

# INFLUENCIA DE LA CONSTITUCION QUIMICA DEL CEMENTO PORTLAND EN EL COSTO DEL CONCRETO

POR EL ING. FEDERICO *BARONA* DE LA O.- M. A. I. A. M.  
JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYE DE MATERIALES DE LA C. N. I.

ESTUDIO PRESENTADO ANTE LA II CONVENCION  
NACIONAL DE QUIMICA

## I. — CONSIDERACIONES GENERALES EN RELACION CON LA EFICIENCIA DEL CEMENTO PORTLAND.

Desde hace 16 años, en la Comisión Nacional de Irrigación se han venido haciendo estudios relativos a los cementos Portland que se requieren para la ejecución de las grandes obras de riego. Fué en Presa Rodríguez, Baja California, cuya construcción se inició en 1928, donde por primera vez en México se iniciaron estudios encaminados a investigar las constituciones químicas más apropiadas para el cemento Portland destinado a la construcción de presas.

En la actualidad nuestra Patria pasa por un período crítico en su producción agrícola y corresponde a la Comisión Nacional de Irrigación, la ejecución de grandes obras que, a razón de un costo de 80 millones de pesos por año, tienden a incrementar la extensión de tierras laborables y a resolver nuestro problema actual número uno, que es la alimentación de nuestro pueblo.

Es el cemento Portland un material fundamental para la ejecución no sólo de las grandes obras de riego, sino en general para todas las obras vitales para el desarrollo nacional, como son caminos y ferrocarriles, saneamiento, obras marítimas, edificaciones, etc.

Natural es, pues, que a la EFICIENCIA o RENDIMIENTO de este importante material le concedamos una gran importancia.

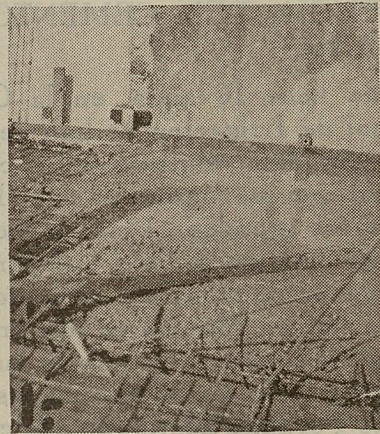
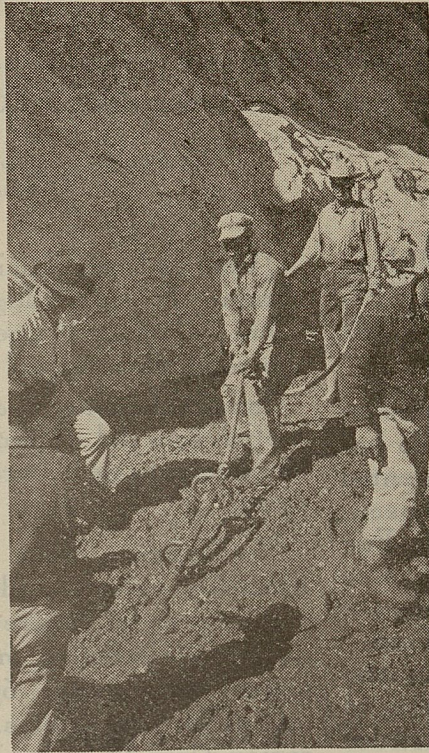
¿Cuál es la eficiencia que el constructor obtiene de cada kilogramo de cemento? ¿Qué trabajo es el que le rinde? ¿Será dicho rendimiento igual en todos los casos?

Indudablemente que no; el rendimiento o eficiencia del cemento Portland variará ampliamente de acuerdo con diversos factores.

En la figura Núm. 1 se muestran dos ejemplos extremos del rendimiento del cemento en el concreto. En la fotografía de la izquierda se muestra un caso de aprovechamiento óptimo. Los buenos agregados disponibles, su correcta preparación (lavado y cernido), el debido proporcionamiento de las revolturas, su eficiente manejo (mezclado, transporte y acomodación por vibrado), y la constitución y finura apropiadas del cemento Portland de Bajo Calor utilizado, han dado como resultado la obtención de un excelente rendimiento del cemento en la obra respectiva la cual, en el caso mostrado, es la Presa de "Las Vírgenes", que la Comisión Nacional de Irrigación construye actualmente en el Estado de Chihuahua.

La fotografía mostrada a la derecha representa uno de tantos ejemplos, en los cuales, debido a: calidad pobre en los agregados, su contenido excesivo de polvo, su dosificación poco adecuada, su exceso de agua de mezclado que puede verse aflorando a la superficie, y a la baja eficiencia del cemento Portland utilizado, se obtiene un pobre rendimiento del cemento que se consume.

# RENDIMIENTOS DE LOS CEMENTOS PORTLAND EN LOS CONCRETOS



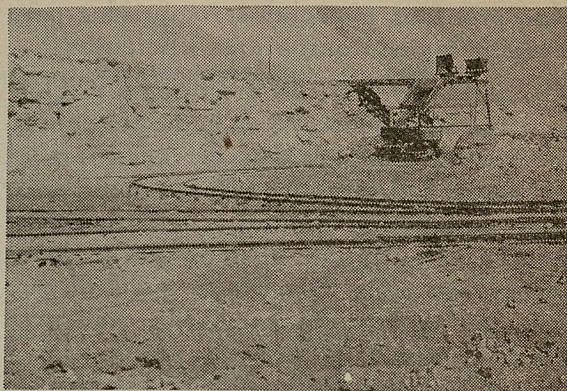
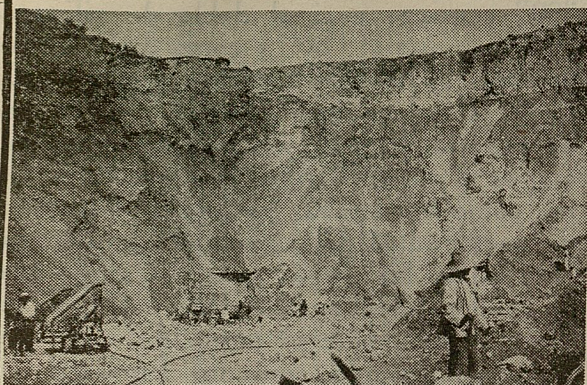
Consumo de Cemento	220 Kg/M <sup>3</sup>	300 Kg/M <sup>3</sup>
f'c al año	400 Kg/cm <sup>2</sup>	150 Kg/cm <sup>2</sup>
Rendimiento	1.8 Kg/cm <sup>2</sup> /Kg.cemento/M <sup>3</sup>	0.5 Kg/cm <sup>2</sup> /Kg.cemento/M <sup>3</sup>

Fig. N° 1

Los dos casos extremos que se han mostrado representan un gran contraste, pues en cada uno de ellos se han venido sumando las distintas circunstancias, buenas en el de la izquierda y malas en el de la derecha, para producir los rendimientos máximo y mínimo anotados. De la selección, preparación y dosificación de

los agregados y del eficiente manejo de las revolturas, nos hemos ocupado ya en algunas otras pláticas presentadas ante la H. Asociación de Ingenieros y Arquitectos de México. En el presente estudio deseamos referirnos exclusivamente al efecto que la calidad misma del cemento Portland tiene sobre el trabajo o rendimiento que

## EJEMPLOS



	MATERIAS PRIMAS	
	ARCILLA	CALIZA
SiO <sub>2</sub>	55.7%	5.6%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.8 "	0.6 "
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.9 "	0.7 "
CaO	8.5 "	52.5 "
MgO	1.6 "	0.6 "
PERDIDA POR CALCINACION	7.7%	39.5%

$$\text{INDICE REAL SATURACION CaO} = \frac{\% \text{CaO total} - (0.7\% \text{SO}_3 + \% \text{CaO libre})}{2.8\% \text{SiO}_2 + 1.65\% \text{Al}_2\text{O}_3 + 0.35\% \text{Fe}_2\text{O}_3} \times 100$$

INDICE SATURACION CaO	CEMENTOS	
	"80"	"90"
C <sub>3</sub> A	12.2	11.1
C <sub>4</sub> AF	6.9	6.7
C <sub>2</sub> S	46.5	24.6
C <sub>3</sub> S	27.4	50.6
SUMA	93.0	93.0

Fig. N° 2

este material nos puede proporcionar en obras de distintos tipos.

