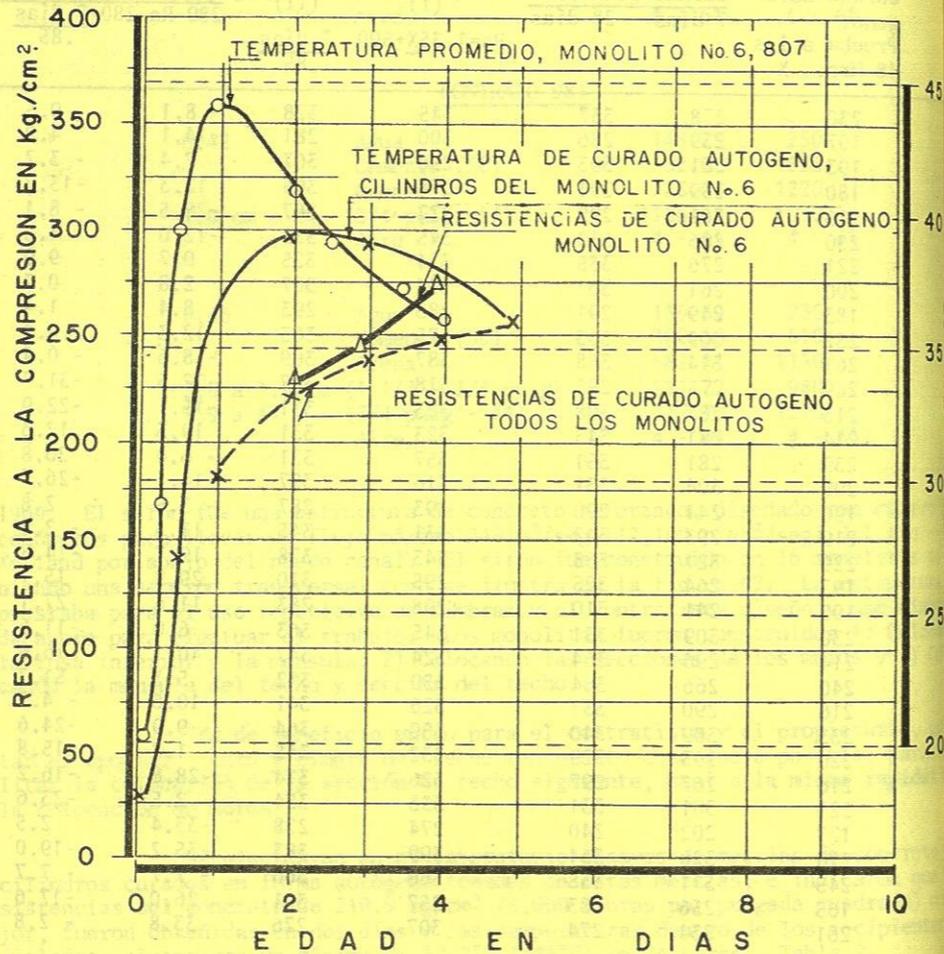


el lugar fueron generalmente mayores que las temperaturas del curado de los cilindros en forma autógena, como se ilustra en la figura 5. Se razonó por lo tanto que las resistencias de los cilindros curados en forma autógena en 2, 3, 4 y 5 días proveerían un cálculo conservador de las resistencias en el lugar.



CONTRATO 807
 FIG. 5.-COMPARACION DE TEMPERATURAS EN CILINDROS DE CURADO AUTOGENO Y MONOLITO No. 6

Sobre esta base se tomaron decisiones relativas al descimbrado y retiro del apuntalamiento. Se quitaron cimbras y puntales de apoyo de las secciones del techo de 2 1/2 a 3 días después de la colocación del concreto plástico. Esto dio como resultado un ahorro de 4 a 4 1/2 días y facilitó la colocación de las secciones del techo para mantener el mismo ritmo con el vaciado de los muros.

IV.- ESTRUCTURA DEL TUNEL TOWNLIN.

