

por hora en los primeros 30 m (100 pies) de la torre.

Se decidió llevar a cabo un programa de ensayos de campo usando bloques instrumentados de 1.50 m (5 pies) para investigar los tiempos de fraguado, generación de calor y la resistencia en el lugar para los concretos con cemento I y tipo IV.

ENSAYES INICIALES DE CAMPO - BLOQUES DE ENSAYE.

Dimensiones, Cimbras y Protección.

Los bloques consistieron en cubos de 1.50 m (5 pies) colados en cimbra de madera contrachapada. Esta dimensión fue escogida en acuerdo con el ingeniero en Jefe para representar los muros extremos de los soportes de la torre, la mayor parte de su altura. La cimbra fue construida de tal manera que cada uno pudiera ser desarmado independientemente.

La cimbra fue protegida con una capa de 10 cm (4") de estireno en las cuatro caras laterales, y se tomaron precauciones para proteger en forma similar la cara superior después de colar el concreto. Una vista típica de la cimbra se muestra en la Fig. 4.

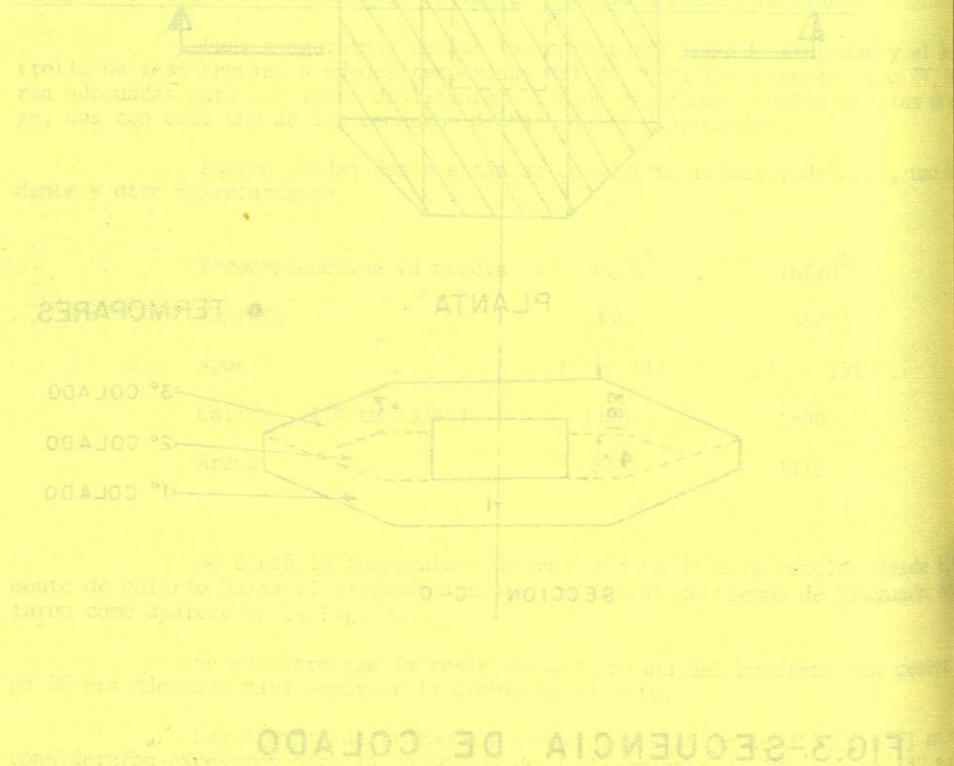


Figura 4

Se colocaron 6 bloques de ensayos exactamente en la misma forma --- excepto que en los ensayos del 2 al 6 los bloques se elaboraron con preparación para calentar el aire alrededor del bloque para simular las condiciones ambientales del verano.

Instrumentacion.

La cara interior de la cimbra se instrumentó con termopares (tipo NN24T) con objeto de determinar la temperatura del concreto. La localización de los termopares se muestra en la Fig. 5.