La figura Núm. 2 muestra, a manera de ejemplo, dos bancos típicos de las materias primas fundamentales para la producción del cemento Portland. A la izquierda tenemos el barro que nos suministrará los óxidos ácidos, y a la derecha

la piedra caliza que suministrará el 60 a 66% de cal que se requiere para producir cemento Portland.

¿Cómo deberá el Químico combinar eficientemente las materias primas mostradas para producir el cemento?

¿Qué reducciones importantes se tendrán en el costo del concreto que justi-

fiquen plenamente el aumento en costo que implique la producción más cuidadosa y los procesos especiales requeridos para producir los cementos más eficientes?

Para resolver estos problemas el Químico que se especialice en cemento deberá trabajar en cooperación estrecha con el Ingeniero, Constructor o Proyectista, a fin de suministrarle cemento eficiente y adecuado para el tipo de obra de que se trate, sin perder nunca el punto de vista de que para que la producción pueda realizarse satisfactoriamente a escala industrial y sea posible obtener costos razonables en ella, es necesario prevenirse en contra de una inventiva exagerada que tendiese a la creación de demasiados tipos. Lo que al respecto conviene, es lo que se hizo en las Normas Nacionales Mexicanas para cemento Portland, en las cuales se agruparon en 5 distintos tipos, las características fundamentales requeridas para determinadas clases de obras.

Para poder estudiar el problema iremos considerando, de uno en uno, los cinco distintos tipos de cemento Portland que las Normas Mexicanas comprenden:

## II.—CEMENTO PORTLAND "A"

Este es el tipo común que se emplea en edificios, caminos, morteros, etc.

En los Laboratorios de Ensaye de Materiales de la Comisión Nacional de Irrigación, definimos como Índice Real de Saturación de Cal, el que se indica en la figura número 2.

En la generalidad de los casos dicho índice estará comprendido entre 80 y 95%; 100% constituye un límite teórico máximo de saturación de cal, el cual nunca se llegará a alcanzar en la práctica.

Un índice de un 80% corresponde a un cemento mal calcinado o pobre en cal combinada, y 95% a un cemento muy rico en cal combinada.

Las constituciones químicas resultantes para las saturaciones de cal de 80 y 90%, con las materias primas antes citadas, son las que se expresan en la misma figura.

La diferencia fundamental entre los dos cementos mostrados, consiste en que el "90" contiene casi el doble de silicato tricálcico que el "80" y como dicho componente es el que contribuye principalmente a incrementar el valor " $f_c$ ", carga de ruptura del concreto a la compresión, que es el que el Ingeniero Proyectista toma como base para, mediante el empleo de coeficientes de seguridad apropiados, determinar las cargas para el trabajo que el concreto realizará en las estructuras, resulta que desde el punto de vista del que está usando cemento Portland en obras del tipo común: edificios, pavimentos, morteros, etc., el cemento correspondiente al índice de saturación de cal de 90%, es más eficiente que el de 80%.

*1ª. comparación.*—En la figura Núm. 3 se han trazado las líneas razón agua-cemento: vs:  $f_c$ , correspondientes a concretos producidos con los agregados puros, comúnmente usados en el Distrito Federal, y con ambos cementos "90" y "80". Por  $f_c$  se entiende la resistencia a la compresión del concreto, a los 28 días, determinada en cilindros de altura doble del diámetro, conservados en atmósfera de 95% de saturación de humedad, a 21° C.

Los dos cementos considerados en la figura Núm. 3 representan un igual grado de finura (1400 cm<sup>2</sup>/gramo).

De acuerdo con la tabla comparativa mostrada en la misma figura (Núm. 3), vemos cómo existe justificada razón económica para mejorar la calidad y por lo tanto la eficiencia del cemento Portland Común. Indudablemente que el mejoramiento de calidad implica aumento en el costo de producción del cemento, ya que el lograr un índice de saturación de cal más elevado representa un mayor consumo de caliza y un mayor consumo de combustible para lograr la temperatura requerida que es más elevada; pero el aumento en costo de producción es aproximadamente de un 10% únicamente para pasar del tipo "80" al "90", en tanto que la economía en el consumo de cemento es de un 19%; es decir, que la economía relativa en el consumo de cemento es casi dos