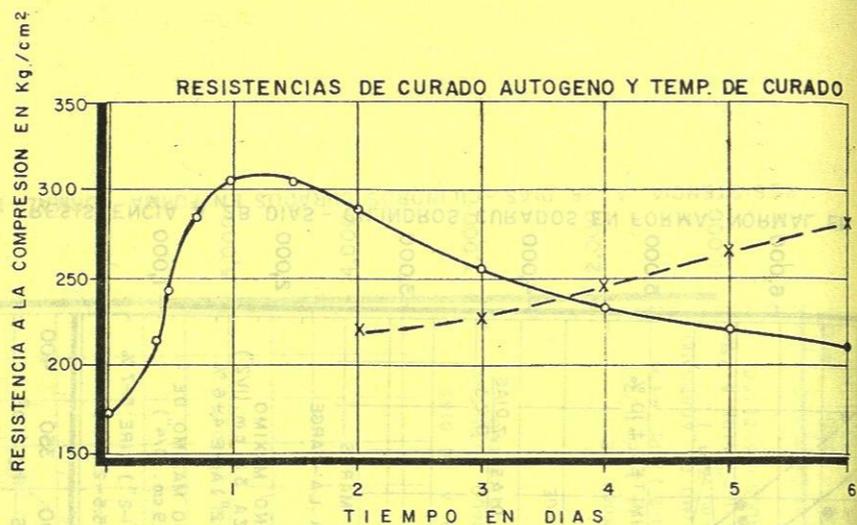
La estructura del túnel fue construida durante el verano de 1970 y 1971 siendo colocados 29 de los monolitos del túnel en el período comprendido del 7 de agosto al 5 de diciembre de 1970. Las secciones del techo y muros del túnel fueron a base de concreto presforzado y, de acuerdo a las especificaciones, este trabajo no podía hacerse hasta que el concreto hubiera alcanzado una resistencia a la compresión de 281.3 kg/cm² (4,000 lb/pulg²), basada en los cilindros con curado normal. Se creyó que una predicción de resistencias en la estructura, basada en una relación de temperaturas de curado en la estructura y en cilindros curados en forma autógena sería más realista. Se decidió también que ya que las resistencias con curado autógeno y las temperaturas de curado estaban disponibles, debería investigarse la posibilidad de usar la fórmula de madurez Nurse Saul para predecir la resistencia de los cilindros curados en los gabinetes aislados. Tablas 3, 4, 5, 6 y 7; Figuras 6 y 7.

Las mezclas de concreto propuestas para usarse en el trabajo y como fueron detallados en la tabla 1, fueron investigadas en el laboratorio de concreto de The St Lawrence Seaway Authority en marzo y abril de 1970. La relación de temperaturas de curado autógeno y las resistencias para mezclas usadas en las secciones del techo y muros del túnel está ilustrado en la figura 8.

La relación de temperaturas de curado para dos losas de techo y las temperaturas y resistencias reales de los cilindros curados en forma autógena tomadas durante la construcción están ilustradas en las figuras 9 y 10. La resistencia de los cilindros curados en forma autógena por lo general excedía a 210.9 kg/cm² (3,000 lb/pulg²) en tres días y la temperatura de curado promedio de las losas de techo era igual o más alta que las temperaturas registradas en los recipientes de los cilindros. Se supuso por consiguiente que la resistencia del concreto en el lugar sería por lo menos igual a la resistencia de los cilindros curados en forma autógena.

La compañía consultora H. G. Acress y Co. Ltd., permitió tensionar los cables de la sección del techo y muro a 25% del esfuerzo total después que las resistencias del concreto alcanzaron 210.9 kg/cm² (3,000 lb/pulg²). Con base en las temperaturas y resistencias medidas, se dijo al contratista aplicar el esfuerzo inicial después de 3 1/2 a 4 días y quitar su encofrado. Esto permitió reusar las cimbras una vez cada semana dando como resultado un ahorro de tiempo muy significativo al ejecutar el trabajo. En este contrato, fueron colocados 29 monolitos en 120 días, del 7 de agosto al 5 de diciembre usando 2 juegos de cimbras. El estricto apego a los criterios de resistencia requerida descritos en las especificaciones del contrato hubieran permitido colocar solamente 20 monolitos en 120 días. La utilización de predecir resistencias a edades tempranas dieron como resultado un ahorro en tiempo de 40 a 45 días aproximadamente.

