

SECCIONES DE CONCRETO MASIVO  
Y CONCEPTO DE MADUREZ.

E. G. Nisbet\*

RESUMEN

La resistencia a los 28 días de cilindros de concreto curados en -- condiciones estándar, actualmente puede predecirse frecuentemente después de un período de 48 horas por:

- a) El ensaye modificado de hervido de cilindros.
- b) El ensaye de curado autógeno.

La disponibilidad de los indicadores de la resistencia a las 48 hr. para el concreto pueden ser usadas con gran ventaja, si es que estos pueden ser relacionados de alguna manera con el concreto colado en el lugar. Las decisiones en la obra, pueden luego hacerse con un grado razonable de seguridad y confianza con respecto al retiro de la cimbra y del apuntalamiento, y a la aplicación de fuerzas de post-tensión.

Para confirmarlo se hizo una estimación de la resistencia del concreto en el lugar en estructuras adyacentes al desvío del canal Welland. La variación de la temperatura de los elementos estructurales fue transmitida con un potenciómetro automático registrador de 16 puntos. Las curvas de tiempo contra temperatura de los elementos estructurales fueron comparadas con las de los cilindros de concreto de 15 x 30 cm curados en forma autógena durante 48 hr. y se obtuvo una estimación de la resistencia del concreto en el lugar.

Durante la construcción de la estructura del sifón del río Welland y la estructura del túnel Townline asociadas con el desvío del canal Welland, el procedimiento descrito en el párrafo anterior fue utilizado para llegar a decisiones relativas al descimbrado y remoción temprana, lográndose un mejoramiento considerable en los programas de construcción.

\* Vice-Presidente del Comité de la Norma A 23.1 relativa a los Materiales para la fabricación de Concreto y Métodos de Construcción de la Asociación Canadiense de Normas.

## 1.- INTRODUCCION.

## A.- El proyecto.

La vía fluvial del San Lorenzo es un canal de 3,840 km (2,400 millas) propio para la navegación de barcos y embarcaciones de tipo doméstico, para el transporte de carga entre las puertas de los Grandes Lagos. El canal de Welland es un componente importante de este sistema y con sus compuertas y canales de enlace, permite a los barcos superar los 100 m (326 pies) de desnivel entre los lagos Ontario y Erie. Anterior a 1973, esa sección del canal de Welland, entre el Puerto de Robinson y el Puerto Calborne, seguía una ruta tortuosa a través de la Ciudad de Welland. La navegación de embarcaciones a través de esa sección del canal estaba llegando a ser extremadamente peligrosa, debido al uso cada vez mayor de embarcaciones de gran tamaño, a lo angosto y sinuoso del canal y a la presencia de seis puentes que limitaban la anchura del canal y restringían el libre movimiento de embarcaciones.

El canal de Welland había experimentado volúmenes de carga siempre en aumento y un incremento muy grande en el uso de embarcaciones de 23 mt (75 pies de ancho en la manga y 230 m (750 pies) de longitud. Esta continua tendencia de tonelaje anual más elevado, aunado a la necesidad de reemplazar las estructuras existentes, que impedían seriamente la navegación, hicieron necesario considerar un nuevo alineamiento para la parte sur del canal. El 19 de mayo de 1966, se tomó la decisión de comisionar a la autoridad para proseguir con la planeación y construcción de la derivación del canal de Welland, de conformidad con el alineamiento (Fig. No. 1) recomendado en el estudio de la posibilidad de ejecución.

Al diseñar el alineamiento y configuración del nuevo canal, se consideraron tres criterios.