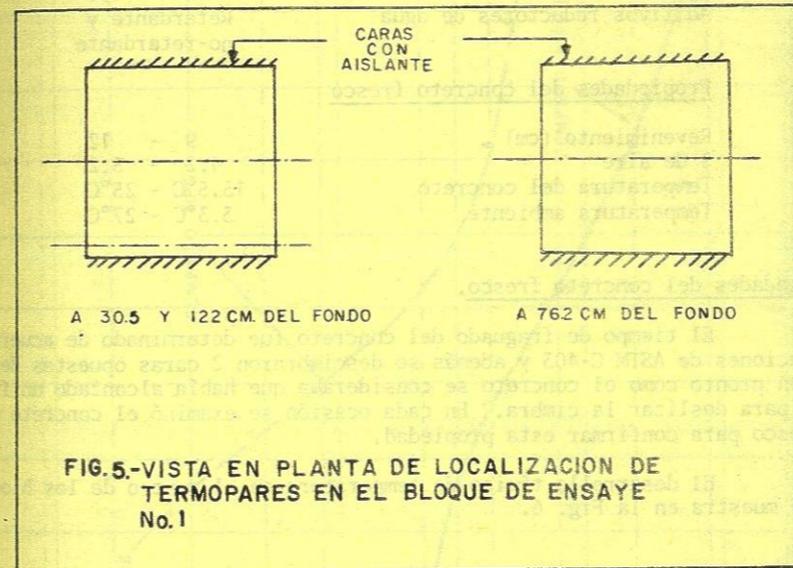


FIG.5.-VISTA EN PLANTA DE LOCALIZACION DE TERMOPARES EN EL BLOQUE DE ENSAYE No.1

Las tres series centrales de termopares indicaban la distribución de temperatura desde el centro del bloque hacia las superficies, las cuales serían expuestas más tarde, debido al deslizamiento de la cimbra, y las series exteriores indicaban cualquier flujo de calor, que tuviera lugar a través de las caras protegidas durante el período de ensaye.

Habiendo obtenido los rangos de flujo de calor, se redujo el número de termopares en los bloques 2 al 6.

Mezclas de Concreto.

1.- Proporcionamiento de las mezclas.

Los proporcionamientos de las mezclas usadas en los bloques de yes son motradas abajo en la Tabla 2.

TABLA 2

MEZCLAS DE ENSAYE PARA DETERMINACION DE TIEMPOS DE FRAGUADO

	kg/m <sup>3</sup>
Cemento tipo IV	330 - 370
Cemento tipo I	340 - 360
Arena	720 - 780
Caliza triturada 1.9 cm (3/4 pulg)	1140 - 1170
Agua	150 - 168
Aditivos reductores de agua	Retardante y no-retardante

Propiedades del concreto fresco

Revenimiento (cm)	9 - 12
% de aire	4.2 - 5.2
Temperatura del concreto	15.5°C - 25°C
Temperatura ambiente	3.3°C - 27°C

2.- Propiedades del concreto fresco.

El tiempo de fraguado del concreto fue determinado de acuerdo a recomendaciones de ASIM C-403 y además se descimbraron 2 caras opuestas de cada bloque tan pronto como el concreto se consideraba que había alcanzado un fraguado adecuado para deslizar la cimbra. En cada ocasión se examinó el concreto desmoldado fresco para confirmar esta propiedad.

El desarrollo típico de temperatura en el centro de los bloques ensaye se muestra en la Fig. 6.

Efecto del calor en la resistencia a la compresión.

Fueron obtenidos y ensayados núcleos a varias edades para comparar la resistencia del concreto en el lugar con la resistencia de cilindros curados en forma estándar.

Debido a que los ensayos iniciales de núcleos de los bloques 2 y 3 a 7 y 8 días después de colados mostraron resistencias notablemente menores que de los cilindros estándar, se planeó un mayor muestreo de núcleos en todos los bloques de ensaye. Los núcleos fueron extraídos tanto vertical como horizontalmente.

Los núcleos extraídos en forma vertical del centro de cada bloque fueron los que dieron los resultados más altos.