La predicción de las resistencias de los cilindros curados en forma autógena usando la fórmula de madurez Nurse Saul era generalmente conservadora. --



CONTRATO 981 - 1.9 cm. (3/4"), 5000 V
A/C = 0.42 (MEZCLA DE LA LOSA DE TECHO)

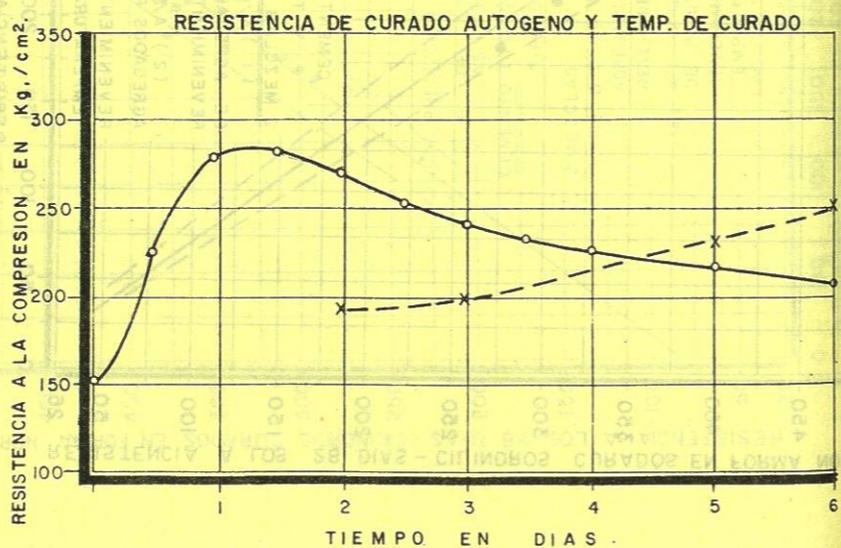


FIG. 8.- CONTRATO 981 - 3.8 cm. (1-11/2"), 5000 V
A/C = 0.46 (MEZCLA DE MUROS)

TABLA 3

COMPARACION DE RESISTENCIAS A LOS 28 DIAS-CONTRATO 981-LOSAS DEL TUNEL.

- (i) Predicho por cilindros de curado autógeno a las 48 Hrs.
 - (ii) Predicho por cilindros de curado standard a los 7 días.
- Relación A/C = 0.46 - Cemento tipo 50 - Agregado de 3.8 cm (1 1/2 pulg)

Prueba No.	Cilindros de curado autógeno. Prueba a las 48 Hrs. X	Cilindros de curado standard		Ra = 1.35x+1200	7D .73	Variancia	
		7 días	28 días			28D-Ra	28D-.73
1	184	259	336	333	354	2.5	-18.6
2	192	271	325	343	371	-18.6	-46.8
3	224	251	372	387	344	-15.1	-27.8
4	198	283	371	352	388	19.0	17.6
5	195	249	350	348	340	1.8	9.5
6	152	189	380	290	259	-10.2	1.1
7	190	266	373	341	364	32.4	9.1
8	169	212	315	312	290	2.5	25.0
9	186	249	351	335	340	15.8	10.2
10	164	219	303	306	299	-2.5	4.6
11	179	254	341	324	338	16.5	2.5
12	212	285	412	370	390	42.2	22.5

COMPARACION DE RESISTENCIAS A LOS 28 DIAS-CONTRATO 981-MUROS DEL TUNEL.

- (i) Predicho por cilindros de curado autógeno a las 48 Hrs.
 - (ii) Predicho por cilindros de curado standard a los 7 días.
- Relación A/C = 0.42 - cemento tipo 50 - Agregado de 1.9 cm (3/4 pulg)

1	211	259	342	370	354	-27.8	-12.3
2	234	316	402	399	433	2.5	-31.3
3	210	250	351	369	342	-17.9	8.1
4	203	259	368	359	354	9.1	13.4
5	203	241	379	357	331	22.2	48.9
6	239	281	410	406	385	4.6	25.7
7	218	264	405	378	361	27.8	44.0
8	249	373	458	419	512	38.7	-54.2
9	261	276	425	436	378	-10.6	47.1
10	201	256	386	357	352	29.2	34.1
11	184	256	384	332	352	51.7	32.0
12	237	296	404	404	405	0.4	-1.1
13	244	293	415	413	402	2.5	-13.7
14	230	278	381	395	381	-13.7	-0.4
15	265	323	402	442	444	-40.1	-42.2
16	211	281	378	369	385	9.1	-7.0
17	203	261	331	359	357	-27.8	-26.3
18	205	246	328	360	337	-31.7	-8.4
19	274	321	455	453	440	2.1	15.5
20	240	249	352	408	340	-55.9	11.6
21	222	264	373	383	385	-9.5	-11.6
22	249	281	385	419	385	-34.5	-0.7
23	189	264	338	340	361	-1.4	-23.2

NOTA: Todos los resultados de las pruebas a las 48 horas y los 28 días son el promedio de dos cilindros. Los resultados de las pruebas de 7 días representan la resistencia de un solo cilindro.

