

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES**



**ENSAYES ACELERADOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA POTENCIAL A  
LA TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL Y EL MODULO DE RUPTURA  
DEL CONCRETO A LOS 28 DIAS Y APLICACIONES**

**TESIS PRESENTADA**  
**EN OPCION AL GRADO DE**  
**MAESTRO EN CIENCIAS**  
**CON ESPECIALIDAD EN**  
**E S T R U C T U R A S**  
**PRESENTADA POR**

**Ing. Raymundo Rivera Villarreal**

**MONTERREY, N. L.**

**MARZO - 1983**



FM

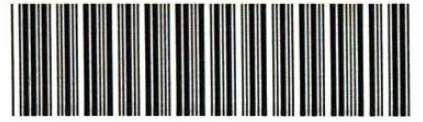
27

0119

C

6

88



1020091240



DIRECCION GENERAL DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

001  
1/25

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES**



DIRECCION GENERAL DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

**ENSAYES ACELERADOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA POTENCIAL A  
LA TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL Y EL MODULO DE RUPTURA  
DEL CONCRETO A LOS 28 DIAS Y APLICACIONES**

**TESIS PRESENTADA**  
**EN OPCION AL GRADO DE**  
**MAESTRO EN CIENCIAS**  
**CON ESPECIALIDAD EN**  
**E S T R U C T U R A S**

PRESENTADA POR

Ing. Raymundo Rivera Villarreal

MONTERREY, N. L.

MARZO - 1983

TA  
76-24  
.C-  
FIC  
1103  
Lr



FONDO TESIS  
63046

ENSAYES PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA POTENCIAL A LA -  
TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL Y EL MÓDULO DE RUPTURA  
DEL CONCRETO A LOS 28 DIAS Y APLICACIONES.

Raymundo Rivera Villarreal\*

\* Ingeniero Civil, Graduado en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Nuevo León.

## I N D I C E

	Pág.
LISTA DE TABLAS-----	1
LISTA DE FIGURAS -----	2
RESUMEN-----	4
INTRODUCCION-----	5
ANTECEDENTES-----	6
Sección de la Temperatura de 91°C. Justificaciones para utilizar los métodos 1 y 2	
MODULO DE RUPTURA DEL CONCRETO -----	11
DETERMINACION DEL ESFUERZO DE TENSION MEDIANTE EL ENSAYE DE COMPRESION DIAMETRAL-----	13
ENSAYE ACELERADO DE TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL-----	16
INVESTIGACION DE LABORATORIO-----	16
Características de las series de ensayos. Agregados Ensayes. Resultados de laboratorio.	
INVESTIGACION DE CAMPO-----	28
Materiales utilizados. Determinación de la ecuación de correlación en el laboratorio. Resultado de los ensayos de muestras obtenidas en la obra. Análisis de los resultados de los ensayos.	
CONCLUSIONES-----	37
RECONOCIMIENTOS-----	38
REFERENCIAS-----	39



LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla No. 1.- Resumen de los procedimientos para fabricar, curar en forma acelerada y ensayar especímenes de concreto a la compresión de acuerdo con la norma ASTM -- C-684-74.	8
Tabla No. 2.- Ciclos de curado en los métodos de agua caliente - que se estudiaron en la U.A.N.L.	9
Tabla No. 3.- Propiedades físicas y químicas de los cementos utilizados en las cuatro series de ensayos.	17
Tabla No. 4.- Características principales de los proporcionamientos utilizados en cada una de las cuatro series de ensayos.	18
Tabla No. 5.- Resumen de ecuaciones de correlación para las cuatro series de ensayos.	33

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.- Aparato para realizar el curado acelerado.	10
Figura 2.- Diagrama del aparato para el ensaye de flexión del concreto por el método de cargas en los tercios de claro ASTM C-78-75.	11
Figura 3.- Distribución de esfuerzos $\sigma_y$ según la teoría elástica en el ensaye de tensión por compresión diametral.	14
Figura 4.- Relación entre la tensión por compresión diametral (T) y el módulo de ruptura (MR) con curado normal a 28 días para cemento Portland Normal.	20
Figura 5.- Relación entre la tensión por compresión diametral (T) y el módulo de ruptura (MR) con curado normal a 28 días para cemento Portland de Escoria de Alto --Horno.	21
Figura 6.- Relación entre la tensión por compresión diametral (T) y el módulo de ruptura (MR) con curado normal a 28 días para cemento Portland Puzolana.	22
Figura 7.- Relación entre la tensión por compresión diametral (T) y el módulo de ruptura (MR) con curado normal a 28 días para cemento Portland con Escoria de Alto Horno y Fibra de Vidrio.	23
Figura 8.- Relación entre la tensión por compresión diametral con un curado acelerado a 24 hrs. (Ta) y con un curado normal de 28 días (T) para cemento Portland Normal.	24
Figura 9.- Relación entre la tensión por compresión diametral con un curado acelerado a 24 hrs. (Ta) y con un curado normal de 28 días (T) para cemento Portland de Escoria de Alto Horno.	25
Figura 10.- Relación entre la tensión por compresión diametral con un curado acelerado a 24 hrs. (Ta) y con un curado normal de 28 días (T) para cemento Portland Puzolana.	26

	Pág.
Figura 11.- Relación entre la tensión por compresión diametral con un curado acelerado a 24 hrs. (Ta) y con un curado normal de 28 días (T) para cemento Portland con escoria de Alto Horno y Fibra de Vidrio.	27
Figura 12.- Relación entre la tensión por compresión diametral con curado acelerado a 24 hrs. (Ta) y el módulo de ruptura (MR) con curado normal a 28 días (T) para cemento Portland Normal.	29
Figura 13.- Relación entre la tensión por compresión diametral con curado acelerado a 24 hrs. (Ta) y el módulo de ruptura (MR) con curado normal a 28 días (T) para cemento Portland de Escoria de Alto Horno.	30
Figura 14.- Relación entre la tensión por compresión diametral con curado acelerado a 24 hrs. (Ta) y el módulo de ruptura (MR) con curado normal a 28 días (T) para cemento Portland Puzolana.	31
Figura 15.- Relación entre la tensión por compresión diametral con curado acelerado a 24 hrs. (Ta) y el módulo de ruptura (MR) con curado normal a 28 días (T) para cemento Portland con Escoria de Alto Horno y Fibra de Vidrio.	32
Figura 16.- Relación entre la tensión por compresión diametral acelerada a 24 hrs. (Ta) y el módulo de ruptura (MR) a 28 días con un curado normal para control de calidad en el campo.	34
Figura 17.- Relación entre la tensión por compresión diametral acelerada a 24 hrs. (Ta) y el módulo de ruptura (MR) a 28 días con curado normal para resultados de muestras de campo y su comparación con la ecuación de diseño.	36

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados de estudios efectuados para determinar la factibilidad de utilizar un ensaye acelerado, para predecir tanto la tensión por compresión diametral como el módulo de ruptura potenciales del concreto a los 28 días.

En el método de agua caliente adoptado para este propósito, los cilindros de ensaye se curan con humedad durante 18 1/2 horas, se calientan durante 3 1/2 horas y se ensayan dos horas después a tensión por compresión diametral. Los cilindros de 15 x 30 cm. y vigas compañeras de 15 x 15 x 50 cm. son ensayados a los 28 días para determinar la resistencia a tensión por compresión diametral y el módulo de ruptura. Se obtuvieron tanto las ecuaciones de regresión como los coeficientes de correlación entre los resultados de ensayes acelerados de tensión por compresión diametral y los ensayes de tensión por compresión diametral y los módulos de ruptura a los 28 días, realizados tanto en el laboratorio como en el campo.

A partir de los datos de ensaye disponibles a la fecha, se concluye que el ensaye acelerado de tensión por compresión diametral puede predecir con suficiente precisión la resistencia potencial de tensión por compresión diametral y el módulo de ruptura del concreto a los 28 días.

## INTRODUCCION

Entre los principales problemas que se presentan en la edificación de construcciones, encontramos "El Control y la Verificación de la Calidad del Concreto".

El "Control de la Calidad" es problema del fabricante del concreto que deberá ofrecer revolturas con características uniformes de docilidad, sangrado, velocidad de fraguado, endurecimiento, resistencia mecánica, etc.. El fabricante deberá mantener una vigilancia constante en los materiales y la fabricación del concreto para hacer ajustes oportunos y estar en posibilidad de mantener la uniformidad dentro de límites razonables.

Por otra parte, el concreto es un material cuyas características dependen de muchos parámetros, la magnitud de las variaciones en las resistencias de los especímenes de concreto, dependerá del grado de control y vigilancia que se haga sobre los materiales, la fabricación del concreto y los ensayos.

Las discrepancias en el muestreo, la fabricación, el manejo, el curado y el ensayo de los especímenes, pueden originar variaciones en la resistencia que da el laboratorio, que en realidad no existen en el concreto.

La "Verificación de la Calidad" es de interés del dueño de la obra, para confirmar las características solicitadas. Algunas características del concreto fresco como son: la docilidad, el sangrado, el contenido de aire, los tiempos de fraguado, etc., a menudo forman parte de la "Verificación de la Calidad", para la aceptación o rechazo del concreto, pero sirven también para el "Control de la Calidad", en cuanto que puede lograrse una acción correctiva inmediata en la producción.

El "Control de la Calidad del Concreto" en lo que se refiere a los ensayos para la determinación de la resistencia a la compresión y a la flexión, mediante los procedimientos y especificaciones actuales, requieren del transcurso de un lapso considerable de tiempo, lo cual elimina la posibilidad de hacer ajustes oportunos en la producción del concreto.