Subsecuentemente, todos los núcleos fueron extraídos verticalmente del centro de los bloques de ensaye.

Los datos de los ensayos de los núcleos para todos los bloques de

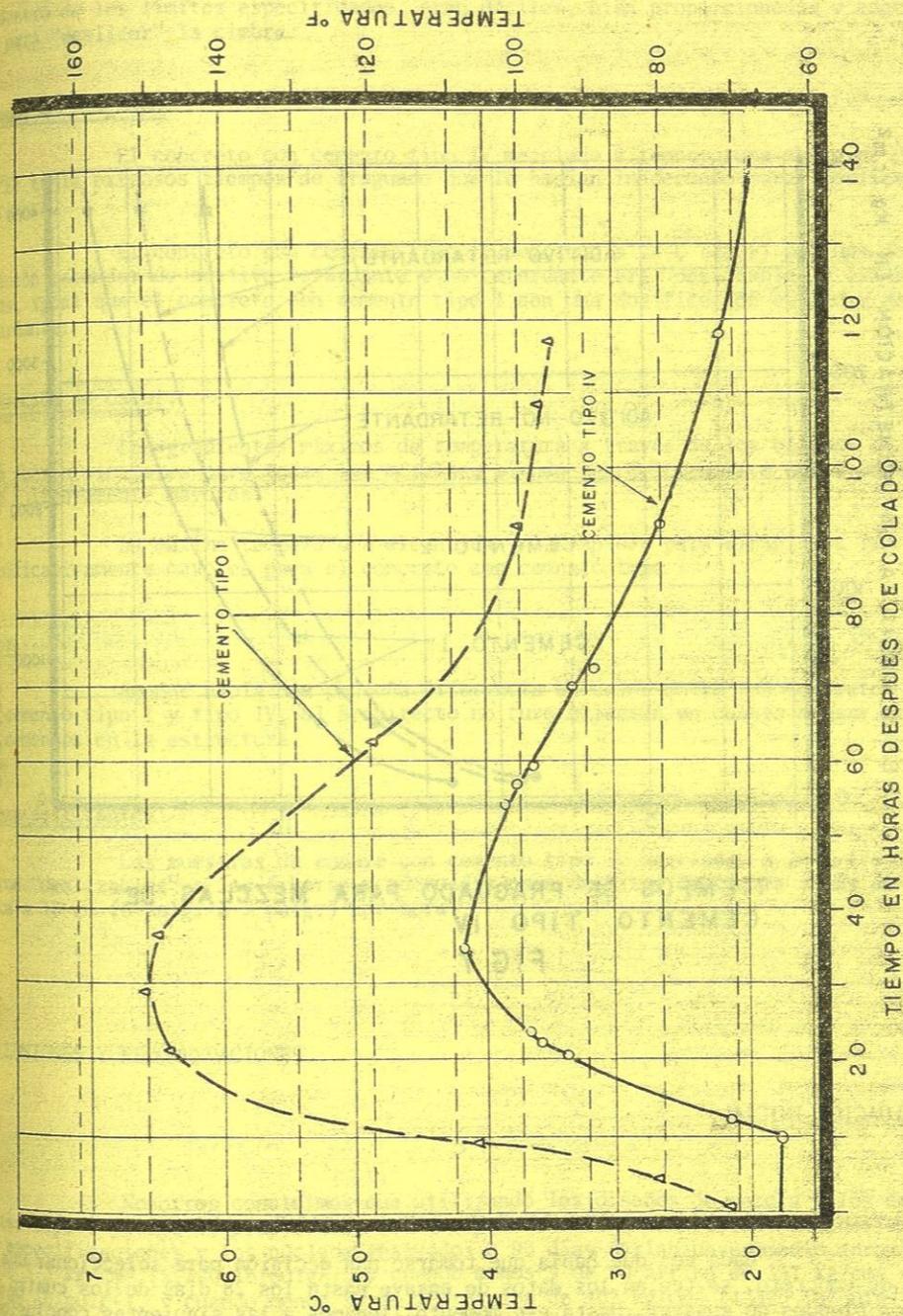
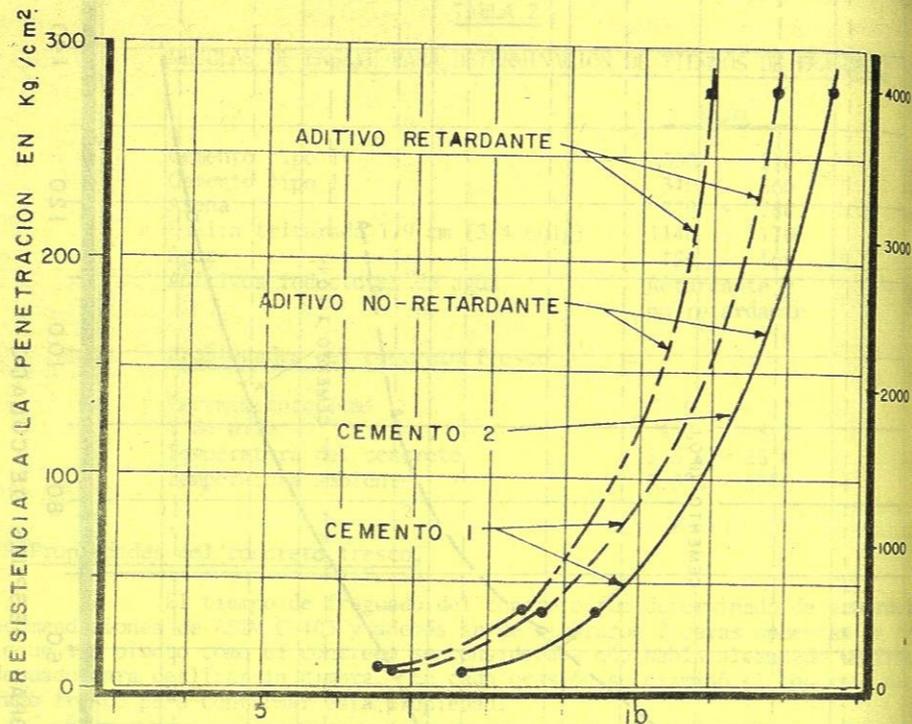