TABLA 4
PREDICCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

Contrato: 981
Localización: Techo D-2
Mezcla: 981-5000 - 3/4V, 0.42 Norma 585
Fecha: Sept. 1, 1970, 0900 Hs.

Se supone no se adquiere resistencia en 0-12 horas
Cálculos basados en la temperatura de la parte superior de la losa de techo.

Fecha	Tiempo transcurrido (horas)	Temp. en la Estructura (°C)	C ₁ Promedio (°F)	Temp. (°C)	t ₁ Intervalo de tiempo (días)	$\frac{(C_1 + 10)}{(C_2 + 10)}$	t ₁ = t ₂	Tiempo de curado equivalente, t ₂	Resistencia predicha
Sept. 1	0	-	-	-	1/2	-	-	-	-
	12	43.3		43.3	1/2	53.3/52.8x1/2	0.81	0.81	63.29
2	24	43.3		45.0	1/4	55/52.8x1/4	0.42	1.23	
	30	46.7		44.2	3/4	54.2/52.8x3/4	1.24	2.47	182.84
3	48	41.7		39.7	1/2	49.7/52.8x1/2	0.76	3.23	
	60	37.8		37.0	1/2	47/52.8x1/2	0.72	3.95	221.52
4	72	36.1		33.3	4	43.3/52.8x4	5.28	9.23	296.06
8	168	30.6		29.5	3	39.5/52.8 x 3	3.61	12.84	318.57
11	240	28.3							

TABLA 5
PREDICCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

Contrato: 981
Localización: Techo D-2
Mezcla 981 - 3/4 - 5000 V, Relación A/C = 0.42
Fecha: Sept. 1, 1970, 1545 H.

Se supone no se adquiere resistencia en 0-12 horas.
Cálculos basados en la temperatura en las cajas de curado autógeno.

Fecha	Tiempo transcurrido (horas)	Temp. en la Estructura (°C)	C ₁ Promedio (°F)	Temp. (°C)	t ₁ Intervalo de tiempo (días)	$\frac{(C_1 + 10)}{(C_2 + 10)}$	t ₁ = t ₂	Tiempo de curado equivalente, t ₂	Resistencia predicha
Sept. 1	0	16.7	-	-	1/2	-	-	-	-
	12	33.3		38.3	1/2	48.3/52.8 x.5	0.74	0.74	35.16
2	24	43.3		42.2	1/2	52.2/52.8 x .5	0.79	1.53	144.16
	36	41.1		40.0	1/2	50.0/52.8 x .5	0.76	2.29	176.51
3	48	38.9		37.8	1	47.8/52.8 x 1	1.46	3.75	221.52
4	72	36.7		35.6	1	45.6/52.8 x 1	1.39	5.14	248.95
5	96	34.4							

TABLA 6
PREDICCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

Contrato: 981
Localización: Techo C-3
Mezcla: 981-5000-3/4 V A/C = 0.42
Fecha: Agosto 20, 1970, 1100 horas.

Se supone no se adquiere resistencia de 0 - 12 horas.
Cálculos basados en temperaturas localizadas 10 cm (4 pulg) abajo de la parte superior de la losa de techo C-3.