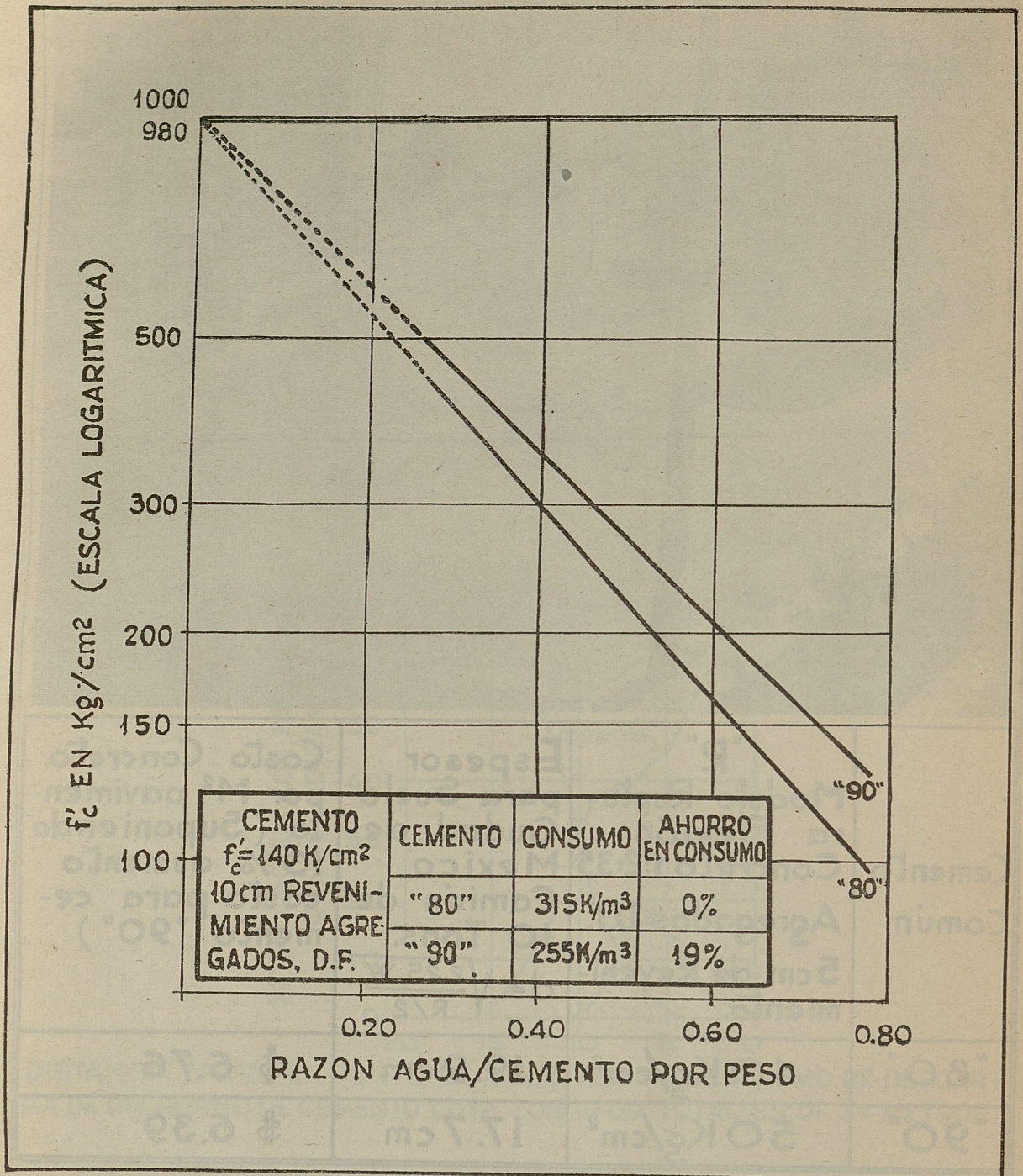
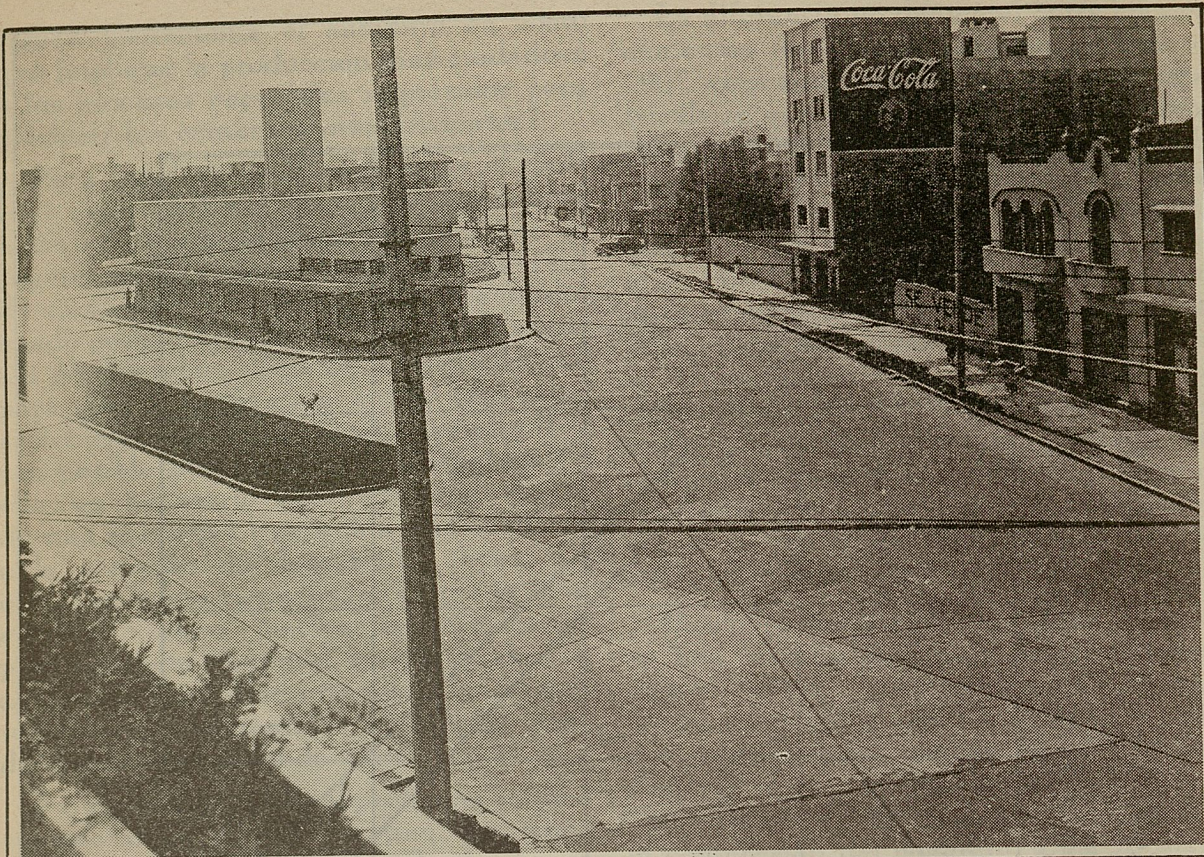


Fig. N° 3

veces mayor que el aumento relativo en el costo de producción del cemento "90".

2ª comparación.—Hagamos una comparación desde otro punto de vista; supongamos un contenido fijo de cemento en los concretos respectivos, tal como suele especificarse en determinados contratos;

por ejemplo, supongamos que para pavimentos de concreto se especifica una mezcla tipo 1:2.0:3.5. En la figura Núm. 4 puede verse el ahorro que se tendría al trabajar con cemento Portland Común de mayor eficiencia. De acuerdo con el cuadro mostrado en la parte inferior de



Cemento Común	"R" Módulo Ruptura Flexión Concreto 1:2:35 Agregados D.F. 5cm. de Revenimiento.	Espesor para Suelo Ciudad de México. Camión de 10 Tons. $d = \sqrt{\frac{2.25 W}{R/2}}$	Costo Concreto por M <sup>2</sup> pavimento (Suponiendo 10% aumento costo para cemento "90")
"80"	40 Kg/cm <sup>2</sup>	19.9 cm	\$ 6.76
"90"	50 Kg/cm <sup>2</sup>	17.7 cm	\$ 6.39

Fig. N° 4

la misma figura, resulta más económica la adopción de cementos más eficientes, aun cuando para ellos se considere un sobrecosto de producción de un 10%. El pavimento mostrado en la figura (Núm. 4), Av. Michoacán al W. de su intersección con Tamaulipas, corresponde a un diseño

que hemos dado, a fin de que en la presente emergencia, se suprima el empleo del acero de refuerzo. Para este objeto las juntas de contracción en el pavimento de diseño nuevo (arroyo S.), se espacian cada 6 metros, en tanto que en el tipo antiguo (arroyo N.), que sí requiere re-

