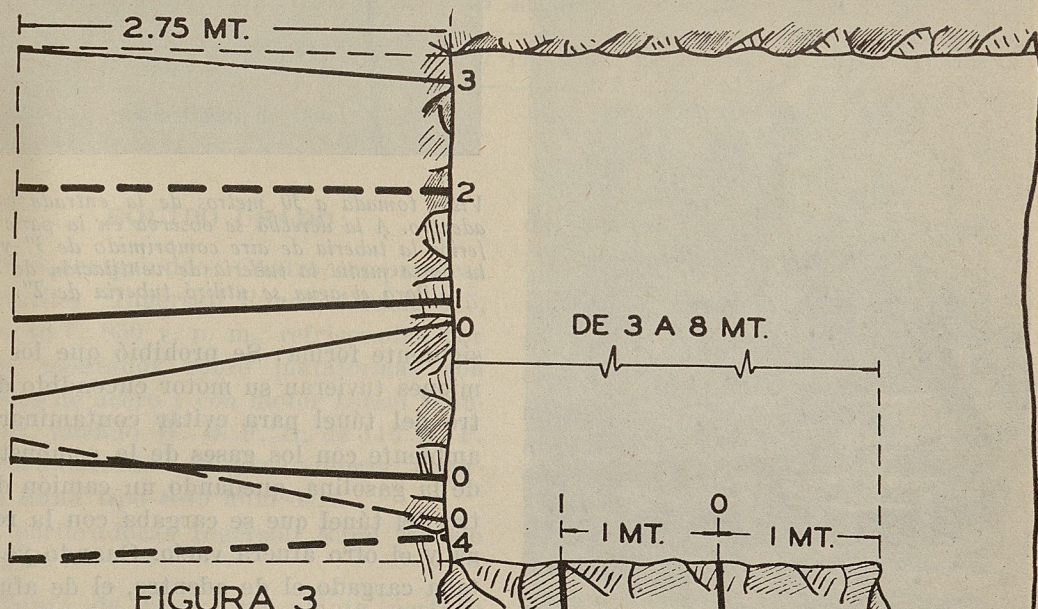


FIGURA 3

EL CORTE ESTA HECHO SIGUIENDO EL EJE VERTICAL DEL TUNEL E INDICANDO EL VIAJE DE LOS BARRENOS. EN LOS VERTICALES EL NO. 0 INDICA LOS BARRENOS TRONADOS CON ESTOPINES INSTANTANEOS Y EL NO. 1 DE PRIMER TIEMPO.

Volumen teórico por metro lineal de avance: 25.09 M<sup>3</sup>.

Avance medio mensual: 51 M. L.

Ventilación: Por medio de tubería Ventube de 12" de diámetro.

Línea de alumbrado: Alambre de intemperie con focos de 60 W. cubiertos con protectores de alambre.

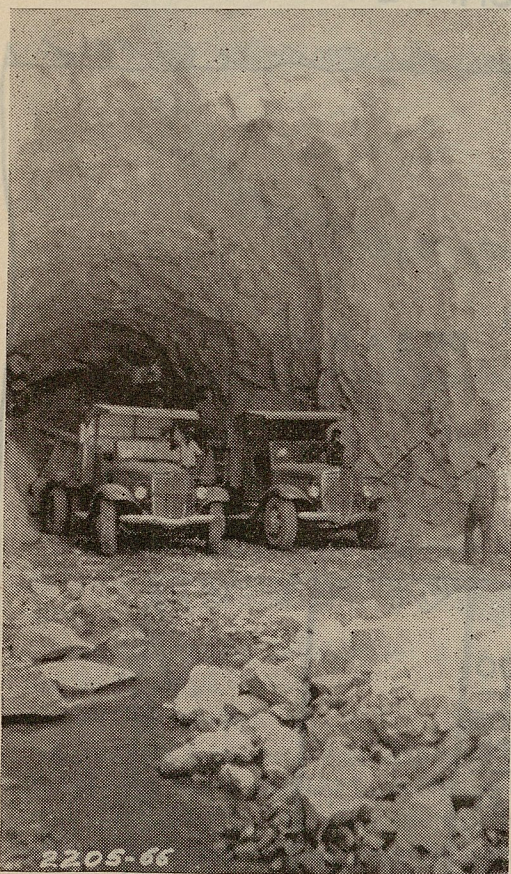
Drenaje: Para el drenaje, se construyó una pequeña ataguía de madera en la boca de entrada y se desaguó con dos bombas pequeñas con motor de aire y una con motor de gasolina.