Fecha	Tiempo transcurrido (horas)	Temp. en la Estructura (°C)	C ₁ Promedio (°F)	Temp. (°C)	t ₁ Intervalo de tiempo (días)	$\frac{(C_1 + 10)}{(C_2 + 10)}$	t ₁ = t ₂	Tiempo de curado equivalente, t ₂	Resistencia predicha
Agosto 20	0	-	-	-	1/2	-	-	-	-
	12	33.3							
	24	36.1		34.7	1/2	44.7/52.8 x .5	0.68	0.7	42.13 (1)
	36	37.8		37.0	1/2	47.0/52.8 x .5	0.72	1.4	126.58
	48	35.6		36.7	1/2	46.7/52.8 x .5	0.71	2.1	172.29 (2)
	60	35.0		35.3	1/2	45.3/52.8 x .5	0.69	2.8	195.39
	72	32.8		33.9	1/2	43.9/52.8 x .5	0.67	3.5	218.00 (3)
	84			32.0	1	42.0/52.8 x 1	1.28	4.8	242.62 (4)

TABLA 7
PREDICCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

Contrato: 981
Localización: Cilindros de curado autógeno, Losa de techo C-3
Mezcla: 5000 - 3/4 V A/C = 0.42
Fecha: Agosto 20, 1970, 1100 Horas.

Se supone no se adquiere resistencia de 0 - 12 horas.
Cálculos basados en temperaturas localizadas en el interior de los recipientes.

Fecha	Tiempo transcurrido (horas)	Temp. en la Estructura (°C)	C ₁ Promedio (°F)	Temp. (°C)	t ₁ Intervalo de tiempo (días)	$\frac{(C_1 + 10)}{(C_2 + 10)}$	t ₁ = t ₂	Tiempo de curado equivalente, t ₂	Resistencia predicha
Agosto 20	0	23.3		-	-	-	-	-	-
	12	33.3							
	24	37.8		35.6	1/2	45.6/52.8 x .5	0.70	0.70	49.25
	36	38.9		38.3	1/2	48.3/52.8 x .5	0.73	1.4	126.58
	48	34.4		36.1	1/2	46.1/52.8 x .5	0.70	2.1	172.29
	72	31.7		33.1	1	43.1/52.8 x 1	1.31	3.4	210.97
	96	28.9		30.3	1	40.3/52.8 x 1	1.23	4.6	242.62
	144	26.7		27.8	2	37.8/52.8 x 2	2.31	7.0	277.78

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

Las predicciones de resistencia usando esta fórmula pudieron probablemente haber sido perfeccionadas y hechas más precisas cambiando la fórmula para adaptarla a la curva de resistencia del concreto; sin embargo, esto no se intentó durante el curso de este contrato. Las resistencias predichas de los cilindros curados autógenuamente usando sin ninguna modificación la relación de madurez Nurse Saul, están ilustradas en las figuras 9 y 10.

La resistencia obtenida a diversas edades con cilindros curados en forma normal se muestran en la Fig. 10.

V.- RESUMEN Y CONCLUSIONES.

El ensaye de curado autógeno, como se describe en C.S.A. Standard A 23.2, A 23.2.26, Cláusula 2.2, es un medio útil de predecir las resistencias del concreto a los 28 días. La prueba se presta muy bien para proyectos donde el laboratorio principal de pruebas está ubicado en el centro, y un gran número de estructuras relativamente pequeñas, se localizan a distancias que pueden cubrirse en pocas horas. Los cilindros pueden ser convenientemente almacenados o guardados en el lugar en sus recipientes aislados a temperaturas de 15.5°C (60°F) a 26.7°C (80°F) para las primeras 12 a 16 horas, y luego transportados al laboratorio central para la prueba a las 48 horas.

La secuencia de temperatura y resistencia a la compresión de los cilindros curados autógenamente, puede usarse para calcular la primera resistencia del concreto en la estructura cuando los registros de temperatura de ambos están disponibles, y no se aplican al concreto en el lugar fuentes de calor externo para elevar las temperaturas del curado.

La fórmula de madurez Nurse Saul provee un cálculo conservador de la resistencia del concreto en las primeras edades (hasta 4 días) para el concreto que alcanza temperaturas máximas de 37.8°C (100°F) a 43.3°C (110°F) en un lapso de 24 a 30 horas.

La inclusión de cláusulas apropiadas en el contrato sobre temperaturas de concreto, a las cuales se hiciera posible el descimbrado de vigas, losas y apuntalamientos proporciona al contratista un poderoso incentivo para mantener temperaturas de curado adecuadas.