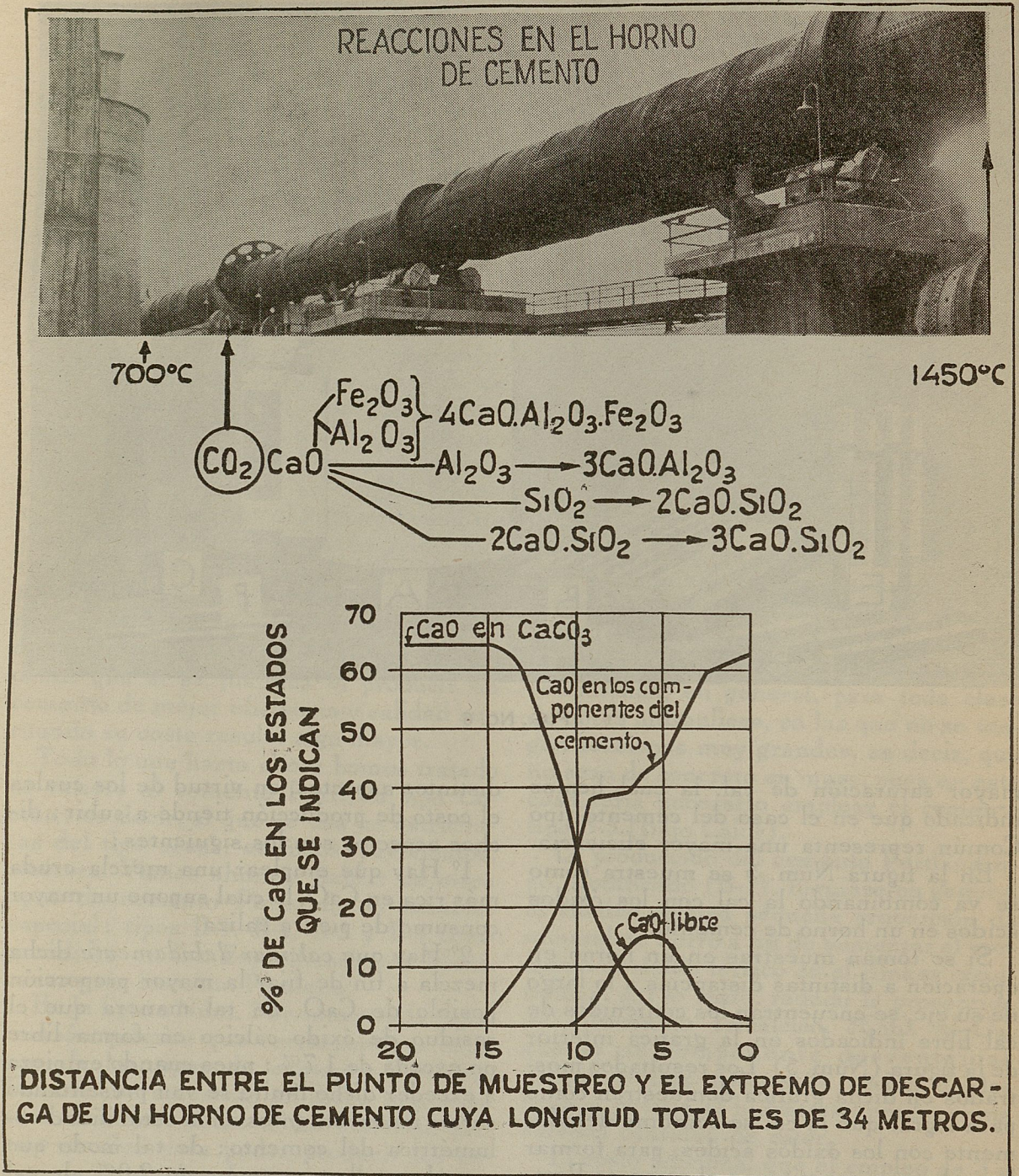


Fig. N° 5

fuerzo metálico, las juntas se espacian cada 12 metros.

Para el futuro desarrollo de carreteras nacionales, que indudablemente implicará importantes pavimentaciones con concreto, será ventajoso el poder contar con cementos muy eficientes.

### III. SOBRE-COSTO CORRESPONDIENTE A LA PRODUCCION DEL CEMENTO MEJORADO.

Vamos aquí a presentar algunas indicaciones sobre lo que implica en la manufactura del cemento, la obtención de una

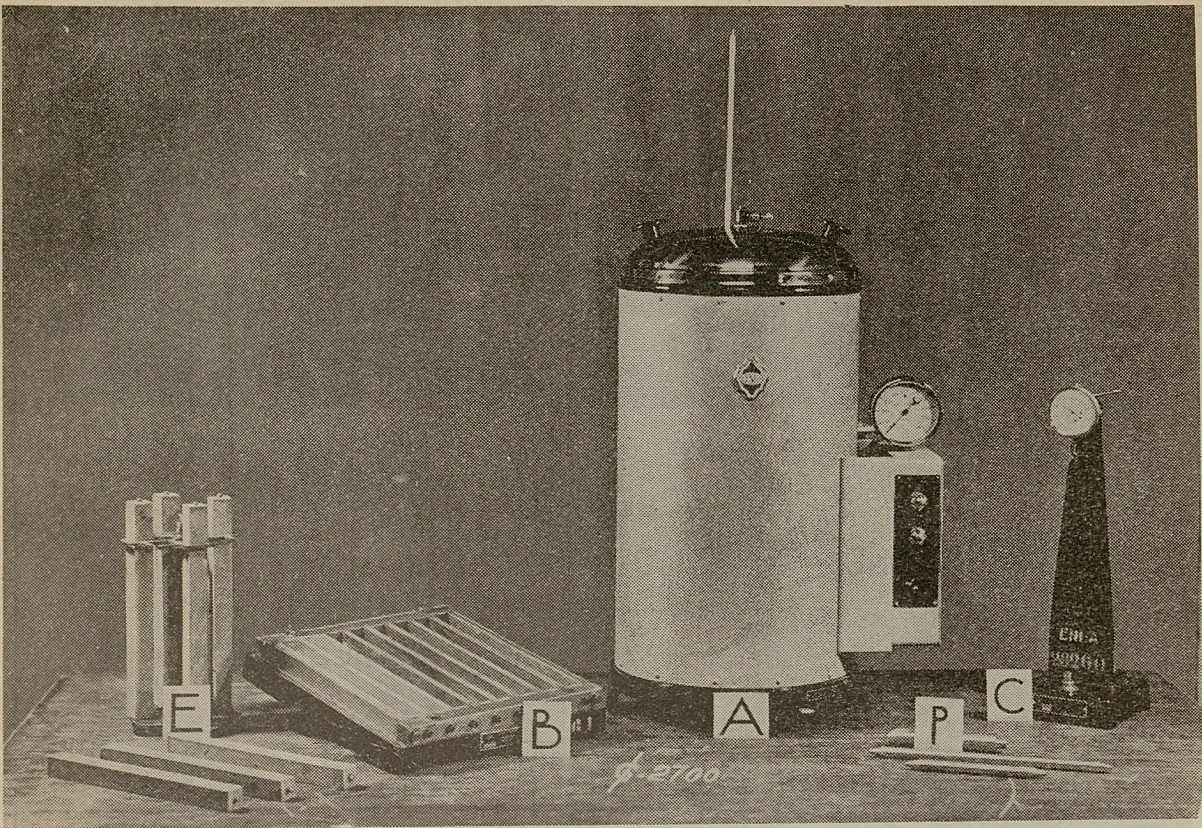


FIG. No. 6

mayor saturación de cal, la cual hemos indicado que en el caso del cemento tipo Común representa una mayor eficiencia.

En la figura Núm. 5 se muestra cómo se va combinando la cal con los óxidos ácidos en un horno de cemento.

Si se toman muestras en un horno en operación a distintas distancias a lo largo de su eje, se encuentran los contenidos de cal libre indicados en la gráfica inferior de la figura (Núm. 5). Los resultados mostrados en dicha gráfica demuestran cómo para lograr que la cal se combine debidamente con los óxidos ácidos, para formar las sales que constituyen el cemento Portland, es necesario efectuar una buena calcinación, aplicando una temperatura suficientemente elevada ( $1450^{\circ}$  C.), durante el tiempo necesario para asegurar la fijación de la cal libre.