FIG. 6

ensaye se presentan en la Fig. 7.



TIEMPOS DE FRAGUADO PARA MEZCLAS DE CEMENTO TIPO IV  
FIG. 7

EVALUACION INICIAL.

Cada vez que había que tomarse una decisión para seleccionar una mezcla de concreto, se tenían los datos de ensaye hasta los 28 días de los cuatro primeros bloques de ensaye. Hasta ese momento llegamos a las siguientes conclusiones:

Propiedades del Concreto Fresco.

Todas las mezclas de ensaye tenían revenimientos y contenidos de aire dentro de los límites especificados, eran dóciles, bien proporcionadas y adecuadas para "deslizar" la cimbra.

Tiempos de Fraguado.

El concreto con cemento tipo IV mezclado a temperatura abajo de 21°C (70°F) tenía extensos tiempos de fraguado que lo hacían inadecuado para "deslizar" la cimbra.

El concreto con cemento tipo IV mezclado a 24°C (75°F) con una dosificación estándar de aditivo retardante o no-retardante era "deslizable" a las 5 horas, igual que el concreto con cemento tipo I con una dosificación estándar de retardante.

Generación de Calor.

Los gradientes máximos de temperatura a través de los bloques de ensaye fueron similares para todas las mezclas, siendo los del concreto con cemento tipo I ligeramente mayores.

La máxima temperatura alcanzada y la rapidez para alcanzarla fueron significativamente mayores para el concreto con cemento tipo I.

Color.

Aunque había una pequeña diferencia en color entre los concretos -- con cemento tipo I y tipo IV, el arquitecto no tuvo objeción en cuanto a usar ambos cements en la estructura.

Cimbra deslizante.