Se cree que la estimación de la resistencia en el lugar de losas de concreto o sección de viga, donde son aplicadas fuentes de calor externo para ayudar al curado, sería potencialmente peligroso usando el registro de temperatura y resistencia de cilindros curados autógenamente, o la función de madurez Nurse Saul, a menos que se asegurara que se añadió la cantidad adecuada de cemento a cada revoltura de concreto colocado en la estructura. En otras palabras, uno debe estar seguro que la elevación de temperatura en el concreto es producido por el calor resultante de la hidratación del cemento y no proveniente de fuentes externas.

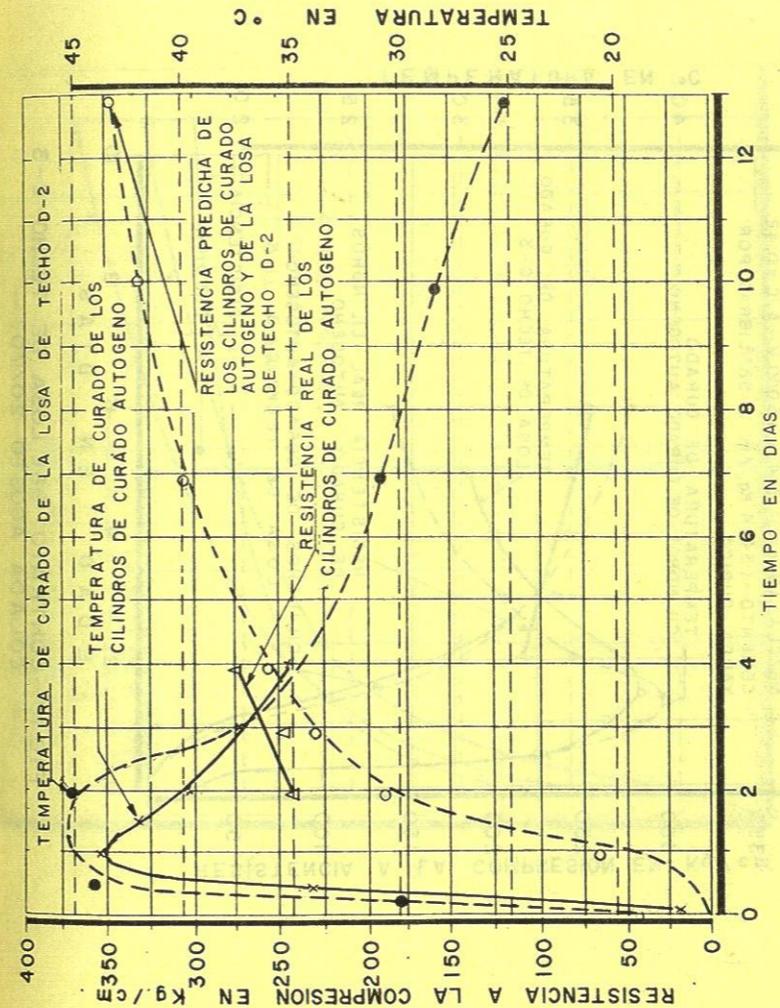


FIG. 9.- CONTRATO 981 - LOSA DE TECHO D-2 COLADA SEPT. 1-70
MEZCLA-1.9 c.m. (3/4") - 5000 V - A/C. = 0.42
CEMENTO = 347.4 Kg./m³. (585 LIBRAS/YARDA CÚBICA)