Así pues, el problema de obtener cemento Portland Común más eficiente, es decir, de mayor contenido de silicato tricálcico para aumentar la resistencia a la compresión a los 28 días, presenta dos

distintos aspectos, en virtud de los cuales el costo de producción tiende a subir; dichos aspectos son los siguientes:

1º Hay que emplear una mezcla cruda más rica en  $\text{CaO}$ , lo cual supone un mayor consumo de piedra caliza.

2º Hay que *calcinar debidamente* dicha mezcla a fin de fijar la mayor proporción posible de  $\text{CaO}$ , de tal manera que el residuo de óxido cálcico en forma libre no exceda de 1.7%; pues cuando empieza a exceder dicho límite se van presentando serios inconvenientes en la estabilidad volumétrica del cemento; de tal modo que cuando se llega a tener un 2.0% de cal libre, se presenta expansión detrimental que se acusa, descalificando al cemento respectivo, en la prueba acelerada de sanidad, hecha en autoclave, en la forma que fijan las Especificaciones Mexicanas; por lo tanto conviene que en ningún caso se exceda el último límite indicado (2.0%).

La figura Núm. 6 muestra el autoclave usado en los Laboratorios de la Comisión Nacional de Irrigación para conseguir, me-

dianete vapor a presión muy elevada (20 atmósferas), una hidratación acelerada del cemento y poder así apreciar el efecto de expansión que a presión y temperatura ordinarias dilataría largo tiempo en acursarse (en ocasiones algunos años).

Los aumentos en el costo del cemento que las circunstancias antes citadas representan: como la mayor proporción de piedra caliza requerida y los aumentos en costo que una mejor calcinación implica, tales como mayor consumo de combustible, menor rendimiento del horno, mayor costo de mano de obra por tonelada de clinker producida, etc., son justificables si se comparan con los ahorros en el consumo del cemento en el concreto, que es posible lograr cuando se emplea el cemento más eficiente. El aumento en costo respectivo y el ahorro en consumo que con el cemento mejorado se logran, están en una proporción relativa aproximada de un 10% de aumento en costo para un 20% de ahorro en el consumo de cemento; es decir, que sí se justifica el producir un cemento de mejor eficiencia y calidad aun cuando su costo resulte algo mayor.

Todo lo que hasta ahora hemos tratado se refiere al cemento Portland tipo Común; es decir, al que se usa en estructuras del tipo usual: edificios, pavimentos, etcétera. Vamos ahora a hablar de otros tipos de cemento Portland, de carácter especial: tipos B-1, B-2, B-3 y B-4 comprendidos en las Especificaciones Mexicanas para cemento Portland.

En la figura Núm. 7 se muestra la constitución química que corresponde a cada uno de los tipos de cemento Portland. También se muestran en dicha figura las adiciones necesarias a las materias primas usuales para poder producir los cementos especiales. La fotografía en el extremo superior derecho de la misma figura (Núm. 7) muestra el horno experimental instalado en los Laboratorios de la Universidad de California para el estudio de mezclas diversas dosificadas para la producción de cementos especiales. La fotografía del extremo izquierdo muestra un banco de material rico en sílice apropiado para la producción de los cementos especiales tipos B-1, B-3 y B-4.

Todos los 4 tipos especiales representan, en general, aumentos en los costos de producción de mayor importancia que los citados para el mejoramiento del cemento tipo Común; pero en el caso de los 4 cementos especiales, el costo adicional de producción no sólo queda ampliamente compensado con las ventajas de índole económica que en el concreto se obtienen, sino que además dichos cementos se hacen indispensables para satisfacer determinadas necesidades de orden técnico. Vayamos considerando los cementos especiales en el mismo orden que las Especificaciones Mexicanas los mencionan:

#### IV. CEMENTO B-1.—TIPO MODIFICADO

Para usarse en aquellas obras en las que se requiera resistencia a un ataque moderado de sulfatos o donde se necesite que el calor de fraguado que se produzca sea moderado. Este tipo de cemento se recomienda, en general, para toda clase de obras hidráulicas, en las que no se tengan secciones muy grandes, es decir, que no sean de concreto en masa, pues en este caso sería necesario emplear el cemento tipo B-3 (Bajo Calor).

La producción del cemento Portland tipo Modificado (B-1), requiere en general el empleo de una pequeña proporción de mineral de hierro a fin de aumentar el porcentaje de óxido férrico en el clinker resultante y, por lo tanto, reducir la proporción del Aluminato Tricálcico,  $3CaO \cdot Al_2O_3$ , que es un componente desventajoso porque resiste poco a la acción de las sales y porque al hidratarse produce una elevada cantidad de calor.

El costo adicional que el empleo de 3 a 5% de mineral de hierro representa, queda ampliamente compensado no sólo por la obtención de un cemento más eficiente para obras hidráulicas en general, sino también porque el óxido férrico adicional es un fundente excelente que facilita la mejor combinación de la cal en el horno de cemento. Su acción como fundente es benéfica y en muchos casos se utiliza en la producción del cemento Portland Común, con el fin de lograr un cemento más