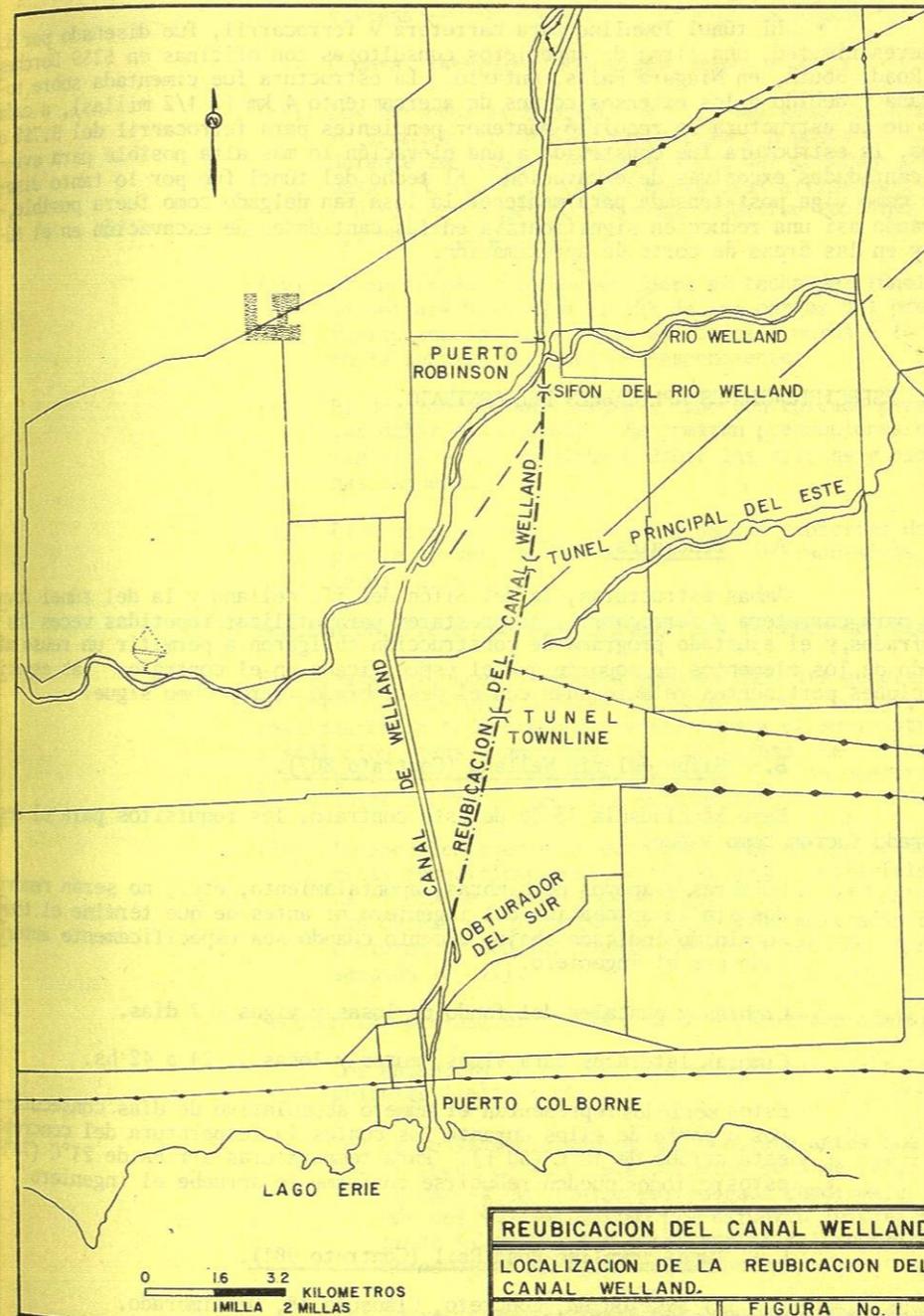
- 1.- El alineamiento se conservó tan recto como fue posible en tanto se evitaron las áreas edificadas en los límites del este de la ciudad de Welland.
- 2.- Fue diseñado para acomodar o dar cabida a la posible futura operación de barcos de 304 m (1,000 pies) de largo por 30.4 m (100 pies) de ancho con una profundidad límite de 9.9 m (30 pies)
- 3 Fue diseñado y construido para evitar conflicto con el tráfico vial y del ferrocarril.

## B.- Las Estructuras.

Carreteras, cruces de ferrocarril y el río Welland fueron conducidos por abajo del nuevo cauce por medio de estructuras que fueron construidas en seco, mientras el nuevo cauce estaba siendo excavado.