Los procedimientos actualmente en uso en la construcción, han impuesto una mayor velocidad en el avance de las obras que la utilizada hace varias décadas, uno de estos es el bombeo del concreto y han aparecido los aditivos acelerantes del fraguado y del endurecimiento; así como métodos para acelerar el curado; y sin embargo, las especificaciones vigentes (1) (2) para el diseño de concreto, aún están basadas en la resistencia del concreto, que se determina ensayando a los 28 días de edad especímenes colados y curados en condiciones normales. Estos ensayos fueron desarrollados en una época en la cual los conocimientos sobre el comportamiento interno del concreto, se limitaba a considerar que con un curado normal se aprovechaba su

capacidad de endurecimiento estableciéndose arbitrariamente un curado de 28 días, con lo cual la madurez alcanzada garantiza la resistencia deseada.

El desarrollo actual en la construcción de obras de concreto con nuevos procedimientos y materiales, exige que la resistencia potencial del concreto, deba conocer en el menor tiempo posible después que el concreto ha sido colado. Esperar 28 días para confirmar la resistencia del concreto, limita la oportunidad de hacer ajustes inmediatos en materiales y proporciones. Aunque la resistencia es adecuada, resulta embarazoso deslindar responsabilidades y es difícil y antieconómico hacer reparaciones a la obra, y en algunos casos, como el grado de deficiencia, se puede llegar hasta la demolición.

De hace tiempo, pero con mayor énfasis en los años recientes, se han estado investigando diversos métodos de ensaye en especímenes, para llegar a establecer a edad temprana y con aceptable grado de confiabilidad, la resistencia potencial de concreto a compresión a los 28 días, con la intención de llegar a establecer un procedimiento para sustituir los ensayos normales de compresión a los 28 días.

Este método ya ha sido aplicado en el control de la calidad de obras de construcción de importancia, en diversas partes del mundo, como Panamá, Australia, México, etc.

A. CEMENT

Norma Americana para Ensayos de Resistencia en Compresión  
ASTM C 671 - Método de Ensayo de Resistencia a la Compresión de Concreto  
Este método de ensayo de resistencia a la compresión de concreto se aplica a especímenes de concreto de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. El ensayo se realiza a los 28 días de edad. El método de ensayo se describe en el Manual de Pruebas de Resistencia a la Compresión de Concreto, S. A. E. (American Society for Testing and Materials).

El método de ensayo de resistencia a la compresión de concreto se aplica a especímenes de concreto de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. El ensayo se realiza a los 28 días de edad. El método de ensayo se describe en el Manual de Pruebas de Resistencia a la Compresión de Concreto, S. A. E. (American Society for Testing and Materials).

El método de ensayo de resistencia a la compresión de concreto se aplica a especímenes de concreto de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. El ensayo se realiza a los 28 días de edad. El método de ensayo se describe en el Manual de Pruebas de Resistencia a la Compresión de Concreto, S. A. E. (American Society for Testing and Materials).

Raymundo Rivera Villarreal

- 1.- El equipo y procedimiento de ensaye deberá ser relativamente simple.
- 2.- Los resultados de los ensayos deberán ser reproducibles y comparables con los resultados obtenidos en otras partes usando equipo similar. Además, deberán permitir que la resistencia potencial de concreto a los 28 días, se pueda predecir con un grado aceptable de confiabilidad.
- 3.- Los resultados de ensayos deberán estar disponibles alrededor de 24 horas después que se haya colocado el concreto.
- 4.- La relación del valor de la resistencia con un curado acelerado a la obtenida con un curado normal a 28 días, deberá ser tan alta como sea posible y los resultados deberán ser aplicables a revolturas de concretos que cubran un intervalo amplio de resistencia. Es deseable que la relación entre la resistencia acelerada y a los 28 días no se afecte por el empleo de aditivos usuales.

El Sr. Malhotra y el Sr. Zoldners han popularizado en el Canadá su método modificado de ebullición para especímenes a compresión, que ha tenido gran aceptación, probablemente por su relativa sencillez y corto ciclo de curado, mayor información sobre este método se puede obtener de las referencias 7 y 8.

La ASTM en su Designación C-684-74, recomienda tres métodos para la Fabricación, Curado Acelerado y Ensaye a la Compresión de Especímenes de Concreto y las características principales aparecen en la Tabla No. 1.

En los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L. hemos estado trabajando con curados acelerados en especímenes a compresión -- utilizando agua caliente desde 1968 (9), y con dos métodos distintos, los -- cuales se resumen en la Tabla No. 2.

Selección de la temperatura de 91°C.

Como la temperatura de ebullición del agua varía con la altura sobre el nivel del mar y además no es recomendable trabajar a esta temperatura por la excesiva evaporación, la temperatura en el tanque de curado se escogió de 91°C, considerando que es ligeramente inferior a la de ebullición en las ciudades como México y Toluca que se encuentran a más de 2,000 m. sobre el nivel del mar y que sería conveniente, en un momento dado llegar a estandarizar un método acelerado a esta temperatura que pudiera utilizarse en toda la República Mexicana.

Método	Moldes	Medio para el curado acelerado	Temp. en el medio	Edad a la que se inicia el curado aceler.	Tiempo del curado acel.	Tiempo para el enfriado y recapeo en ensaye. hs.	Edad al momento del ensaye.
A.- Agua Caliente	Re-utilizable o Uso Único	Agua	35° C ±3° C	Inmediatamente después del moldeado.	23 1/2 hs ± 30 min.	1/2	24 hs. ± 15 min.
B.- Agua Hirviendo	Re-utilizable o Uso Único	Agua	Ebullición.	23 hs ± 15 min. después del moldeado.*	3 1/2 hs ± 5 min.	2	28 1/2 hs ± 15 min.
C.- Autógeno	Uso Único	Calor de Hidratación	Temp. Inicial del Conc. más el calor de hidratación.	Inmediatamente después del moldeado *	48 hs. ± 15 min.	1	49 hs. ± 15 min.

\* Temperatura igual a 21° ± 6°C

Tabla No. 1.- Resumen de los procedimientos para fabricar curar en forma acelerada y ensayar especímenes de concreto a la compresión de acuerdo con la norma ASTM-C-684-81.



CARACTERISTICAS DEL ENSAYE	METODO 1	METODO 2
Horas del día para el muestreo	8 A.M. a 12 P.M.	2 P.M. a 6 P.M.
Iniciación del curado después del moldeado (Hrs.)	24 ± 15 min.	18 1/2 ± 15 min.
Duración del curado en agua caliente a 91°C (Hrs.)	3 1/2 ± 5 min.	3 1/2 ± 5 min.
Edad del espécimen al final del período de calentamiento (Hrs.)	27 1/2 ± 15 min.	22 ± 15 min.
Período de tiempo para el enfriado y recapeado (Hrs.)	2 ± 5 min.	2 ± 5 min.
Edad del espécimen al momento del ensaye (Hrs.)	29 1/2 ± 15 min.	24 ± 15 min.

Tabla No. 2.- Ciclos de curado en los métodos de agua caliente que se estudiaron en la U.A.N.L.

Justificaciones para utilizar los métodos 1 y 2.

La edad de 24 horas del espécimen cuando se coloca en el agua caliente, funciona adecuadamente para el muestreo que se haga por la mañana, si el muestreo se hace por la tarde se presenta la inconveniencia de la necesidad de trabajar tiempo extra en el laboratorio. Esta fue la razón de utilizar el método No. 2 considerando que el muestreo pueda hacerse por la tarde.

La reducción a 18 1/2 horas para la edad a la que se introduce el espécimen en el agua caliente, es razonable si se considera por una parte que el tiempo máximo para el fraguado final para todos los tipos de Cemento Portland es de 10 horas (Gillmore) o de 8 horas (VICAT) ASTM-150-77 (10) Tabla 2 y que además se cumple la condición de no retirar el espécimen del molde antes de las 20 horas ± 4 horas (ASTM C-31-69-7.3) (11) debemos considerar que el espécimen se somete al curado en el molde y no existe el riesgo de que sufra deterioro el concreto.

Someter el espécimen al proceso de calentamiento con el molde a edades muy tempranas, como podría ocurrir en el control de la calidad en plantas de prefabricados, no es conveniente, ya que aparecerían microgrietas por fallas de tensión, ya que a edad temprana el concreto no es suficientemente fuerte, como para resistir las tensiones debidas a los efectos de expansión térmica del aire incluido o atrapado (12) (13).

La diferencia en resultados de un método a otro se debe a que en el método 1, el espécimen alcanza mayor madurez, la equivalente a un curado adicional en el molde a temperatura ambiente de 5 1/2 horas. Puede utilizarse cualquiera de los dos métodos, se podrían alcanzar iguales valores de resistencia con curado acelerado si se modifica el segundo método por un factor, en términos de la resistencia que establezca la diferencia en madurez.

Los resultados de los ensayos realizados con curados acelerados en especímenes sujetos a compresión en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L., se pueden ver en la referencia (9).

En la Figura 1 se puede apreciar el tanque para el curado acelerado de especímenes con control automático.

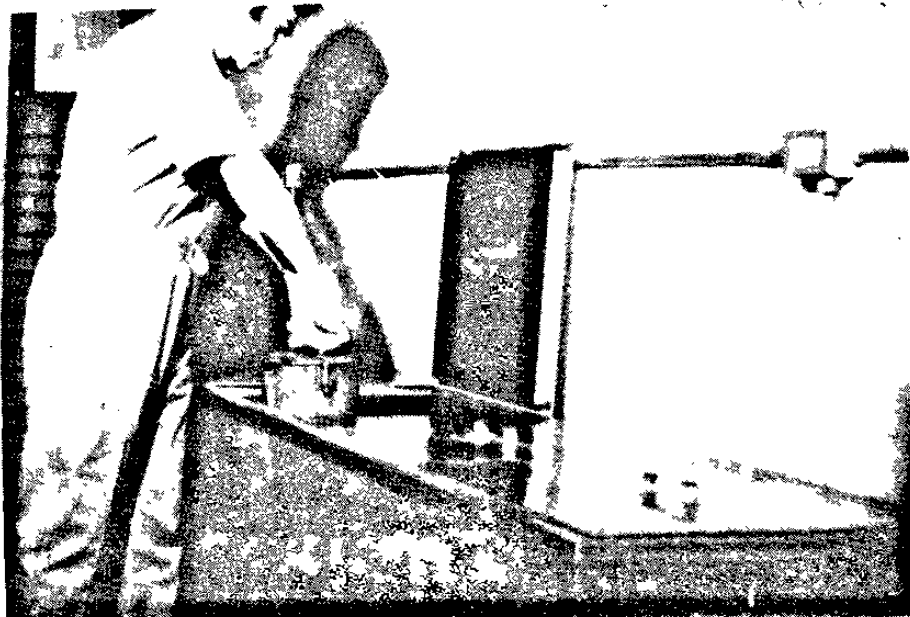


Figura 1.- Tanque para el curado acelerado de especímenes de concreto con control automático de los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L.