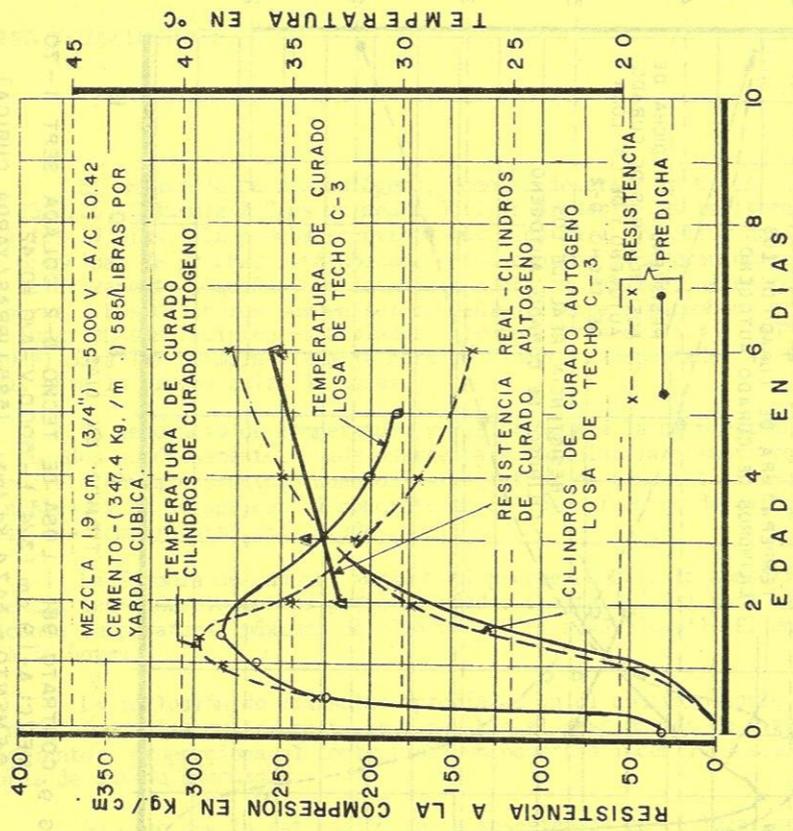


FIG. 10.-CONTRATO 981 LOSA DE TECHO C-3 COLADA AGOSTO 20/70.