Dos de estas estructuras son el tema de este trabajo. La primera es la del Sifón del río Welland, diseñada para conducir dicho río por abajo del nuevo cauce; la segunda, es la estructura del túnel Townline Road/Rail, la cual fue diseñada para conducir todo el movimiento ferrocarrilero y una carretera de dos carriles por abajo del nuevo cauce. La localización de estas dos estructuras se ilustra en la figura # 1.

La estructura del Sifón del río Welland consistía en una alcantarilla



lla de cajón reforzado, de 4 cañones, de 28.6 m (94 pies) de ancho y de 192 m (630 pies) de largo. La estructura fue cimentada sobre roca sana y contenía aproximadamente 31,000 m<sup>3</sup> (38,500 yardas<sup>3</sup>) de concreto y alrededor de 2,500 toneladas de acero de refuerzo.

El túnel Townline para carretera y ferrocarril, fue diseñado por G. Acres Limited, una firma de ingenieros consultores con oficinas en 5259 Dordrecht Road, South, en Niagara Falls, Ontario. La estructura fue cimentada sobre roca sana y debido a los extensos cortes de acercamiento 4 km (2 1/2 millas), a cada lado de la estructura se requirió mantener pendientes para ferrocarril del 0.75% o menos, la estructura fue construida a una elevación lo más alta posible para evitar cantidades excesivas de excavación. El techo del túnel fue por lo tanto diseñado como viga post-tensada para mantener la losa tan delgada como fuera posible logrando así una reducción significativa en las cantidades de excavación en el túnel y en las áreas de corte de aproximación.

## II.- ESPECIFICACIONES APLICABLES DEL CONTRATO.

### A.- Generales.

Ambas estructuras, la del Sifón del río Welland y la del túnel Townline para carretera y ferrocarril, se prestaron para utilizar repetidas veces los encofrados, y el ajustado programa de construcción obligaron a permitir un reuso rápido de los elementos de soporte que el especificado en el contrato. Las especificaciones pertinentes relacionadas con el descimbrado fueron como sigue:

### B.- Sifón del río Welland (Contrato 807).

Bajo la cláusula 13.26 de este contrato, los requisitos para el descimbrado fueron como sigue:

"Cimbras y apoyos de cimbras, apuntalamiento, etc., no serán retirados sin la aprobación del ingeniero ni antes de que termine el tiempo mínimo indicado abajo, excepto cuando sea específicamente autorizado por el ingeniero.

Cimbras y puntales del fondo de losas y vigas - 7 días.

Cimbras laterales para vigas, muros y losas... 24 a 42 hs.

Estos períodos representan el número acumulativo de días consecutivos o parte de ellos durante los cuales la temperatura del concreto está arriba de 10°C (50°F). Para temperaturas arriba de 21°C (70°F) estos períodos pueden reducirse conforme lo apruebe el ingeniero.

### C.- Túnel Townline Road/Rail (Contrato 981).

a) Sección DA, Concreto, Cláusula 18, Descimbrado.

(ii) Cimbras y apoyos de cimbras, apuntalamiento, etc., serán retirados sin la aprobación del ingeniero ni

tes de que termine el tiempo mínimo indicado abajo, - excepto cuando sea autorizado específicamente por el ingeniero o incluso requerido de otra manera.

Cimbras y soportes de la superficie inferior de losas y vigas-----7 días

Cimbras laterales para vigas, muros y losas-- 48 hr.

(iii) Los períodos mencionados arriba, representan el número acumulativo de días consecutivos o parte de ellos, durante los cuales la temperatura del concreto sobrepasa 10°C (50°F). Para temperaturas arriba de 21°C (70°F), estos períodos pueden reducirse conforme lo apruebe el ingeniero.

(iv) El encofrado del concreto para el techo del túnel no se quitará hasta que el 50% de las cargas del pre-esfuerzo inicial hayan sido aplicados a muros y techo en la sección de túnel correspondiente.

(v) El descimbrado se llevará a cabo con cuidado para evitar dañar el concreto. Se tomarán precauciones especiales para no astillar o dañar las aristas y esquinas expuestas.

(vi) El encofrado para el concreto de las cubiertas del puente se retirará de acuerdo con los requisitos indicados en los planos.

b) Sección DB, Pre-esforzado, Cláusula 01- Alcance del trabajo.