### MODULO DE RUPTURA DEL CONCRETO

El diseño de pavimentos de concreto está regido por el Módulo de Ruptura MR (14) (15) como un índice de su resistencia a la flexión, el MR se evalúa por medio de ensayos de flexión sobre vigas, que no es otra cosa que una estimación indirecta de su resistencia a la tensión.

La ASTM adoptó la determinación de la resistencia a la flexión mediante vigas simplemente apoyadas con cargas en los tercios del claro, desde 1938 (16).

En la figura 2 se puede apreciar el aparato y la posición del espécimen para el ensayo de flexión del concreto por el método de cargas en los tercios del claro, ASTM C-78-75 (16).

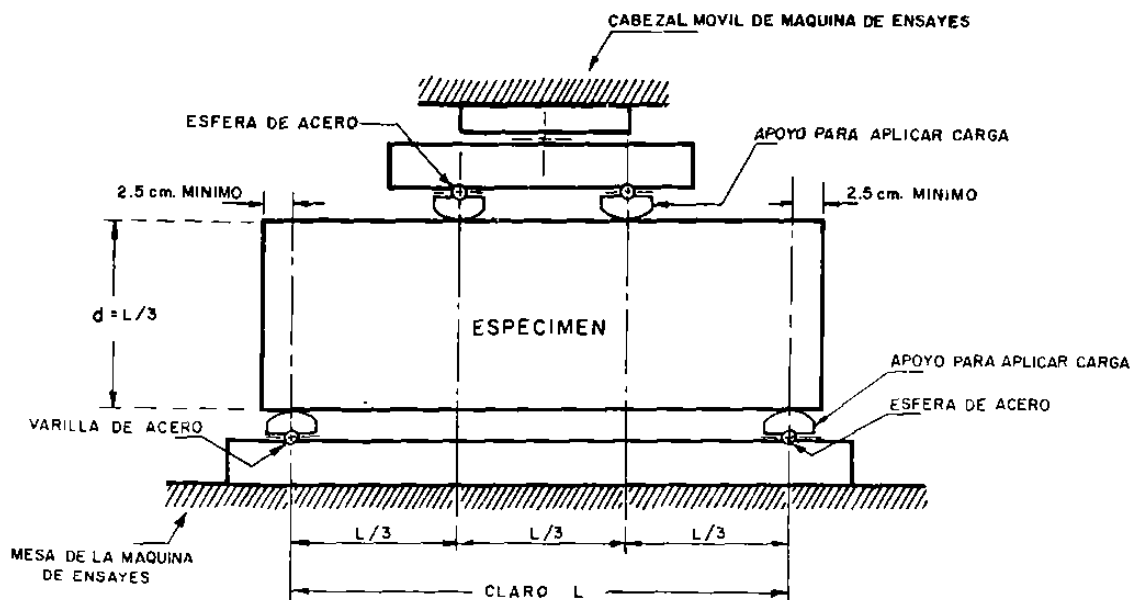


Figura 2.- Diagrama del aparato para el ensayo de flexión del concreto por el método de cargas en los tercios del claro ASTM C-78-75.

El módulo de ruptura puede definirse como el esfuerzo de tensión desarrollado por la acción de viga, considerando que el material es homogéneo y que los esfuerzos y deformaciones son directamente proporcionales a su distancia del eje neutro de la viga.

El módulo de ruptura de una viga rectangular libremente apoyada en los extremos con cargas en los tercios del claro, se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$MR = \frac{WL}{bd^2}$$

Donde:

- MR = Módulo de ruptura del concreto, kg/cm<sup>2</sup>
- W = Carga total aplicada, kg.
- L = Longitud del claro, cm.
- b = Ancho promedio de la viga, cm.
- d = Peralte promedio de la viga, cm.

La razón de utilizar en el control de la calidad de pavimentos de concreto simple, el ensaye a flexión del concreto, en lugar del tradicional de compresión, estriba en que, las fallas en el pavimento ocurren por flexión, presentándose el inicio de la grieta en el lado de tensión por la debilidad característica del concreto a este esfuerzo. Ya que la falla es básicamente por tensión, es bastante difícil llegar a encontrar una correlación consistente entre flexión y compresión, debido principalmente a deficiencias en la resistencia a la tensión que se manifiesta en grado menor en la resistencia a la compresión, como son la limpieza y textura de los agregados, la adherencia de los agregados con la pasta y el sangrado.

Aunque la falla es por tensión, no se pretende determinar el esfuerzo directo de tensión del concreto, debido a que la losa de concreto de los pavimentos trabaja a flexión.

La determinación del esfuerzo de tensión en el concreto en sí, es un gran problema (17), aún en un ensaye axial de tensión, es difícil decir cuál es el verdadero esfuerzo de tensión; ya que influyen entre otras variables el tamaño y la forma de los especímenes, la forma de sujeción del espécimen a la máquina de ensaye, la velocidad de aplicación y axialidad de la carga. Es por estos motivos que se han buscado formas indirectas para la determinación del esfuerzo de tensión, no como un valor absoluto, sino expresado en términos del ensaye específico utilizado para determinarlo (18).

El ensaye de vigas a la flexión generalmente aceptado para llevar el control y la verificación de la calidad de pavimentos de concreto, presenta algunos inconvenientes para su manufactura, manejo y ensaye, originados principalmente por su relativamente alto volumen de concreto necesario -

Raymundo Rivera Villarreal

para fabricar el espécimen, (el peso de la viga con relación al cilindro normal es de 112% mayor), y si consideramos que el molde también es mucho más pesado, resulta bastante difícil su manejo, son estas razones las que han originado la búsqueda de otros métodos más sencillos que nos sirvan a este fin.

Descartado el ensaye de compresión para hacer el control de la calidad de pavimentos de concreto y conociendo los inconvenientes del ensaye a la flexión, se puede pensar en la utilización de otro método que pueda detectar la falla de tensión y que pueda prestarse al mismo tiempo para la realización de un ensaye acelerado.

El ensaye de tensión por compresión diametral, presenta grandes ventajas para ser utilizado en el control y verificación de la calidad de pavimentos (19) (20), en primer lugar, pueden correlacionarse sus resultados con los de flexión ya que la falla en ambos es básicamente originada por una tensión que podemos considerar como indirecta y en segundo lugar, se puede realizar un ensaye acelerado con facilidad ya que el espécimen es el mismo cilindro que se usa para el ensaye a compresión.

#### DETERMINACION DEL ESFUERZO DE TENSION MEDIANTE EL ENSAYE DE COMPRESION DIAMETRAL.

Este ensaye fue desarrollado casi al mismo tiempo pero independientemente, en Brasil por Carneiro y Barcellos (21) y en Japón por Akazawa (22).

El ensaye a la tensión por compresión diametral, se basa en el estado de esfuerzos desarrollados cuando un espécimen cilíndrico se sujeta a una fuerza de compresión a lo largo de las dos generatrices opuestas, ver Figura 3. Esta condición de carga produce una distribución biaxial de esfuerzos dentro del espécimen. Inmediatamente cerca de las dos generatrices a las cuales se aplica la carga, existen regiones pequeñas de esfuerzos de compresión; sin embargo existe un esfuerzo a la tensión que es constante a lo largo del plano vertical restante como se puede apreciar en la Figura 3.

Los esfuerzos de compresión varían en magnitud a lo largo del diámetro, desde un mínimo de  $\frac{6P}{\pi D^2}$  en el centro, hasta un valor infinitamente alto inmediatamente bajo las cargas. La falla del espécimen de concreto sucede tan pronto como se excede la resistencia a la tensión del concreto y ocurre por separación a lo largo del plano vertical.

Este ensaye se ha popularizado en los últimos años y la ASTM adoptó el ensaye como una de sus normas en 1962 (24).

Para reducir la magnitud de los altos esfuerzos de compresión cerca

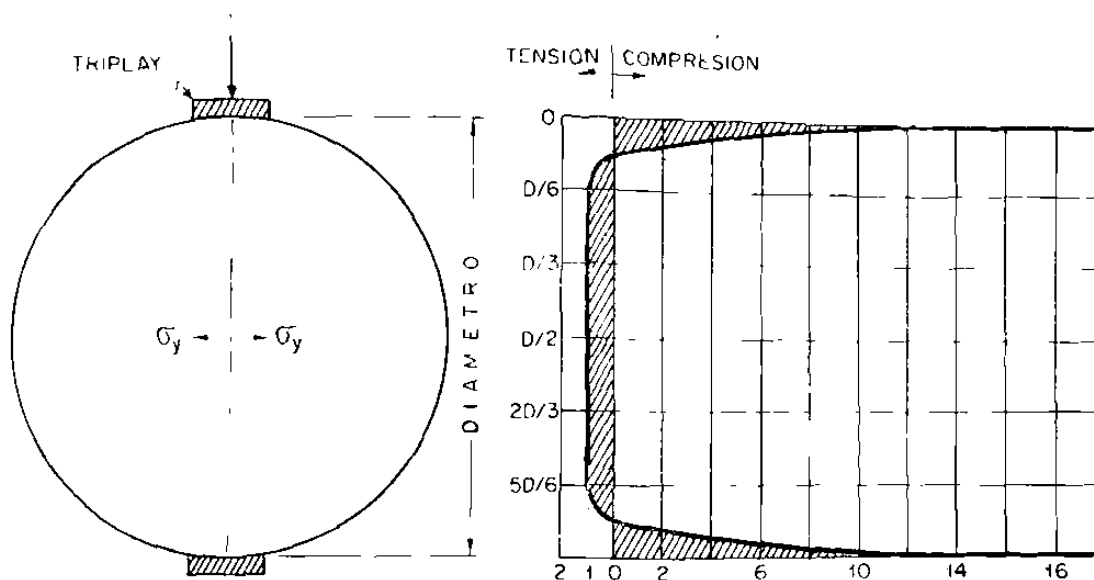


Figura 3.- Distribución de esfuerzos  $\sigma_y$ , según la teoría elástica en el ensayo de tensión por compresión diametral.

de los puntos de aplicación de la carga, y debido a que las dimensiones y dureza del material tienen efecto en la distribución de esfuerzos, de acuerdo al grado en que la carga pueda penetrar en la superficie de contacto (25), ASTM ha normalizado colocar unas tiras de triplay de 2.5 cm. de ancho por 3 mm. de espesor y de la longitud total del cilindro, que van entre el espécimen y las rígidas placas de carga. Las tiras de empaque permiten la distribución de la carga sobre un área razonable, estrecha y lo suficientemente delgada para prevenir que el área de contacto llegue a ser excesiva.