Las muestras de ensaye con cemento tipo IV mezcladas a 24°C (75°F) fueron "deslizables" a las 5 horas y adecuadas para deslizar la cimbra a más de 15 cm a 18 cm (6 pulg. a 7 pulg.) por hora.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Nosotros concluimos que utilizando los diseños de mezcla y los cementos tipo I y tipo IV propuestos, los ensayos de cilindros estándar excederían las especificaciones y los núcleos ensayados a 90 días darían un promedio aproximado de 373 kg/cm² (5,300 lb/pulg²), y cuando menos 9 de 10 arriba de 331 kg/cm² (4,700 lb/pulg²), y cuando menos 99 de 100 arriba de 303 kg/cm² (4,300 lb/pulg²). Estos valores excederían cerca de 10% los valores esperados en una estructura diseñada bajo los códigos existentes.

Nosotros recomendamos que el cemento tipo IV fuera usado en los pri...

meros 30 m (100 pies) de la torre que era donde se presentaba la máxima restricción y donde se había planeado velocidades bajas de deslizamiento, y que el concreto tipo I fuera usado arriba de ese nivel donde la velocidad de deslizamiento de la cimbra se había programado que fuera mayor.

El ingeniero estuvo de acuerdo en estas recomendaciones, sólo por razones estructurales decidió continuar con el uso de cemento tipo IV hasta donde fuera práctico.

ENSAYES DE CAMPO

Durante la semana anterior al inicio del colado con cimbra deslizante se hicieron varias revolturas de concreto en la planta dosificadora de la obra con varios tipos y dosificaciones de aditivos.

Las características más importantes fueron anotadas como se muestra abajo en la tabla 3.

TABLA 3

ENSAYES DE TIEMPO DE FRAGUADO	MEZCLAS DE CAMPO PARA ENSAYE				
	Cemento usado		Tipo IV		
Cemento	kg/m <sup>3</sup>		372		
Agua			156		
Arena			1140		
Grava 1.9 cm (3/4 pulg)			720		
Aire (%)	4.7	5.4	4.5	4.5	5.5
Revenimiento (cm)	10	7	9	11	9
Aditivo reductor de agua, retardante (gr/saco cem) -		98	95	126	126
Aditivo reductor de agua no retardante (gr/saco cem.) 64		-	-	-	-
Temp. del concreto (°C)	21.7	21.7	22.8	20.6	22.8
Temp. del aire (°C)	22.2	22.2	28.9	24.0	26.7
Tiempo de fraguado para alcanzar 2.1 kg/cm <sup>2</sup>	4 horas	5 horas	3 horas	5 horas	5 horas
		20 min.			20 min.

El cemento tipo IV fue checado en cuanto a fraguado falso y se encontró que cumplió con los requerimientos ASTM C-150 para cemento tipo IV.

Una evaluación de los tiempos de fraguado obtenidos usando un ag

te retardante y reductor de agua, indicó que eran necesarias dosificaciones más altas para obtener un aumento significativo en el tiempo de fraguado. Dado que esto fue algo inesperado, los datos fueron presentados a comprobación con las compañías de cemento y aditivo involucrados y sobre la base de los datos, los resultados de los ensayos de campo fueron aceptados como válidos.

La velocidad de colado prevista para el primer día de construcción era muy lenta y de acuerdo con esto se escogió una dosificación de retardante igual a 175 gr/saco de cemento (5.5 onzas/100 lbs. de cemento). Durante las primeras horas de colado se presentaron una serie de problemas mecánicos en la Planta, y de manejo y colocación del concreto que originaron un avance mucho más lento que el previsto, por lo que la dosificación de retardante se incrementó a 202 gr/saco de cemento (6.5 onzas/100 lbs. de cemento). Una vez que el avance se mejoró, la dosificación se ajustó a 175 gr/saco de cemento (5.5 onzas/100 lbs. de cemento).

De hecho, con las dosificaciones escogidas se obtuvieron mayores tiempos de fraguado, ocurriendo algunas fuera de orden en los colados del fondo.