El trabajo por hacer bajo esta sección consiste generalmente del abastecimiento de trabajo, materiales y equipo, y la realización de todo trabajo necesario para el suministro, - instalación, tensionado, anclaje y lechadeado de cables de pre-esfuerzo en la estructura del túnel como se muestra en los dibujos o como lo requiera el ingeniero.

(iv) Independientemente de cualquier otra estipulación de estas especificaciones, el encofrado u obra falsa para el concreto pre-esforzado no se retirará hasta que las cargas de pre-esfuerzo hayan sido aplicadas de conformidad con los requisitos de la Sección DA subsección 18 (iv).

c) Sección DB, pre-esfuerzo, Cláusula 05- Esfuerzos admisibles.

(ii) Los esfuerzos en el concreto estarán sujetos a las siguientes limitaciones:

(a) La resistencia mínima del concreto antes de que se aplique cualquier pre-esfuerzo será de 281.3 kg/cm<sup>2</sup> (4,000 libras por pulgada cuadrada). No más del 50% del máximo pre-esfuerzo inicial por cable se aplicará a resistencias del concreto menores de 351.6 kg/cm<sup>2</sup> (5000 psi);

(b) La resistencia mínima del concreto antes de que el pre-esfuerzo se complete será de 351.6 kg/cm<sup>2</sup> (5,000 psi). La resistencia del concreto será de

terminada por las pruebas de los cilindros de concreto de acuerdo con CSA-A23.2

d) Sección DB, Pre-esfuerzo, Cláusula 09- Esfuerzo.

- (v) El tensionado se llevará a cabo en secuencia mostrada en los planos.
- (vi) El tensionado no comenzará hasta que las pruebas en cilindros de concreto, elaborados, curados y probados como está especificado en CSA-A23.2, indiquen a satisfacción del ingeniero que el concreto ha alcanzado suficiente resistencia a la compresión, para resistir sin peligro los esfuerzos de compresión producidos.

D.- Resumen de especificaciones.

Ambos contratos requirieron que los soportes y cimbras para losas al fondo de las vigas permanecieran en su sitio por lo menos 7 días cuando la temperatura del concreto fuera superior a 10°C (50°F). Cuando las temperaturas del concreto permanecían arriba de 21°C (70°F), el período mínimo de 7 días podía reducirse con la aprobación del ingeniero.

Las especificaciones del Townline Tunnel requerían que la resistencia mínima del concreto fuera de 281.3 kg/cm<sup>2</sup> (4,000 libras por pulgada cuadrada) antes de que se aplicara cualquier presfuerzo. La especificación también estipula que el tensado no podía comenzar hasta que las pruebas en los cilindros de concreto elaborados, curados y probados según se especificaba en: CSA A 23.2 indicaran que el concreto había alcanzado suficiente resistencia a la compresión para resistir el esfuerzo producido.