Método de extraer la rezaga: Camiones cargados a mano.

Maquinaria de extracción: Se utilizaron en cada frente dos camiones de volteo Internacional Modelo C-55 de 6 300 Kg. de capacidad máxima, trabajando en la



*Vista tomada a 30 metros de la entrada hacia adentro. A la derecha se observa en la parte inferior la tubería de aire comprimido de 3" y en la parte media la tubería de ventilación de 12". Para el agua se utilizó tubería de 2".*



*Vista tomada a la entrada del túnel en abril de 1937.*

siguiente forma: Se prohibió que los camiones tuvieran su motor encendido dentro del túnel para evitar contaminar el ambiente con los gases de la combustión de la gasolina, quedando un camión dentro del túnel que se cargaba con la rezaga y el otro afuera vacío. Cuando ya estaba cargado el de adentro, el de afuera lo sacaba hasta la salida del túnel en donde era encendido su motor, y por medio de un juego de poleas el camión cargado metía al vacío con su motor apagado hasta el frente, tirando su carga y regresando para sacar el camión que estaba adentro cuando ya estaba cargado, repitiéndose entonces la maniobra.

Acarreos: El acarreo de la rezaga varió de 100 a 300 M. de las bocas.

Personal: Se trabajaron tres turnos en cada extremo, siendo el personal siguiente por turno:

Un ayudante sobrestante de cuadrilla con \$ 5.92 diarios; un ayudante sobrestante encargado de la barrenación con \$ 5.92, tres perforistas con \$ 4.24, tres ayudantes de perforistas con \$ 3.84, dieciséis rezagadores de \$ 2.40, y además un sobrestante de \$ 11.60 en cada extremo

del túnel, encargado del ataque en los tres turnos.

Tiempo del ciclo: Durante los tres turnos o sea en un ciclo de 24 horas, se barrera, se tronaba, se extraía la rezaga y se hacía el amacice una vez.

Volumen teórico total del túnel.....  
5 855 M<sup>3</sup>.

Volumen real excavado: 6 656 M<sup>3</sup>.

Sobreexcavación: 801 M<sup>3</sup>. = 13.68%.

#### ANALISIS DEL COSTO UNITARIO DIRECTO DEL METRO CUBICO EXCAVADO

	Importes	M <sup>3</sup> Real	M <sup>3</sup> Teórico	Por ciento
Salarios. . . . .	\$ 46 495.13	\$ 6.99	\$ 7.94	33.89
Materiales. . . . .	12 015.81	1.81	2.05	8.76
Dinamita. . . . .	12 000.00	1.80	2.05	8.75
Aire comprimido. . . . .	28 685.50	4.31	4.90	20.91
Camiones. . . . .	15 940.26	2.39	2.72	11.62
Obras p. const. en seco. . . . .	4 121.11	0.62	0.70	3.00
Alumbrado. . . . .	2 522.17	0.38	0.44	1.84
Depreciación. . . . .	15 400.75	2.31	2.63	11.23
<b>TOTAL.....</b>	<b>\$ 137 170.73</b>	<b>\$ 20.61</b>	<b>\$ 23.43</b>	<b>100.00</b>

Costo por metro lineal de túnel: \$ 599.00.

#### EQUIPO USADO:

Aire comprimido: Cuatro compresoras portátiles "Ingersoll Rand", Modelo 315, tipo 40-T, 850 r. p. m., refrigeradas por aire, montadas sobre plataformas con ruedas de acero y con motor Diesel Waukesha, modelo W. B. F. H. de 115 H. P.