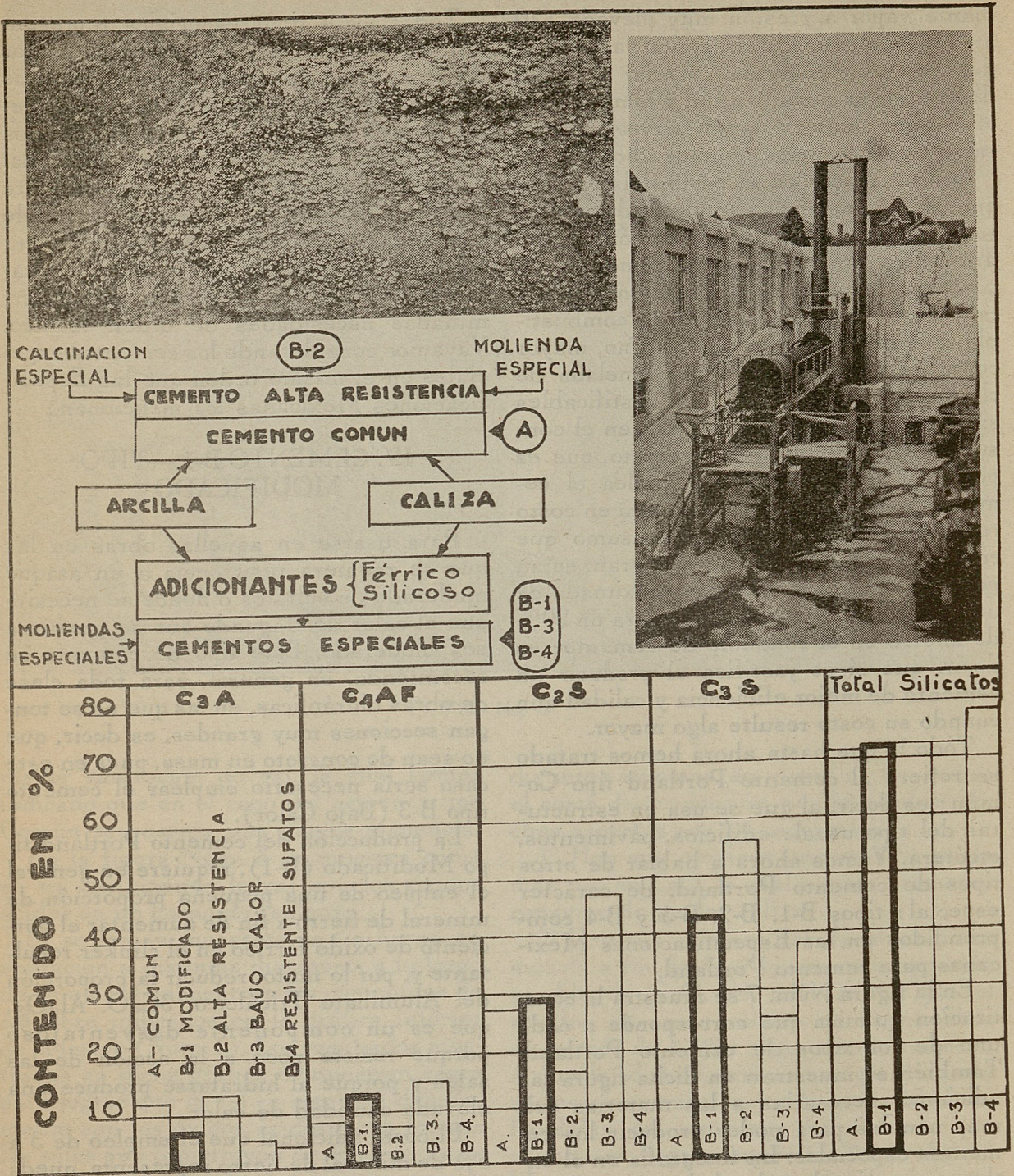


FIG. No. 7

eficiente mediante la mejor combinación de la cal y el mayor por ciento de silicato tricálcico resultante.

En ciertos casos de materias primas pobres en sílice (razón SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> inferior a 3.5), será necesario, además, para la obtención del cemento tipo Modificado,

la adición de una pequeña proporción de material rico en sílice como escorias silicosas, diatomitas y hasta arena, en caso de no conseguir algún otro material apropiado cuya molienda pueda hacerse más fácilmente.

El exceso de costo de producción del

cemento Modificado sobre el del cemento Común varía según las materias primas de que se disponga en cada fábrica, entre un 10 y un 20%; pero estos excesos en costo de producción quedan ampliamente compensados si se tiene en cuenta que en la generalidad de las obras hidráulicas, el cemento tipo Modificado es bastante más eficiente que el cemento Común, y, por lo tanto, el consumo por m<sup>3</sup> de concreto, puede reducirse hasta en un 20% aproximadamente. Por ejemplo; en la generalidad de las obras hidráulicas se tendrá un concreto de calidad satisfactoria con un consumo de únicamente 250 Kg. de cemento tipo Modificado por m<sup>3</sup> de concreto; en tanto que a igualdad de condiciones y para lograr resultados algo similares, sería necesario el empleo de unos 300 Kg. de cemento Común.

#### V. CEMENTO B-2 DE ALTA RESISTENCIA

Este tipo de cemento Portland, que hasta hoy no se ha llegado a producir en México, es el que en general resulta más costoso por lo difícil de su calcinación y porque en la molienda es necesario llevarlo hasta un grado de finura bastante elevado.

La calcinación resulta costosa porque es necesario lograr una combinación muy completa del óxido de calcio con el silicato dicálcico, a fin de obtener una proporción elevada (55 a 65%) de  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Lo anterior supone un mayor consumo de piedra caliza para lograr una mezcla cruda muy básica y, además, un consumo bastante mayor de combustible para fijar el elevado por ciento de cal que se requiere. Además, la ejecución de una buena calcinación en las condiciones indicadas toma mayor tiempo y esto hace que se reduzca la capacidad del horno.

En varias plantas que producen este tipo de cemento, se hace necesario hacer una doble calcinación, haciendo que el clinker que sale del primer horno sea pasado por un segundo, a fin de reducir el contenido de cal libre y aumentar el por ciento de silicato tricálcico, que es el que origina la elevada resistencia a edad tem-

prana. Así pues, es este tipo de cemento el más costoso de los Portland y su empleo sólo se justifica cuando se requiere un endurecimiento muy rápido, ya que en términos generales, puede decirse que el concreto fabricado con cemento de este tipo, presenta a los 3 días la resistencia que adquiriría a los 28 días en caso de que en él se hubiese empleado cemento Portland Común.

El costo de producción de este cemento es bastante más elevado que el del común, aproximadamente un 40%; pero en cambio los ahorros que puede representar en casos de urgencia son de un orden mucho mayor que los que implica el sobre costo del cemento.

El poder descimbrar una estructura rápidamente, el abrir al tránsito un pavimento recién construido, el tener en operación inmediata una pista de aterrizaje, etcétera, representan ventajas económicas de una cuantía mucho mayor que la que representa el sobre costo del cemento rápido; especialmente si se tiene en cuenta que en una obra de concreto el costo del cemento representa, en general, únicamente una fracción de un orden aproximado del 10% con relación al costo total y por lo tanto, el sobre costo de un 40% en el cemento vendría a representar únicamente un 4% de aumento en el costo total de la obra, el cual se justificaría en muchos casos por la mayor prontitud para poder utilizarla. En tiempo de guerra, cuando la rapidez para empezar a utilizar determinadas estructuras es de importancia vital, el tipo B-2 justifica plenamente el sobre costo que su manufactura representa.

Por supuesto que el tipo B-2 tiene determinadas limitaciones de orden técnico, ya que por el muy elevado calor que produce al fraguar, su uso debe limitarse a secciones relativamente delgadas, como pavimentos, edificios, pistas de aterrizaje, etcétera.

#### VI. CEMENTO TIPO B-3, DE BAJO CALOR DE FRAGUADO

Este tipo es bastante más costoso de producir que el tipo Común, pues requiere

en la generalidad de los casos, la adición de ingredientes especiales, ricos en los óxidos de silicio y fierro, los cuales tienden a modificar la constitución del cemento Común y a producir un menor contenido de componentes tricálcicos, especialmente de aluminato tricálcico, que es el que produce mayor calor al fraguar.

Además, el costo de este tipo de cemento, es elevado porque su molienda, que debe llevarse a un alto grado, para obtener la permeabilidad y la plasticidad necesarias para el concreto en masa, resulta bastante más costosa que la del cemento común porque el clinker tipo bajo-calor es más duro y difícil de moler que el clinker común.

El sobrecosto que el cemento de Bajo-Calor representa, varía de acuerdo con las materias primas y las condiciones especiales que se tienen en cada planta. Por ejemplo, a las materias primas mostradas en la figura Núm. 1, sería necesario añadirles arena silicosa y mineral de fierro en proporción aproximada de 4% de cada uno de dichos ingredientes, a fin de lograr una buena constitución de cemento de Bajo-Calor. Con la adición citada y empleando un índice real de saturación de 80%, se obtendría una constitución química satisfactoria para el tipo que nos ocupa.

En general, el sobrecosto del cemento de Bajo-Calor puede estimarse entre un 10 y un 30%, de acuerdo con las materias primas disponibles en cada fábrica; pero aun con el sobrecosto indicado, las economías que el cemento de Bajo-Calor representa en la ejecución de obras de grandes secciones, como presas, grandes pilas de puentes, muelles, etc., son de un orden muy superior a los sobrecostos citados.