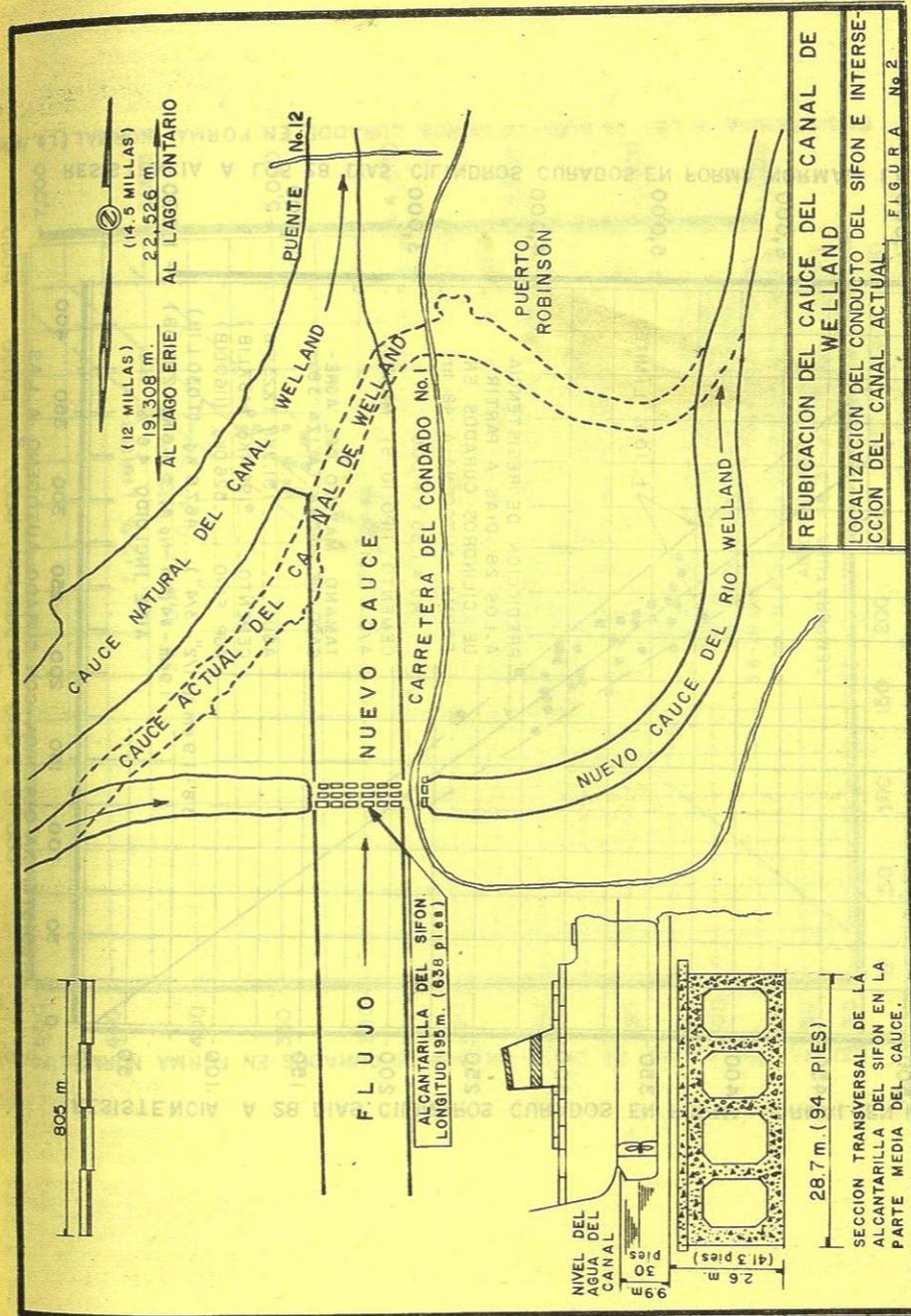
E.- Diseño de la mezcla de concreto.

Ambas estructuras, la de Welland River Syphon y la del Townline Tunnel fueron construidos por C. A. Pitts Construction Ltd, 15 Commercial Road, Toronto Ontario. El concreto para ambas estructuras fue suministrado por la compañía Red-D-Mix Concret e Limited de una planta dosificadora completamente automatizada ubicada en la ciudad de Welland, Ontario.

Las dosificaciones o mezclas de concreto fueron estrechamente vigiladas y controladas durante el curso del trabajo. Las temperaturas se mantuvieron entre 15.5°C (60°F) y 21°C (70°F) durante todo el año, añadiendo hielo a la mezcla en tiempo caluroso o calentando el agua del mezclado según se requería durante tiempo frío. Los revenimientos de las mezclas se mantuvieron entre 2.5 cm (1 pulg) y 6.3 cm (2 1/2 pulg) y se usaron aditivos inclusores de aire, para producir un porcentaje total de aire de 4 a 6 en concreto con tamaño máximo de agregado de 1.9 cm (3/4 pulg), y un porcentaje total de aire de 5 a 7 en concreto con tamaño máximo de agregado de 1.9 cm (3/4 pulg). Las principales mezclas de concreto usadas en el trabajo están detalladas en la Tabla 1

III.- ESTRUCTURA DE WELLAND RIVER SYPHON.