Perforadoras: 12 perforadoras Ingersoll Rand tipo S-49 húmedas.

4 perforadoras Ingersoll Rand Modelo S-70.

Planta de Luz: Una planta portátil Allis Chalmers de 3.5 K. W. movida con un motor Fairbanks Morse de 5 H. P.

Acero para barrenas: Acero redondo perforado de 1 1/4" para las perforadoras S-70 y acero exagonal de 7/8" para las S-49, ambos con estrella fija.

Ventilación: Dos ventiladores "Home-lite" con capacidad para 2 000 pies cúbicos por minuto cada uno, con motor

de gasolina de un cilindro y con tubería de alimentación de 12".

Drenaje: Una bomba centrífuga Ingersoll Rand Modelo ACV de 2", con succión de 3" y descarga de 2", acoplada a motor de aire Ingersoll Rand de 4 cilindros con capacidad para 130 G. P. M. a 29' y 1 000 r. p. m.

Una bomba de émbolos, marca Fairbanks Morse, tipo Duplex, siendo el tamaño de la bomba 1 1/2" de succión por 1" de descarga.

Una bomba centrífuga, marca "Home-lite", tamaño 3" con motor de gasolina de un cilindro.

Fragua: Un horno "Ingersoll-Rand" tipo 25, para barrenas.

Aguzadora: Una "Ingersoll-Rand", Modelo I.R.-50.

## REVESTIMIENTO

Tramo revestido: Unicamente se revisió con concreto reforzado un pequeño tramo de 7.5 M. como emboquillado a la entrada del túnel para poder poner agujas.

Importe directo del ademe: \$ 4 913.71.

Sección obtenida: Se excavó un volumen de 18 M<sup>3</sup>. de Cl. III con un importe de \$ 892.76, o sean \$ 49.60/M<sup>3</sup>, para dejar

una sección de 8.10 M. de diámetro en forma de herradura.

Sección terminada: Herradura de 7.50 metros de diámetro.

Formas usadas: De madera.

Espesor del concreto: 30 cm.

Refuerzo: Varillas de 5/8"  $\phi$  a 22 cm. c. a. c. en ambas direcciones.

Cantidades de trabajo e importes directos del revestimiento:

	Cantidad	Importe directo	Costo unitario directo
Concreto. . . . .	246 M <sup>3</sup> .	\$ 13 520.08	\$ 54.96
Formas. . . . .	246 M <sup>3</sup> .	10 658.34	43.33
Refuerzo. . . . .	2 300 Kg.	1 610.34	0.70

### IMPORTE Y COSTOS TOTALES DEL TUNEL:

Importe directo.....	\$ 168 775.96	— 81.43%
Importe indirecto.....	38 490.46	— 18.57%

IMPORTE TOTAL.....\$ 207 266.42

	Teórico	Real
Costo directo por metro cúbico.....	\$ 28.83	\$ 25.36
Costo indirecto por metro cúbico.....	6.57	5.78
<b>COSTO TOTAL POR METRO CUBICO.....</b>	<b>\$ 35.40</b>	<b>\$ 31.14</b>

Costo directo por metro lineal de túnel.....	\$ 737.01
Costo indirecto por metro lineal de túnel.....	168.08
<b>COSTO TOTAL POR METRO LINEAL DE TUNEL.....</b>	<b>\$ 905.09</b>

NOTA: Para tener incluido en todos los costos anteriores el cargo correspondiente a las Obras Provisionales de toda la obra, deberán incrementarse en un 12.4% el directo y 8.5% el indirecto.

### PERSONAL:

Superintendente: J. L. Frazier.  
Ayudante: Ing. Reynaldo Schega.

Residente: Ing. J. Vicente Orozco.  
Ayudantes: Ing. Manuel Anaya S.,  
Ing. José Pacheco.