R. Sell\* determinó como resultado de ensayos, que si se utilizan fibras duras como empaque, la resistencia a la tensión es 14% menor que si se utiliza empaque de fieltro.

La resistencia a la tensión por compresión diametral se calcula con la fórmula siguiente:

$$T = \frac{2 P}{\pi D L}$$

\* Ingeniero Investigador, Materials Testing Laboratory for Civil Engineering, Technischen Hochschule München, Germany.

Raymundo Rivera Villarreal

Donde:

- T = Resistencia a la tensión por compresión diametral, kgs/cm<sup>2</sup>.
- P = Carga máxima aplicada a la falla, kgs.
- L = Longitud del cilindro, cms.
- D = Diámetro del cilindro, cms.

La reproducibilidad de los resultados de ensaye de resistencia a la tensión por compresión diametral, como han reportado varios investigadores basados en ensayos de laboratorio, varían de 4.5 a 8.5% (26) (27) (28). De un estudio de laboratorio realizado en la ciudad de México por Gómez Jardán (29) (30), el coeficiente de variación en las revolturas fue de 4.7% de promedio en 59 pruebas consistiendo cada prueba de 5 ensayos.

Se han realizado trabajos por varios investigadores con miras a la determinación de correlaciones entre el esfuerzo de tensión por compresión diametral y el módulo de ruptura (31) (32) (33). Narrow y Ullberg (20) en su trabajo sobre "La Correlación entre la Resistencia a la Tensión por Compresión Diametral y la Resistencia a la Flexión del Concreto", pretendían de terminar una relación constante entre estas resistencias y encontraron que esta relación variaba de 1.38 a 1.88 dependiendo del nivel de esfuerzos. Al hacer el análisis de regresión de sus datos, el resultado es el siguiente:

$$MR = 1.02T + 17.1$$

MR = Módulo de ruptura  
T = Tensión por compresión diametral.

Con un coeficiente de correlación igual a 0.989 en un total de 882 especímenes que cubren un rango en el módulo de ruptura de 38.7 a 65.0 kg/cm<sup>2</sup>. El alto coeficiente de correlación indica que la ecuación derivada puede tomarse como representativa en el rango considerado, con un riesgo despreciable de error y que el módulo de ruptura puede predecirse confiablemente a partir del esfuerzo de tensión, determinado del ensaye de compresión diametral.

De ensayos realizados por la U.A.N.L. en obras en la ciudad de Monterrey, se ha reportado un coeficiente de variación en las muestras en el campo, al ensayarse a la tensión por compresión diametral, de 13.8% con una desviación estándar de 4.1 kg/cm<sup>2</sup> en 118 muestras, consistiendo cada muestra de 5 a 7 especímenes. En estas obras el coeficiente de variación global en el ensaye de tensión fue de 9.4% con un promedio de esfuerzo de 27.6 kg/cm<sup>2</sup>.

En Sidney Australia en la construcción de dos aeropuertos, Simon (19) ha reportado un coeficiente de variación de 7.9 y de 12.5%.

ENSAYE ACELERADO DE TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL

Considerando que la reproducibilidad de resultados de ensayos en el laboratorio son del mismo orden, tanto para el ensaye a flexión como para el de tensión por compresión diametral, de que el coeficiente de variación - en el campo, en los estudios reportados de ensayos de tensión por compresión diametral varían de 7.9 a 17.9%, y que aún pueden mejorarse, se creyó conveniente realizar ensayos acelerados de tensión por compresión diametral y correlacionarlos con el mismo esfuerzo y con el de flexión pero curados normalmente 28 días. (Ensayes ASTM C-780-75 y C-496-71). De resultar confiables los resultados, se podría llevar un control de calidad con un método más simple que la viga y a la vez acelerado.

INVESTIGACION DE LABORATORIO

Características de las series de ensayos.

Se realizaron cuatro series de ensayos en el laboratorio utilizando tres tipos de cementos, cemento Portland Normal NOM C-1, similar al ASTM C-150 tipo I, cemento Portland de Escoria de Alto Horno NOM C-175 similar al ASTM C-595 tipo IS y cemento Portland de Puzolana Natural, NOM C-2 similar al ASTM C-595 IP. Las propiedades físicas y químicas de estos cementos aparece en la tabla No. 3. Se utilizaron 2 clases de agregado grueso y en una serie se incluyó fibra de vidrio. Las principales variables involucradas en cada serie de ensayos se pueden apreciar en la Tabla No. 4.

Agregados.

Las características físicas del agregado grueso de caliza utilizado en las series 1, 2 y 3 fueron las siguientes:

Tamaño Máximo	=	40 mm
Pe (SSS)	=	2.68 g/cm <sup>3</sup>
Absorción	=	0.70%
Peso volumétrico (SS)	=	1,500 kg/m <sup>3</sup>

Las características físicas del agregado fino de caliza utilizados en las 4 series de ensayos fueron las siguientes:

Módulo de Finura	=	3.0
Pe (SSS)	=	2.65 g/cm <sup>3</sup>
Absorción	=	1.5%
Peso volumétrico (SS)	=	1,650 kg/m <sup>3</sup>



Raymundo Rivera Villarreal

DESCRIPCION DEL ENSAYE	CPN (*) NOM C-1	CPEAH (**) NOM C-175	CPPN (***) NOM C-2
<u>PROPIEDADES FISICAS</u>			
PESO ESPECIFICO, g/cm <sup>3</sup>	3.13	3.10	2.91
FINEZA:			
Area superficial (Blaine) cm <sup>2</sup> /g	3,460	3,920	6,355
Pasando malla No. 325, %	86.4	93.0	95.1
TIEMPO DE FRAGUADO:			
Inicial Vicat, hs-min	2:37	3:17	1:39
Final Vicat, hs-min	4:02	4:37	3:51
Inicial Gillmore, hs-min	2:53	- -	- -
Final Gillmore, hs-min	5:52	- -	- -
SANIDAD (Autoclave), %	0.13	0.022	- -
RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CUBOS DE 5.1 cm en kgf/cm <sup>2</sup> :			
1 dfa	90	78	83
3 dfas	178	145	166
7 dfas	255	203	232
28 dfas	346	300	327
<u>ANALISIS QUIMICO en %</u>			
Oxido de calcio (CaO) total	64.77	55.67	51.76
Dióxido de silicio (SiO <sub>2</sub> )	21.10	26.89	33.31
Oxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5.16	8.07	4.58
Oxido férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2.19	1.75	1.96
Oxido de magnesio (MgO)	1.37	3.13	1.44
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	2.70	1.98	2.50
Cal libre	1.20	0.67	1.56
Pérdida por ignición	1.63	1.17	5.08
Residuo insoluble	0.30	0.32	14.72

(\*) Portland Normal Tipo I, similar al ASTM C-150 Tipo I

(\*\*) Portland de Escoria de Alto Horno, similar al ASTM C-595 Tipo IS

(\*\*\*) Portland de Puzolana Natural, similar al ASTM C-595 Tipo IP

Tabla No. 1.- Propiedades físicas y químicas de los cementos utilizados en las cuatro series de ensayos.

SERIE No.	TIPO DE CEMENTO	CLASE DE AGREGADO GRUESO	CLASE DE AGREGADO FINO	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO EN mm.	FIBRA DE VIDRIO % EN VOL.
1	NOM C-1 (1) ASTM C-150	CALIZA DE CANTERA TRITURADA.	CALIZA DE CANTERA TRITURADA	40	-
2	NOM C-175 (2) ASTM C-595-79-IS	CALIZA DE CANTERA TRITURADA	CALIZA DE CANTERA TRITURADA	40	-
3	NOM C-2 (3) ASTM C-535-79-IP	CALIZA DE CANTERA TRITURADA	CALIZA DE CANTERA TRITURADA	40	-
4	NOM C-175 (2) ASTM C-595-79-IS	ESCORIA DE ALTO HORNO	CALIZA DE CANTERA TRITURADA	10	0.5

- (1) Cemento Portland Normal Tipo I
- (2) Cemento Portland de Escoria de Alto Horno.
- (3) Cemento Portland Puzolana.

Tabla No. 4.- Características principales de los proporcionamientos utilizados en cada una de las 4 series de ensayos.

Raymundo Rivera Villarreal

Las características físicas del agregado grueso de escoria de alto horno utilizando en la serie No. 4 fueron las siguientes:

Tamaño máximo	=	10 mm
Pe (SSS)	=	2.40 g/cm <sup>3</sup>
Absorción	=	4. %
Peso volumétrico (SS)	=	1,390 kg/m <sup>3</sup>

La fibra de vidrio utilizada en la serie No. 4 fue del tipo E con un apresto de acetato para protegerla de la acción de los álcalis del cemento, uniendo con silano aproximadamente 400 monofilamentos con 0.0127 mm y 0.0140 mm de diámetro mínimo y máximo respectivamente formando cordones y con una longitud de 25 mm.