Welland River Syphon fue construido durante el verano y otoño de



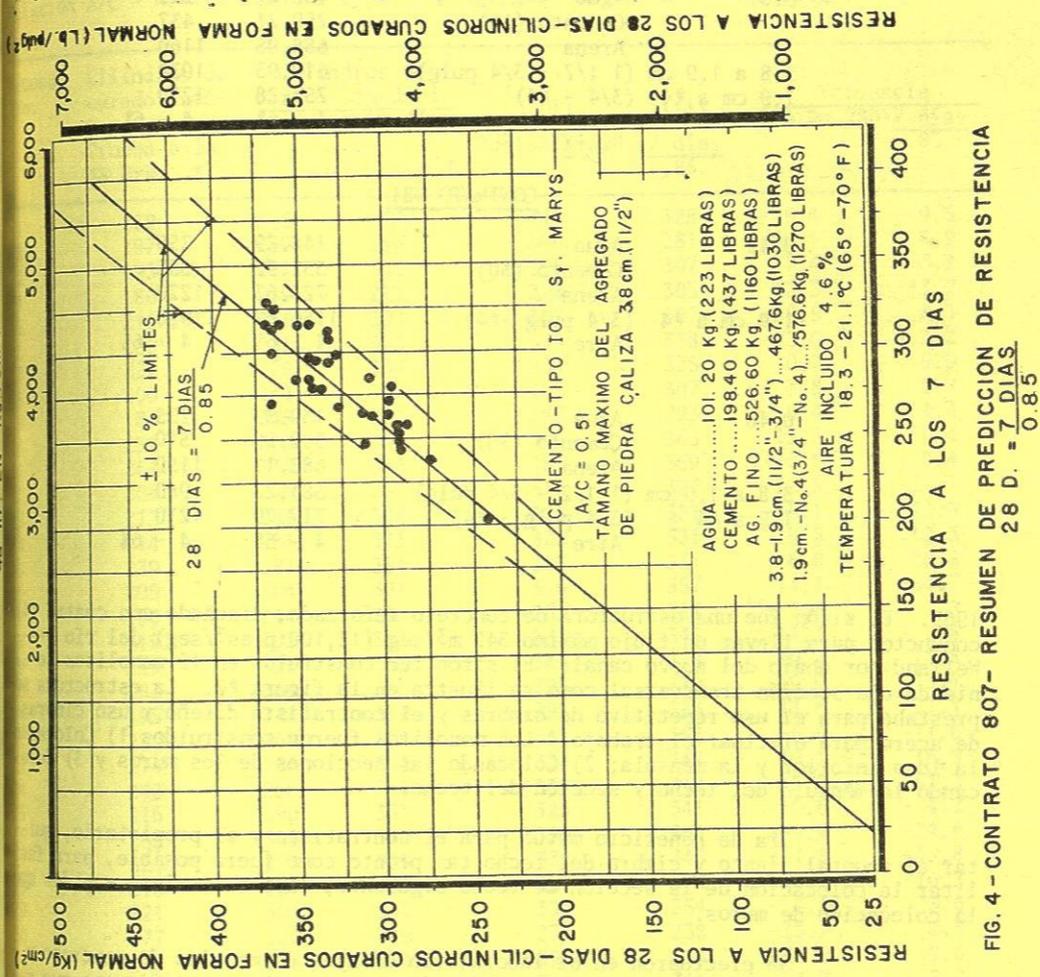
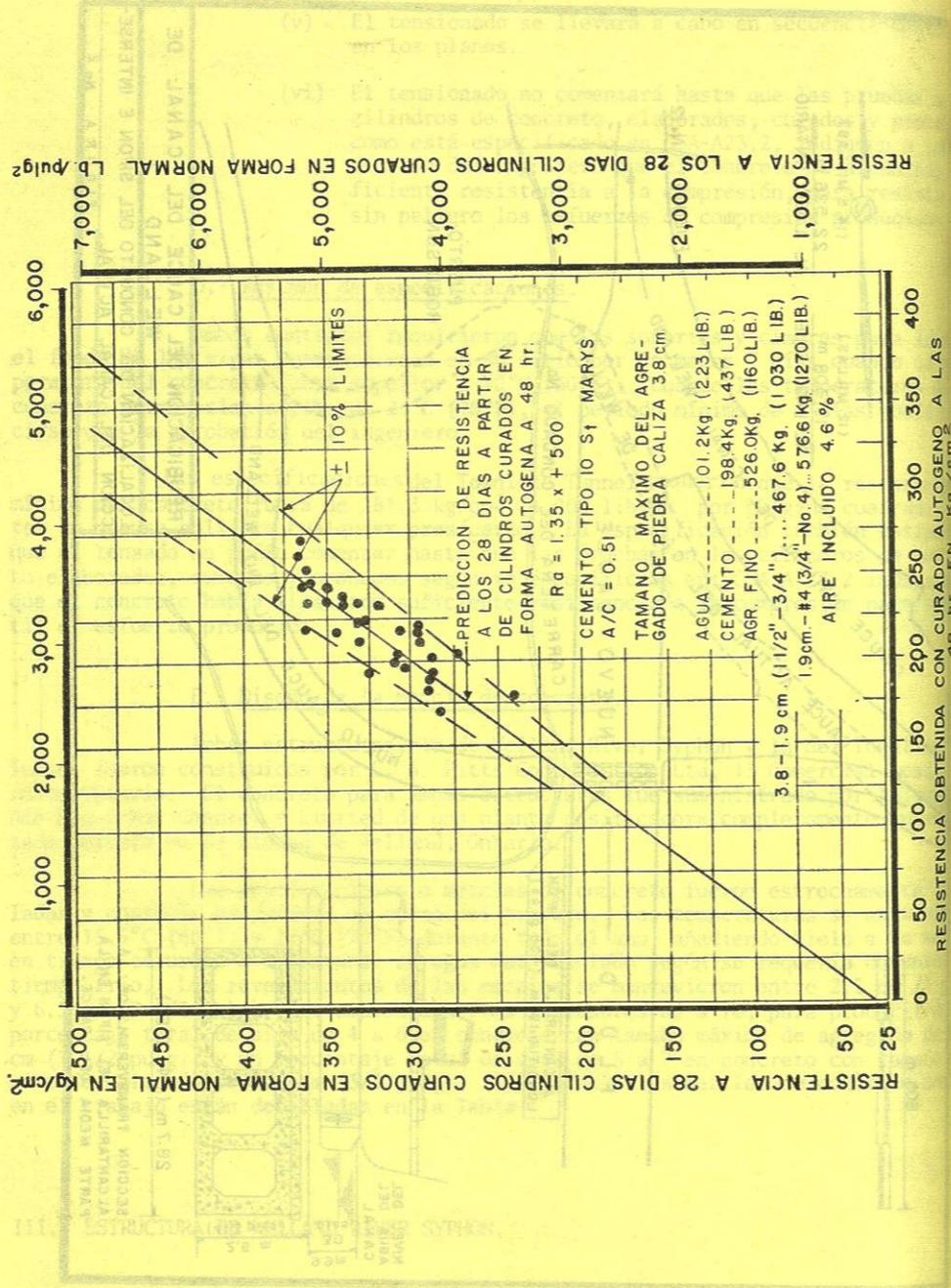