Por ejemplo: la construcción de una presa de grandes secciones, 30 a 50 m de espesor en la base, podría hacerse con cemento del tipo Común; pero la velocidad de construcción tendría que ser muy lenta para que el calor producido por el fraguado del cemento se fuese disipando en la atmósfera y no ocurriese la acumulación que produciría una fuerte elevación de temperatura y los agrietamientos subsecuentes. El costo de ejecución de una

obra de grandes dimensiones en las condiciones de lentitud citadas sería excesivo y, además, los servicios que la obra debe proporcionar, se retrasarían demasiado.

Supongamos, por ejemplo, una inversión de \$20,000,000.00 para la construcción de una gran presa, la cual, mediante el empleo de unas 50,000 toneladas de cemento de Bajo-Calor, puede empezar a prestar servicios unos dos años después de iniciada. Si la misma presa se hace con cemento tipo Común, tendría que irse construyendo con bastante lentitud a fin de evitar una fuerte acumulación de calor y los agrietamientos subsecuentes. Si se supone que en unos 4 años se pudiese poner en servicio la estructura construída en estas condiciones, la comparación de sobrecosto con el que implica el uso del cemento de Bajo-Calor, sería la siguiente:

CONSTRUCCION HECHA CON CEMENTO TIPO	COMUN	BAJO CALOR
Sobrecosto en 50,000 toneladas de cemento de Bajo-Calor ..... \$	.....	600,000.00
Sobrecosto por concepto de dilación en la Obra. Intereses de dos años sobre la mitad del costo de la Obra \$ 10,000,000.00 $\times 6\% \times 2$ años..... \$	1,200,000.00	.....
Sobrecosto total ..... \$	1,200,000.00	600,000.00

Resulta, pues, más económico el uso del cemento de Bajo-Calor a pesar de que su costo de manufactura sea más elevado que el del cemento Común. Por supuesto que la estimación anterior es demasiado conservadora, pues aparte de los intereses del capital invertido habría que considerar el aumento considerable por concepto de gastos generales, que la ejecución lenta de una obra implica. Además, el empleo del cemento de Bajo-Calor se hace necesario para evitar el agrietamiento porque:

1º La presa agrietada quedaría en malas condiciones de estabilidad, permeabilidad y durabilidad, y,

2º El diseño de ella no podría hacerse en las condiciones económicas que supo-

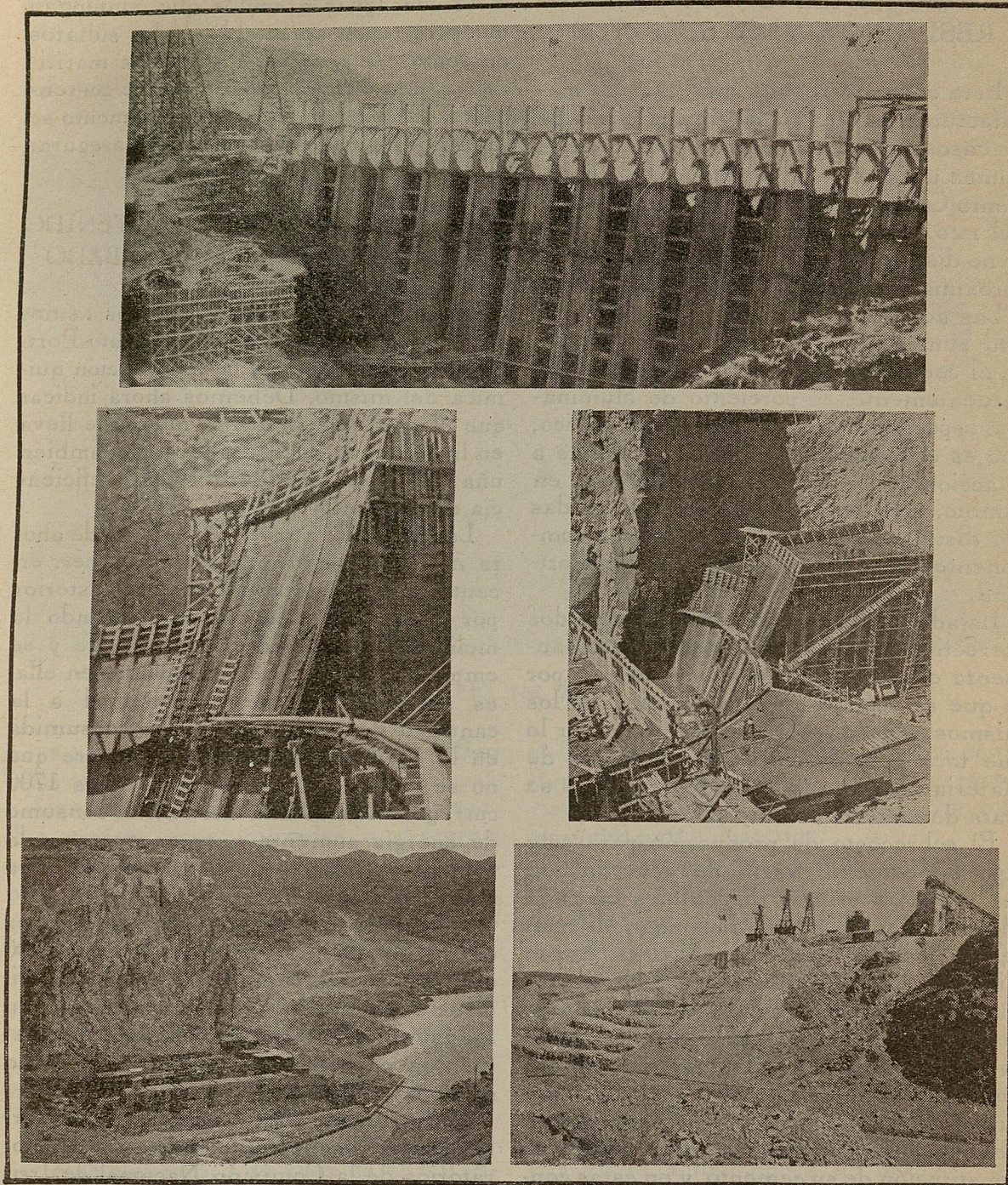


FIG. N° 8

nen a la estructura actuando monolíticamente y resultan en secciones delgadas y por lo tanto mucho más económicas.

En la figura Núm. 8 se muestran fotografías de presas construídas eficientemente por la Comisión Nacional de Irrigación con cemento de Bajo-Calor. La

fotografía superior corresponde a Presa Rodríguez, terminada en 1935; las dos fotografías intermedias a la Presa de La Angostura, terminada en 1941 y las dos fotografías inferiores a la Presa de Las Vírgenes, cuya construcción se inició el año pasado.

## VII. TIPO B-4. CEMENTO PORTLAND RESISTENTE A LOS SULFATOS

Este cemento resulta más caro de manufacturar porque en la gran mayoría de los casos es preciso añadir a las materias primas usuales para la producción del cemento Común, de un 6 a un 12% de material rico en sílice (arena silicosa, en caso de no disponer de otro material), y un 4%, aproximadamente, de mineral de fierro.

Las adiciones indicadas tienen por objeto aumentar la proporción de silicatos en el cemento Portland y disminuir, consecuentemente, el porcentaje de aluminatos, especialmente el aluminato tricálcico, que es el componente menos resistente a la acción de los sulfatos. Los silicatos, en cambio, según muchas pruebas realizadas por distintos investigadores, son los componentes más estables del cemento Portland.

La adición a la mezcla cruda de los dos correctivos: el silicoso y el férrico, aumenta el costo de producción no sólo por lo que se refiere a la adquisición de los mismos adicionantes, sino también por lo que toca a la dificultad de molienda de materia cruda, que es mayor cuando se trata de materiales muy silicosos.