#### Ensayes.

En cada serie de ensayes se elaboraron 6 especímenes cilíndricos normales por cada relación agua-cemento y a la vez 3 vigas normales para el ensaye de flexión.

Tres de los cilindros los cuales se ensayarían a la tensión por compresión diametral ASTM C-496-71 después de un curado acelerado según la variante 2 de la UANL (24 hrs.), recién fabricados, se cubrieron con tapas de acero que ajustaban bien sobre el cilindro; los otros 3 cilindros para ensayarse a la tensión por compresión diametral a los 28 días se cubrieron con plástico impermeable, lo mismo se hizo con las 3 vigas compañeras para ensayarse a los 28 días a la flexión según el procedimiento ASTM C-78-75.

#### Resultados de laboratorio.

De los resultados obtenidos, en cada una de las series de ensayes, se elaboraron tres gráficas de correlación como sigue:

- 1a.- Correlación entre la tensión por compresión diametral (T) a los 28 días, de especímenes curados en forma normal, con el Módulo de Ruptura (M.R.) a los 28 días de especímenes curados también en forma normal. Las gráficas correspondientes aparecen en las Figuras 4, 5, 6 y 7.
- 2a.- Correlación entre la tensión por compresión diametral (Ta) a las 24 hrs., de especímenes curados en forma acelerada, con la tensión por compresión diametral (T) a los 28 días, de especímenes curados en forma normal. Las gráficas correspondientes aparecen en las Figuras 8, 9, 10 y 11.