ENSAYES DE CAMPO FINALES.

Dado que los resultados de campo resultaron contrarios a los ensayos previos de campo, se efectuaron una serie adicional de ensayos para investigar el problema más a fondo. Al mismo tiempo como parte de una evaluación de los efectos del retardo inicial, se extrajeron núcleos de las áreas que resultaron fuera del retardo esperado, obteniéndose resistencias a los tres días de 196 kg/cm<sup>2</sup> (2,780 lb/pulg<sup>2</sup>) a 348 kg/cm<sup>2</sup> (4,940 lb/pulg<sup>2</sup>) comparados con la resistencia de 155 kg/cm<sup>2</sup> (2,200 lb/pulg<sup>2</sup>) obtenida a los 3 días en los ensayos de laboratorio con la misma mezcla.

Los ensayos posteriores de campo se diseñaron para simular, lo más cerca posible, los efectos de colados en capas delgadas y re-vibrando como ocurre en la práctica con cimbra deslizante.

Fueron colados 6 bloques de ensaye de 1.50 m (5 pies) de longitud, 45 cm (18 pulg) de ancho y 1.20 m (4 pies) de altura. El concreto se coló en capas de 15 cm (6 pulg) de espesor a intervalos de una hora y cada capa fue vibrada para simular la condición de campo, excepto que algunas capas fueron re-vibradas.

Se utilizó cemento tipo IV en 4 bloques de ensaye, cemento tipo I en un bloque y diferentes proporciones de tipo IV y tipo I en un bloque.

La cimbra de los bloques de ensaye fue levantada con gato unos 10 a 15 cm (4 pulg a 6 pulg) a la vez, observando la superficie del concreto cada vez. En cada ocasión se determinó la altura exacta levantada.

Al final se deshechó el uso de aditivos retardantes. El control del fraguado se realizó mediante control del tipo de cemento y la temperatura del concreto.

## RESULTADOS DE ENSAYE.

Abajo, en la tabla 4 se da un resumen de los resultados de los ensayos de cilindros.

TABLA 4

## RESULTADOS DE ENSAYES DE CILINDROS

Cimentación - 210 kg de cemento tipo IV por metro cúbico.

Edad (días)	Resistencia a la Compresión prome- dio. (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variación. (%)
7	120	14.9	12.7
28	242	27.1	11.2
90	342	31.7	9.3

Superestructura - 372 kg de combinaciones diferentes de cemento tipo I y tipo IV por metro cúbico.

7	360	30.4	8.3
28	486	29.7	6.1

Además fueron extraídos núcleos de la superestructura a edades arriba de 28 días, dando resistencias de 420 a 560 kg/cm<sup>2</sup> (6,000 a 8,100 lb/pulg<sup>2</sup>).

La correlación entre los ensayos acelerados y los cilindros estándar fue satisfactoria, todos los factores de correlación resultaron en el rango de 0.65 a 0.87. La desviación estándar estuvo en el rango de 18 a 50 kg/cm<sup>2</sup> (250 a 490 lb/pulg<sup>2</sup>).

## CONCLUSIONES.

Mediante el uso de cemento tipo IV y mezclas de cemento tipo IV y tipo I, se minimizaron los problemas de calor en el concreto, se lograron altas resistencias en el lugar y se lograron avances de 7.3 m (24 pies) por día en la cimbra deslizante.

El colado de concreto con cimbra deslizante se realizó exitosamente.

en condiciones atmosféricas extremas de julio de 1973 a febrero de 1974.

Se llevó un alto grado de control. Esto dio por resultado un concreto de gran uniformidad, con resistencias arriba de la especificada y con relativa economía.

Los ensayos acelerados proporcionaron los datos de la calidad para todos los concretos, después de 48 horas de mezclados. Esto probó ser importantísimo para confirmar la resistencia y uniformidad del concreto, y para el valor psicológico que representaba para todos los involucrados.

Traducción: Francisco Garza Tamez.  
Revisión de traducción: Oscar González Garza.