El sobrecosto de producción para este tipo de cemento varía de acuerdo con las materias primas disponibles en cada fábrica. Aquéllas que dispongan de materias primas bastante silicosas, razón  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  superior a 4.0, podrán producir este tipo de cemento con un pequeño costo adicional. En cambio aquellas plantas, que constituyen la mayoría, en las cuales la razón  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  quede comprendida entre 3.0 y 3.5, sí necesitan hacer adiciones de importancia para corregir la constitución de su cemento, y en estas condiciones el costo de manufactura puede subir hasta un 35% sobre el correspondiente al cemento común; pero se debe considerar que el empleo de este tipo de cemento que asegura mayor durabilidad en presencia de los agentes químicos de desintegración, puede representar economías de gran importancia al aumentar la vida útil y reducir los costos de conservación en estructuras que estén en con-

tacto con aguas o suelos que contengan una proporción apreciable de los sulfatos de sodio o magnesio. Para obras marítimas o para obras en terrenos que contengan sulfatos, el empleo de este cemento se justificará plenamente, a fin de asegurar mayor durabilidad.

## VIII. GRADO DE FINURA OBTENIDO EN LA MOLIENDA DE ACABADO

En los capítulos anteriores nos hemos referido a la eficiencia del cemento Portland, influenciada por la constitución química del mismo. Debemos ahora indicar que el grado de finura al que se le lleva en la molienda de acabado, tiene también una influencia considerable en la eficiencia del cemento.

La finura del cemento, que se mide ahora mediante el turbidímetro Wagner, en centímetros cuadrados de área exterior por cada gramo de cemento, cuando la molienda se efectúa eficientemente y se emplean clasificadores apropiados en ella, es aproximadamente proporcional a la cantidad de energía eléctrica consumida en la operación respectiva; siempre que no se exceda de un límite de unos 1700  $\text{cm}^2/\text{gramo}$ , más allá del cual el consumo de energía aumenta muy en exceso a la proporción relativa de aumento de finura que se obtiene.

En las condiciones actuales de escasez de energía eléctrica, se considera que 1500  $\text{cm}^2/\text{gramo}$  representan un grado de eficiencia apropiado y los datos dados en los capítulos anteriores, relativos a los cementos especiales, se refieren a dicho grado de molienda.

La fotografía Núm. 9 corresponde al turbidímetro Wagner empleado en los Laboratorios de la Comisión Nacional de Irrigación para la determinación de la finura de los cementos.

## IX. CONCLUSIONES

Los datos presentados en los párrafos anteriores no constituyen en modo alguno los únicos motivos que justifican económicamente la mejoría de la calidad del cemento Portland, según los usos especí-

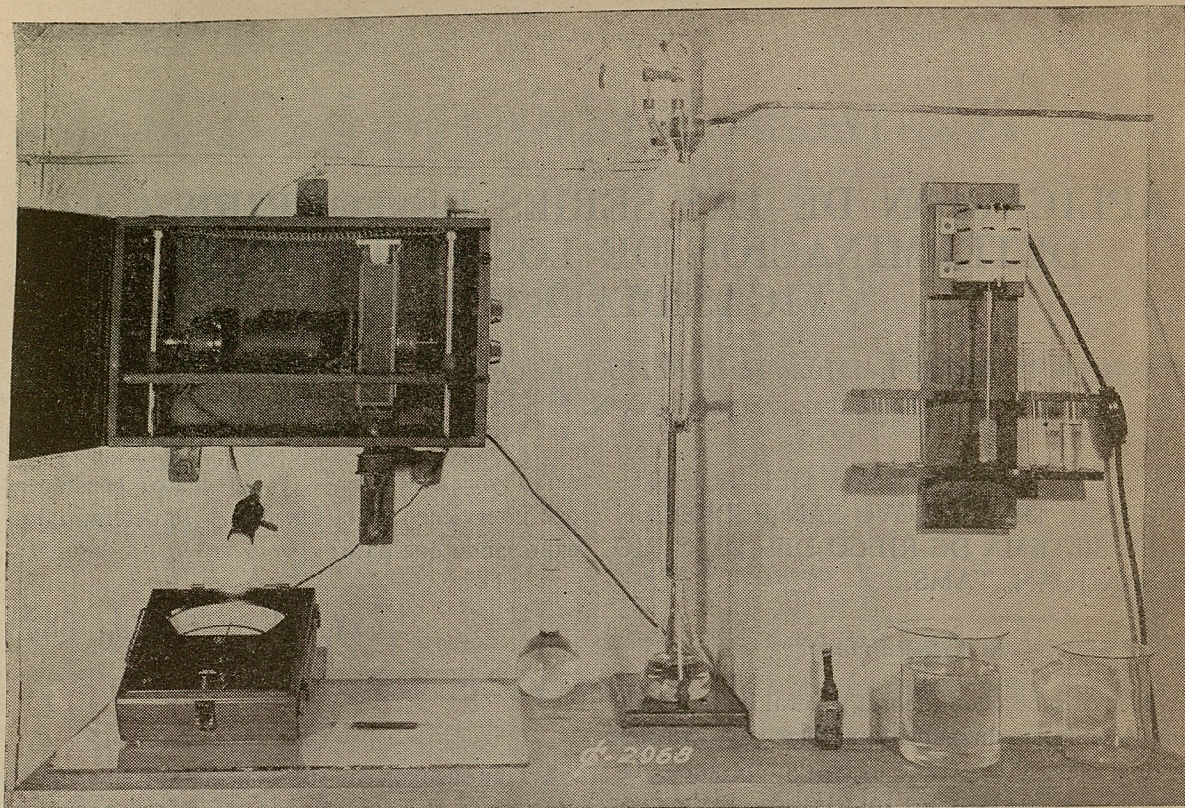


FIG. No. 9

ficos a los que él se vaya a destinar. Son ellos tan sólo algunos de los que más palpablemente se pueden presentar a aquellas mentes acostumbradas a discernir sobre el criterio de costos comparativos; pero hay algo de mayor importancia aún que justifica plenamente la búsqueda en pro de la mejor calidad del cemento Portland y ello es la seguridad que debe acompañar siempre a la ejecución de obras de concreto de las cuales el pueblo espera, y nunca debe defraudársele: **SEGURIDAD**, y **LARGA** y **SATISFACTORIA VIDA**.

Desde hace más de 11 años (véase número de noviembre de 1932 de **IRRIGACION EN MEXICO**), el suscrito ha venido expresando públicamente estas ideas y ha sido hace unos dos meses cuando, ya por Decreto Presidencial publicado en el "Diario Oficial" de 8 de febrero de 1944,

el Gobierno Mexicano ha adoptado como Especificaciones Nacionales, las características de los cinco tipos de cemento Portland antes descritos.

Que corresponda al Químico que se especialice en cemento, la utilísima misión de velar por el mejoramiento de la calidad de tan importante material de construcción y que le corresponda también el mantenerse en contacto estrecho con el Ingeniero, Constructor o Proyectista, a fin de que de la expresión mutua de los problemas de manufactura y de construcción y de la comparación de los costos relativos de una y de otra, resulte para nuestra Patria en su actual época de intenso desarrollo, el máximo posible de eficiencia extendida no a la esfera limitada de determinada industria o actividad, sino a la esfera tan amplia que implica la denominación: **ECONOMIA NACIONAL**.