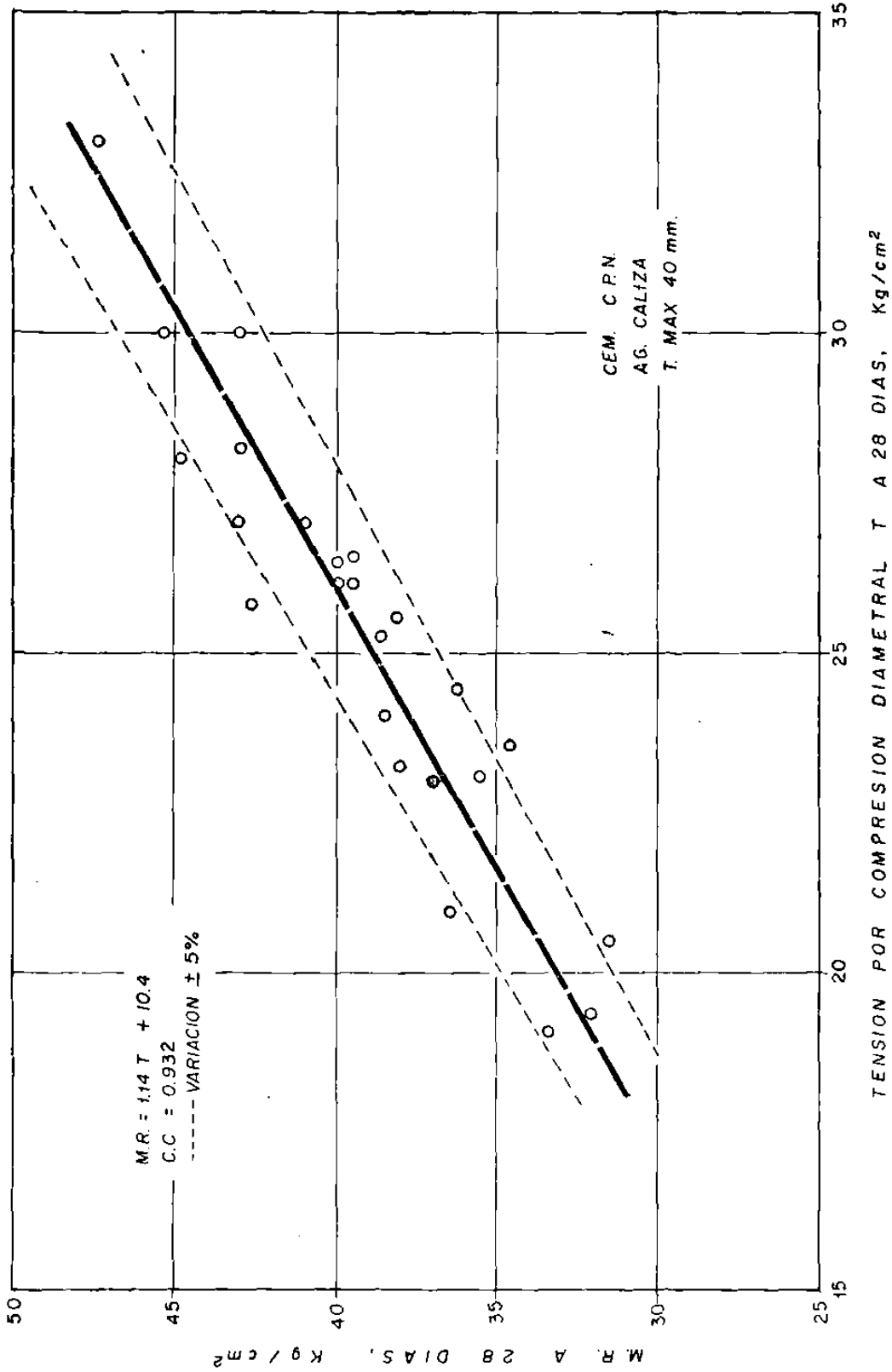


FIG.4 RELACION ENTRE LA TENSION C.D. Y EL M.R. A 28 DIAS

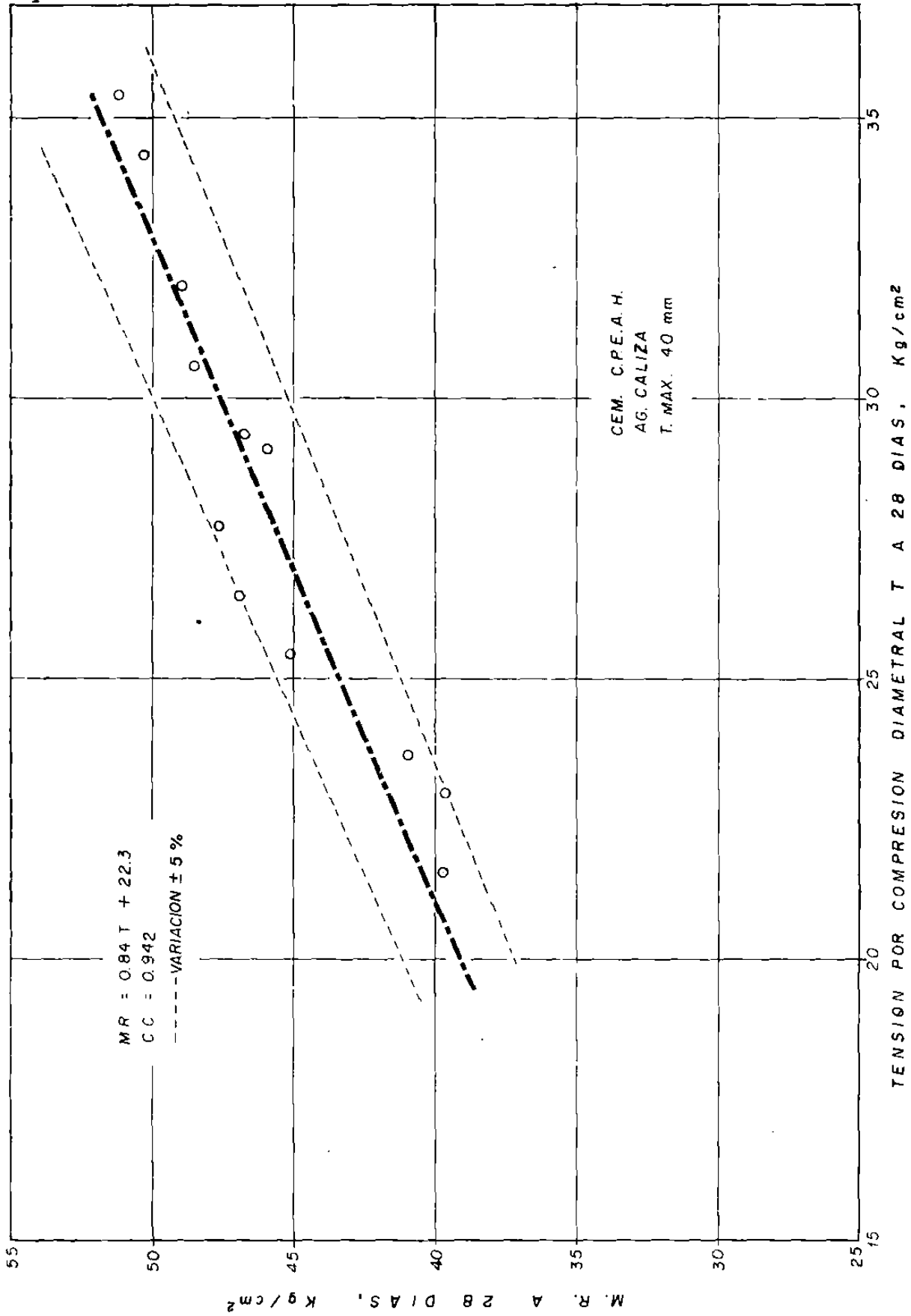


FIG.5 RELACION ENTRE LA TENSION C.D. Y EL M.R. A 28 DIAS

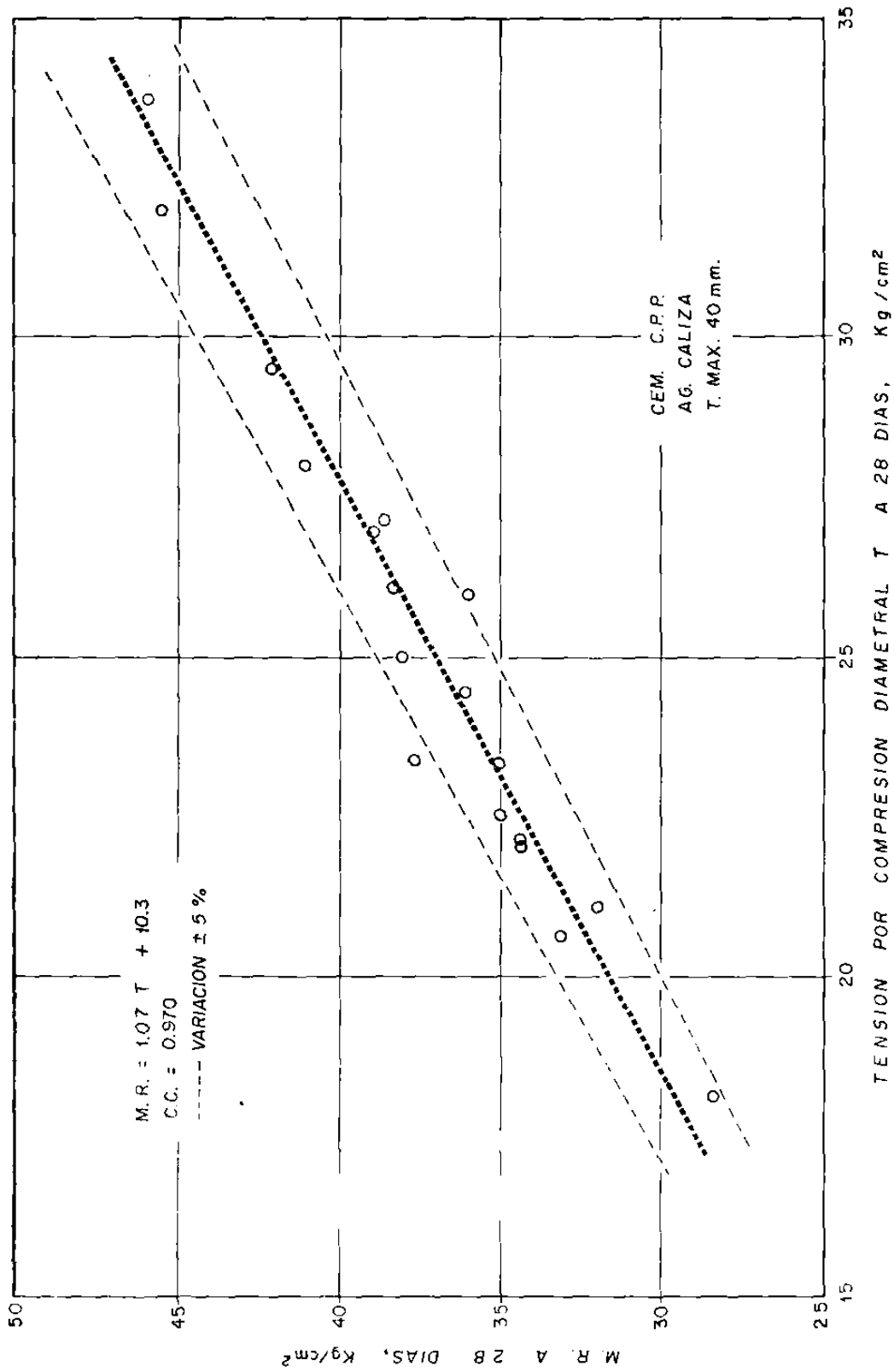


FIG. 6 RELACION ENTRE LA TENSION C.D. Y EL M.R. A 28 DIAS

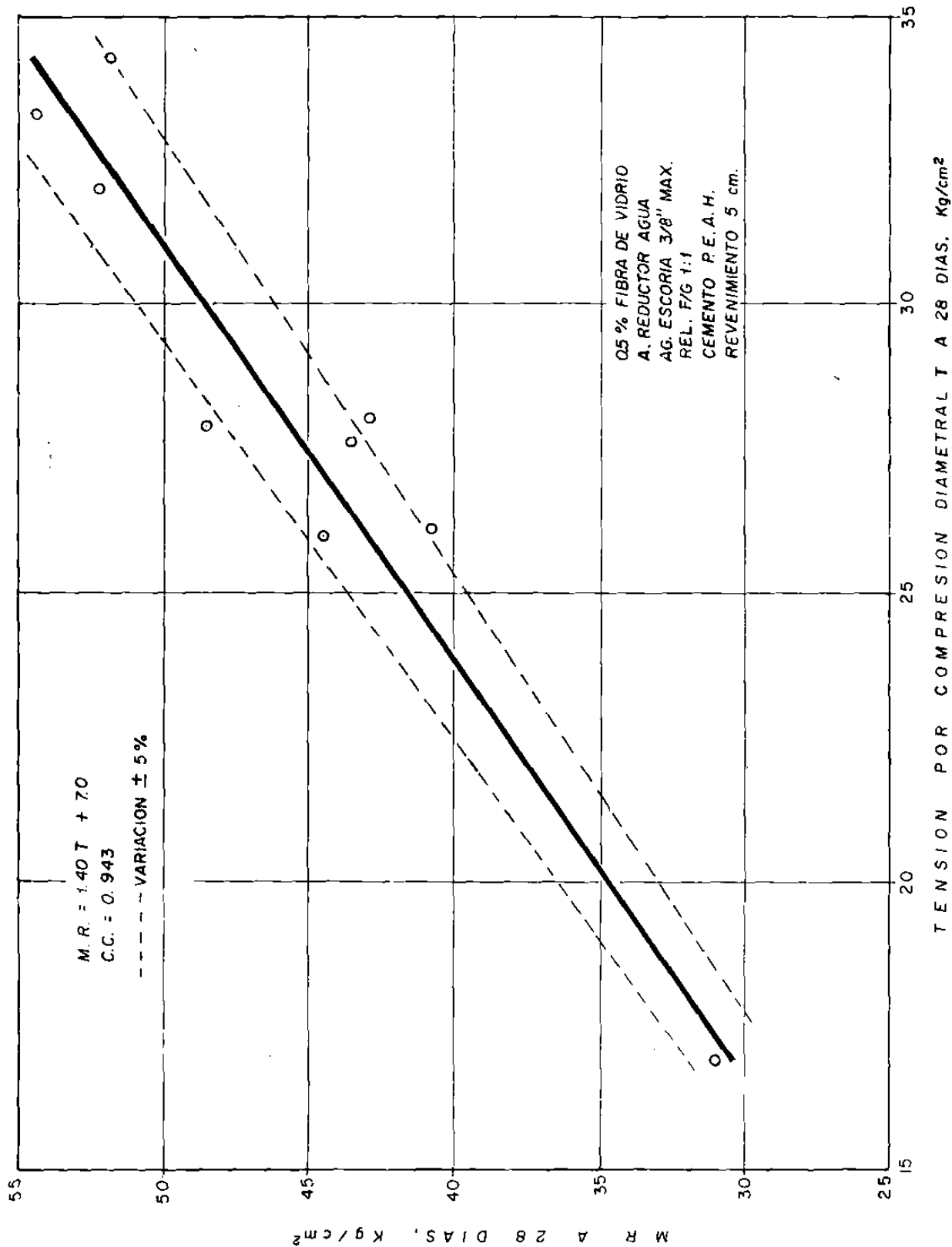


FIG. 7 RELACION ENTRE LA TENSION C.D. Y EL M.R. A 28 DIAS

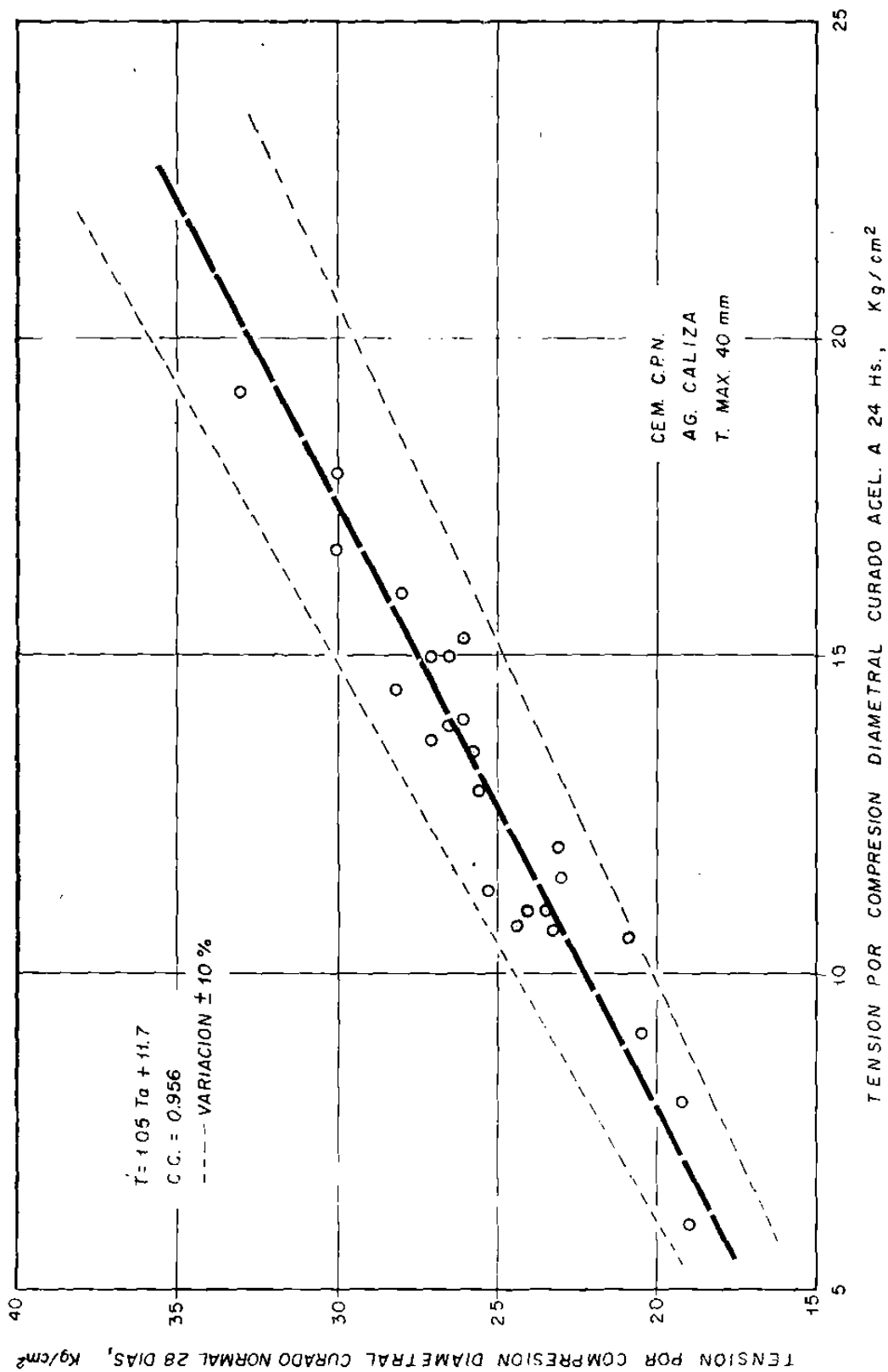