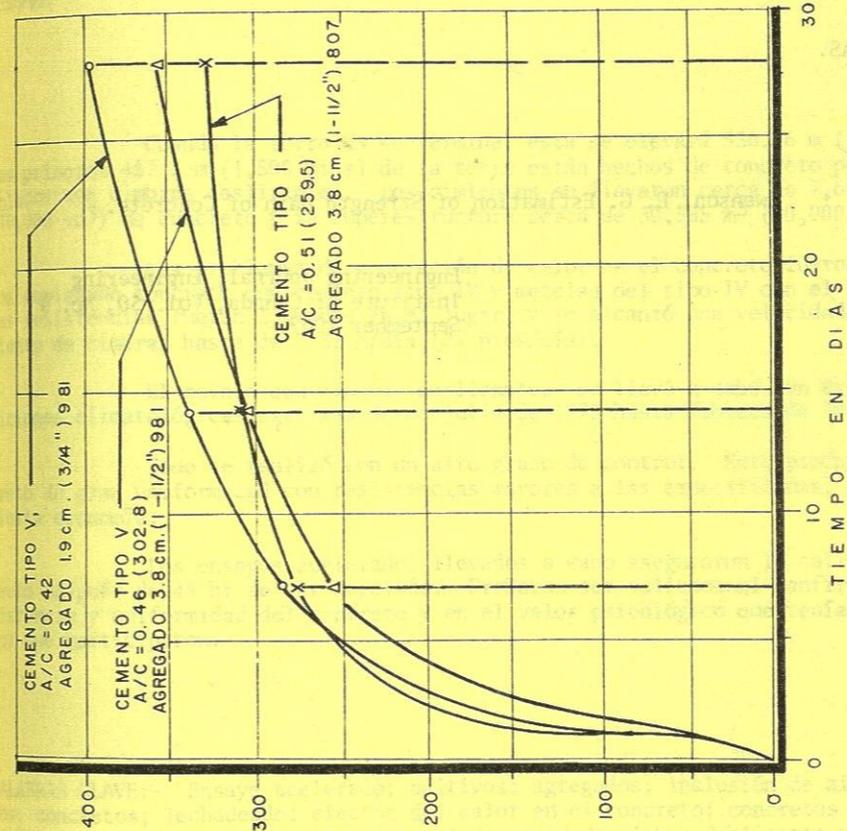


FIG. 11.- CONTRATO 981 Y 807 CURVAS DE RESISTENCIA PROMEDIO - CILINDROS DE CURADO NORMAL

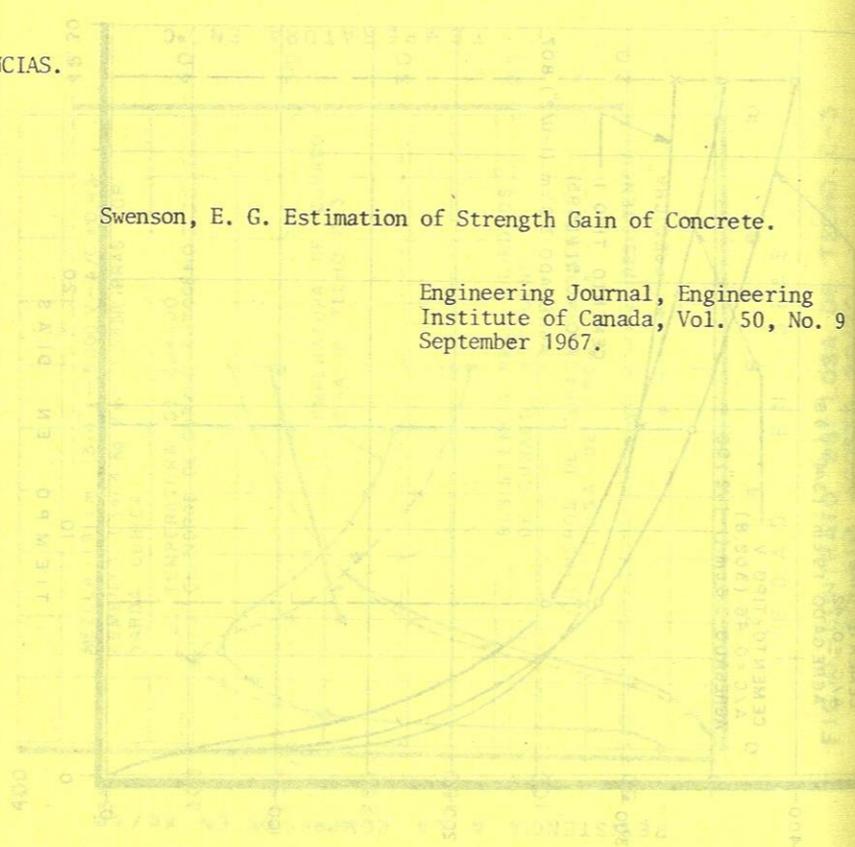
RECONOCIMIENTO.

El autor agradece a The St. Lawrence Seaway Authority el haber permitido la publicación de este escrito. Igualmente agradece la colaboración otorgada por Mr. R. A. Franks, Ingeniero en Concreto, y al grupo de personas responsable del control del concreto durante la construcción de The Welland Channel By - Pass.

REFERENCIAS.

Swenson, E. G. Estimation of Strength Gain of Concrete.

Engineering Journal, Engineering Institute of Canada, Vol. 50, No. 9 September 1967.



Traducción: Ramiro Luna Salinas
Revisión de traducción: Oscar González Garza

CONSTRUCCION Y CONTROL DE CALIDAD DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA PARA LA TORRE CN.

John A. Bickley*

RESUMEN

Cuando la torre CN se termine, ésta se elevará 550.16 m (1,805 pies). Los primeros 457.2 m (1,500 pies) de la torre están hechos de concreto post-tensado colados con cimbras deslizantes. Los cimientos se llevaron cerca de 7,645 m³ (10,000 yd³) de concreto y la superestructura cerca de 30,585 m³ (40,000 yd³).

Los problemas de generación de calor en el concreto fueron minimizados empleando concreto con cemento tipo IV y mezclas del tipo IV con el tipo I, altas resistencias fueron logradas en el lugar, y se alcanzó una velocidad de deslizamiento de cimbras hasta de 7.32 m/día (24 pies/día).

El colado con cimbras deslizantes se llevó a cabo con éxito en condiciones climatológicas extremas desde julio de 1973 hasta febrero de 1974.

Todo se realizó con un alto grado de control. Esto produjo un concreto de gran uniformidad con resistencias mayores a las especificadas, pero con cierta economía.

Los ensayos acelerados llevados a cabo aseguraron la calidad de concreto después de 48 hr de ser mezclado. Probaron ser valiosos al confirmar la resistencia y uniformidad del concreto y en el valor psicológico que tenía para todos los que participaron.

PALABRAS CLAVE:- Ensaye acelerado; aditivos; agregados; inclusión de aire; cementos; concretos; lechadeado; efectos del calor en el concreto; concretos de alta resistencia; ensaye de materiales; control de calidad; cimbra deslizante y análisis estadístico.

* Vice-Presidente y Gerente General de la Cía. "Servicios de Ensaye para la Construcción", Toronto, Ontario, Canadá.