FIG. 4 - CONTRATO 807 - RESUMEN DE PREDICION DE RESISTENCIA A LOS 28 DIAS. 0.85

TABLA 1

PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO - CONTRATOS 807 Y 981

CONTRATO 807

		kg/m <sup>3</sup>	lb/yd <sup>3</sup>
0.51	Agua	132.27	223
	Cemento (10)	259.21	437
	Arena	688.05	1160
3.8 a 1.9 cm	(1 1/2 - 3/4 pulg)	610.93	1030
1.9 cm a #4	(3/4 - #4)	753.28	1270
	Aire	4 - 6%	4 - 6%

CONTRATO 981

		kg/m <sup>3</sup>	lb/yd <sup>3</sup>
0.42	Agua	148.29	250
	Cemento (50)	352.92	595
	Arena	723.63	1220
1.9 cm a #4	(3/4 pulg - #4)	1156.62	1950
	Aire	4 - 6%	4 - 6%
0.46	Agua	139.39	235
	Cemento (50)	302.50	510
	Arena	682.11	1150
3.8 a 1.9 cm	(1 1/2 - 3/4 pulg)	581.27	980
1.9 a #4	(3/4 pulg - #4)	717.70	1210
	Aire	4 - 6%	4 - 6%

1969. El sifón fue una estructura de concreto reforzado, diseñado con cuatro conductos para llevar un flujo máximo 340 m<sup>3</sup>/seg (12,100 pies<sup>3</sup>/seg) del río Welland por abajo del nuevo canal. El sifón fue construido en 16 monolitos teniendo una sección transversal como se ilustra en la figura #2. La estructura prestaba para el uso repetitivo de cimbras y el contratista diseño y usó cimbras de acero para efectuar el trabajo. Los monolitos fueron construidos 1) Colocando la losa inferior y la ménsula; 2) Colocando las secciones de los muros y 3) Colocando la ménsula del techo y sección del techo.

Era de beneficio mutuo para el contratista y el propietario, quitar el apuntalamiento y cimbra del techo tan pronto como fuera posible, para facilitar la colocación de la sección de techo siguiente, casi a la misma rapidez que la colocación de muros.

Se efectuaron en el laboratorio ensayos de mezclas de concreto en cilindros curados en forma autógena tomados de estas mezclas, e indicaron que las resistencias del concreto de 210.9 kg/cm<sup>2</sup> (3,000 libras por pulgada cuadrada) o mejor, fueron obtenidas en dos días y las temperaturas dentro de los recipientes aislados, alcanzaron un máximo de 42.2°C (108°F) en 24 horas. Tabla 2.

Se decidió por consiguiente vigilar las temperaturas del concreto en la estructura y comparando estos valores a las temperaturas del curado autógeno y resistencias equivalentes, para obtener una predicción aproximada de la resistencia en el lugar. Figuras 3 y 4.

Las temperaturas del curado de la losa de techo fueron obtenidas instalando termopares en el concreto y guiando los alambres a una grabadora automática de gráficas en forma de tira. Las temperaturas del curado del concreto

TABLA 2

COMPARACION DE RESISTENCIAS A LOS 28 DIAS - CONTRATO 807

(i) Predicho en base a cilindros de curado autógeno a las 48 hrs.  
 (ii) Predicho en base a cilindros de curado standard a los 7 días.  
 Relación A/c = 0.51 - cemento tipo 10 - 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		(i)	(ii)	Variancia	
		7 días	28 días			280-Ra	280-7 días
				Ra=1.35X+500	7 días		.85
1	230	278	337	345	328	- 8.1	9.5
2	197	239	286	300	281	-14.1	4.9
3	193	261	303	296	307	7.4	- 3.2
4	180	259	291	278	305	12.3	-13.7
5	216	261	299	327	307	-28.5	- 8.1
6	230	286	333	345	338	-12.0	- 4.2
7	221	276	335	334	325	0.7	9.9
8	200	261	307	305	307	2.8	0.7
9	183	249	291	283	293	8.4	1.4
10	252	309	363	375	363	-12.3	- 0.4
11	261	314	368	387	369	-18.6	- 0.4
12	209	278	295	318	327	-22.5	-31.7
13	213	281	308	323	331	-15.1	-22.9
14	214	281	343	323	331	19.3	12.3
15	239	281	351	357	331	- 6.0	20.8
16	209	304	331	316	357	14.1	-26.7
17	190	244	290	293	287	- 3.5	2.8
18	219	293	342	331	345	11.3	- 2.8
19	229	321	363	343	378	19.7	-14.8
20	193	264	325	295	310	29.9	15.1
21	195	241	310	298	283	11.6	27.1
22	230	309	351	345	363	6.0	-11.6
23	214	296	364	324	347	40.1	16.9
24	240	266	364	359	312	5.3	51.7
25	216	290	337	326	341	10.6	- 4.2
26	233	309	340	350	364	- 9.9	-24.6
27	220	293	329	332	345	- 1.8	-15.8
28	216	267	297	326	314	-28.8	-16.2
29	221	301	331	333	354	- 2.5	-23.6
30	177	202	240	274	238	-33.4	2.5
31	270	326	364	399	383	-35.2	-19.0
32	245	311	358	366	366	- 7.7	- 7.7
33	165	256	283	257	301	26.0	-17.6
34	201	234	274	307	276	-33.8	- 2.8

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