FIG. 8 RELACION ENTRE EL CURADO ACELERADO 24 Hs. Y EL NORMAL 28 DIAS PARA ESFUERZO DE TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL.



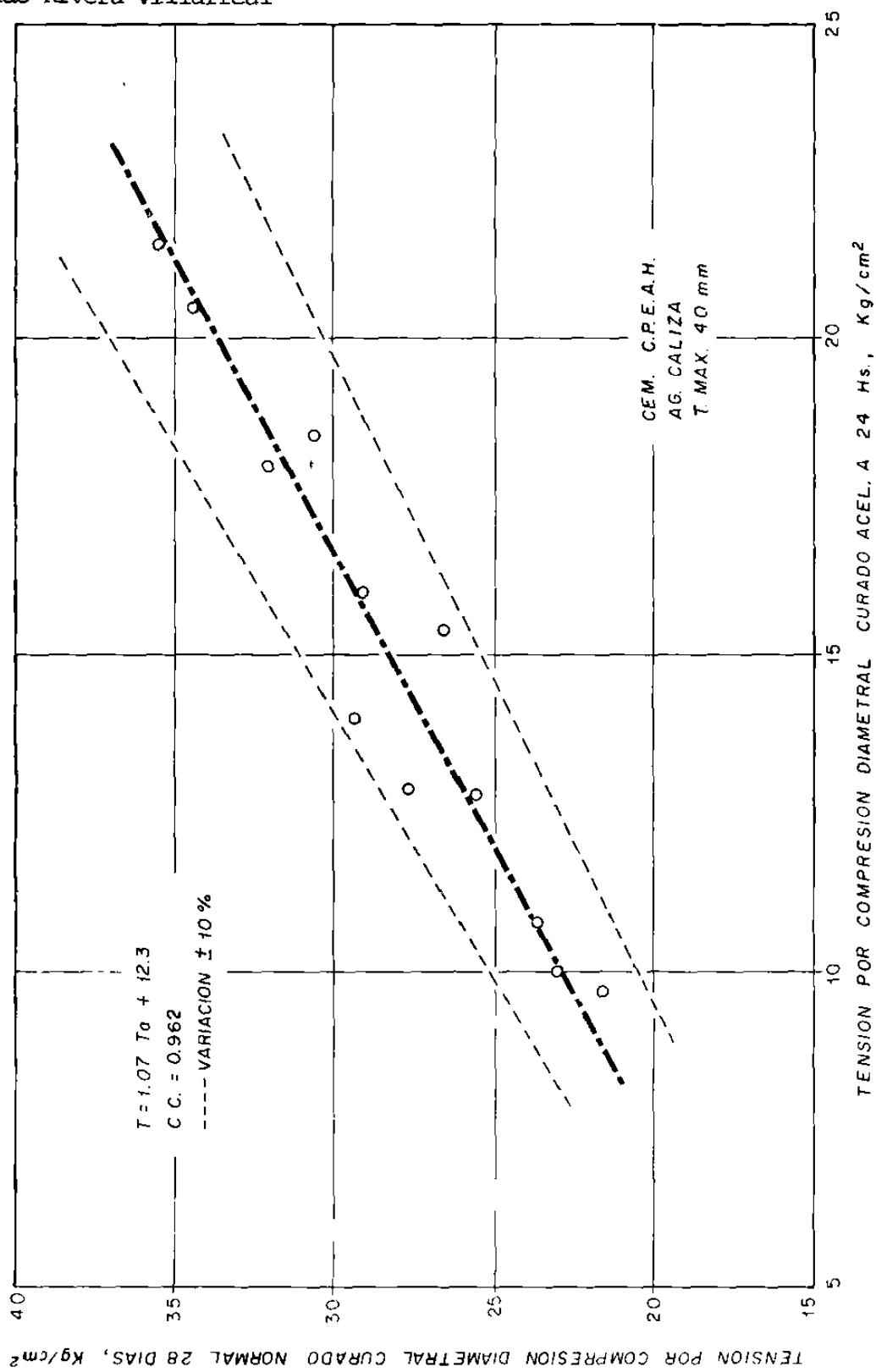


FIG. 9 RELACION ENTRE EL CURADO ACELERADO 24 Hs. Y EL NORMAL 28 DIAS PARA ESFUERZO DE TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL.

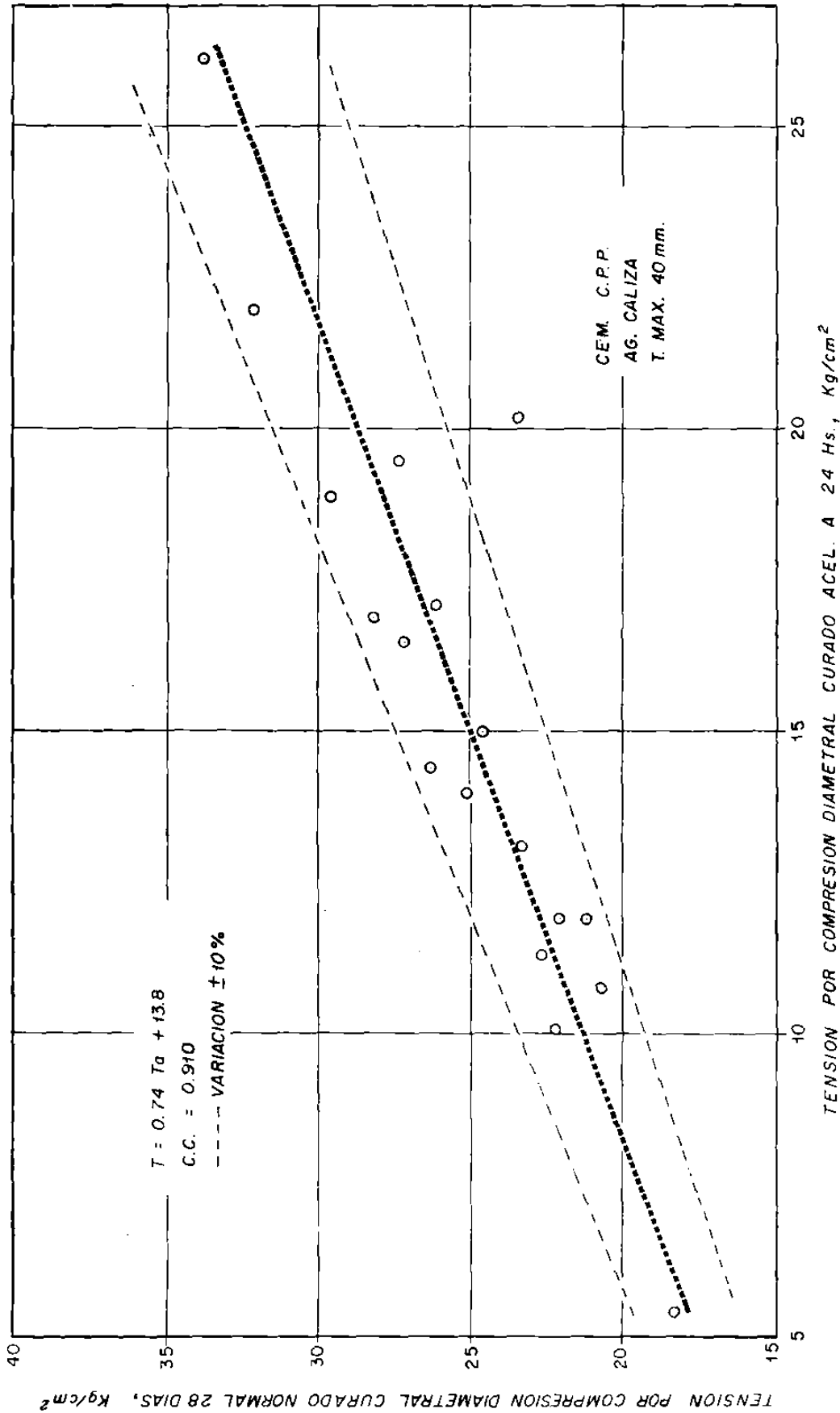


FIG.10 RELACION ENTRE EL CURADO ACELERADO A 24 Hs. Y EL NORMAL A 28 DIAS PARA ESFUERZO DE TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL.

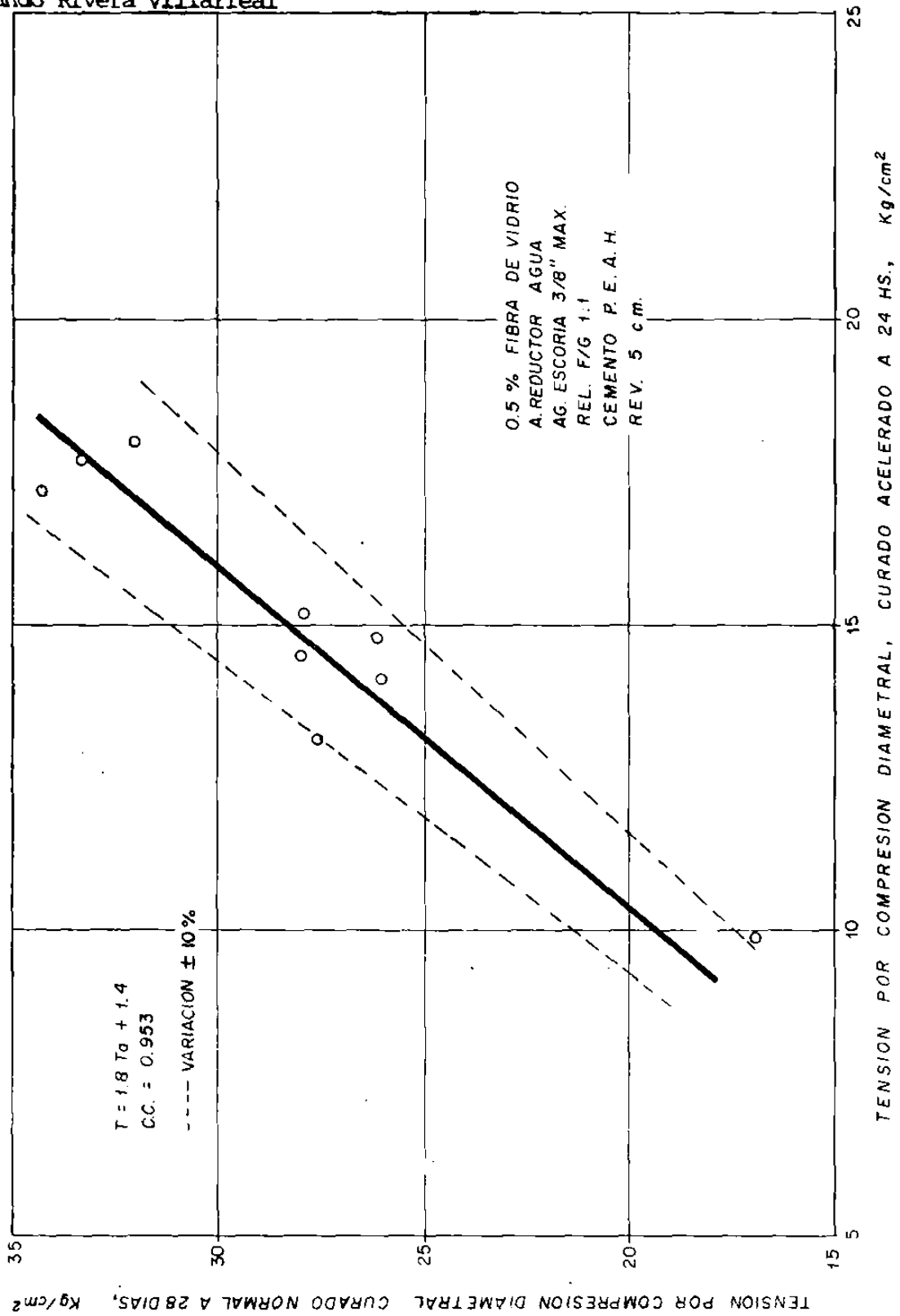


FIG. 11 RELACION ENTRE EL CURADO ACELERADO A 24 HS. Y EL NORMAL A 28 DIAS PARA ESFUERZO DE TENSION POR COMPRESION DIAMETRAL.

## Raymundo Rivera Villarreal

- 3a.- Correlación entre la tensión por compresión diametral ( $T_A$ ) a las 24 hrs., de especímenes curados en forma acelerada con el módulo de ruptura (M.R.) a los 28 días, de especímenes curados en forma normal. Las gráficas correspondientes aparecen en las figuras 12, 13, 14 y 15.

Un resumen de las tres ecuaciones de correlación para las cuatro series de ensayos, aparece en la Tabla No. 5.

### INVESTIGACION DE CAMPO.

Dado que los ensayos de laboratorio fueron prometedores, se planteó llevar a cabo una investigación para evaluar la confiabilidad con la que los ensayos acelerados de tensión por compresión diametral, podrían utilizarse en el campo para predecir los valores del módulo de ruptura a los 28 días y utilizarse para llevar un control y verificación de la calidad del concreto.

### Materiales utilizados.

El cemento fue el Portland de Escoria de Alto Horno Nom C-175 similar al tipo IS ASTM C-595-79. Como agregado grueso se usó escoria triturada de alto horno con un tamaño máximo de 40 mm. El agregado fino fue arena caliza triturada de cantera. El peso específico y la absorción de los agregados grueso y fino fue de 2.40 g/cm<sup>3</sup> y 4.5% y 2.63 g/cm<sup>3</sup> y 1.5% respectivamente, el módulo de finura del agregado fino dio un valor de 3.2. Además se utilizó en algunos casos un aditivo inclusor de aire.

### Determinación de la ecuación de correlación en el laboratorio.

Ya que no se disponía a nivel de laboratorio de una ecuación de correlación para las características de los materiales por utilizarse, se procedió a realizar los ensayos necesarios como fueron descritos previamente, se elaboraron siete revolturas en el laboratorio con distintas relaciones agua/cemento y en tres de ellas se utilizó un aditivo inclusor de aire. En la Figura 16 aparecen los resultados de los ensayos acelerados de tensión por compresión diametral ( $T_A$ ) contra el módulo de ruptura (MR) a los 28 días, la ecuación de regresión obtenida fue:  $MR = 1.6 T_A + 31.0$  con un coeficiente de correlación de 0.958.

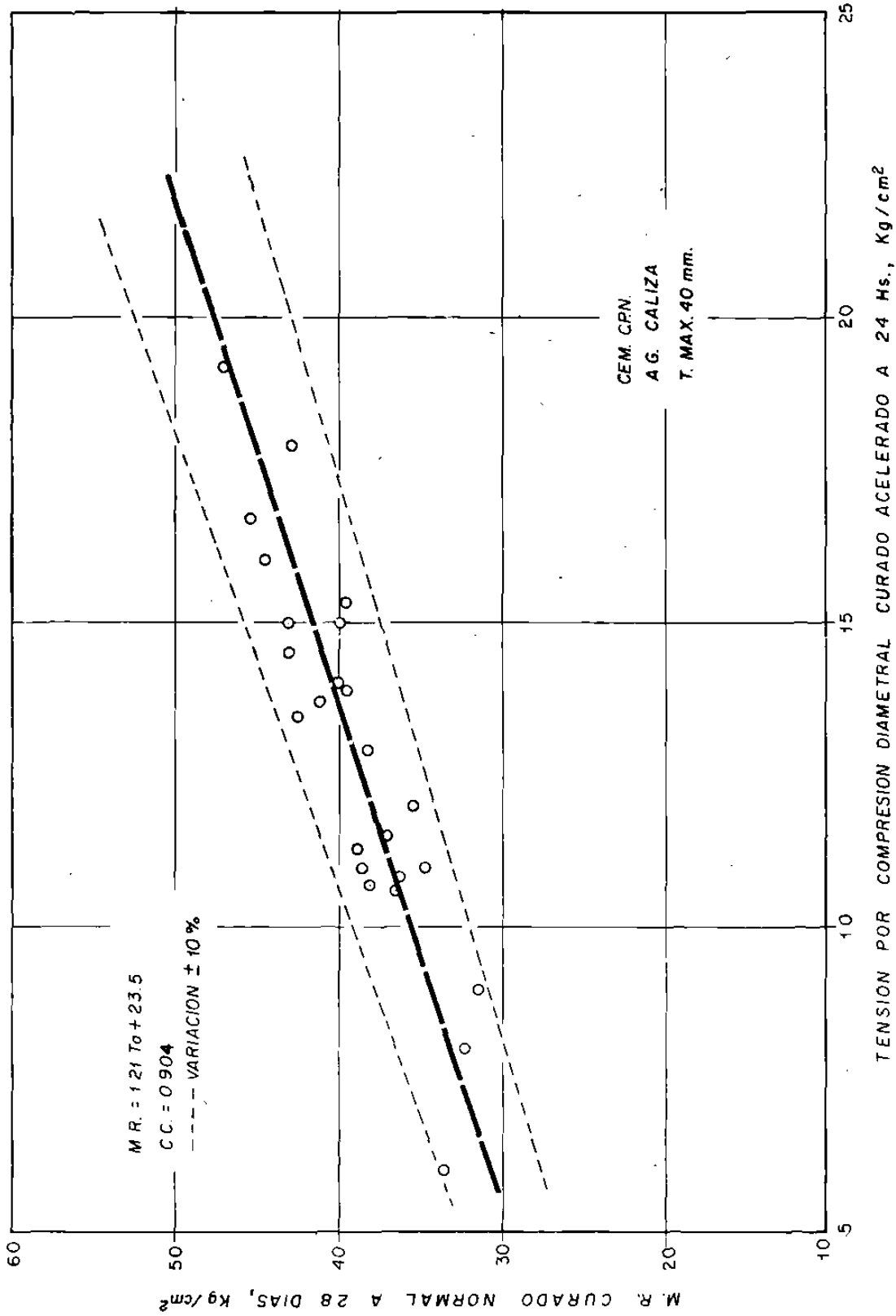


FIG. 12 RELACION ENTRE LA TENSION C.D. CURADO ACEL. 24 Hs. Y EL M.R. CURADO NORMAL A 28 DIAS

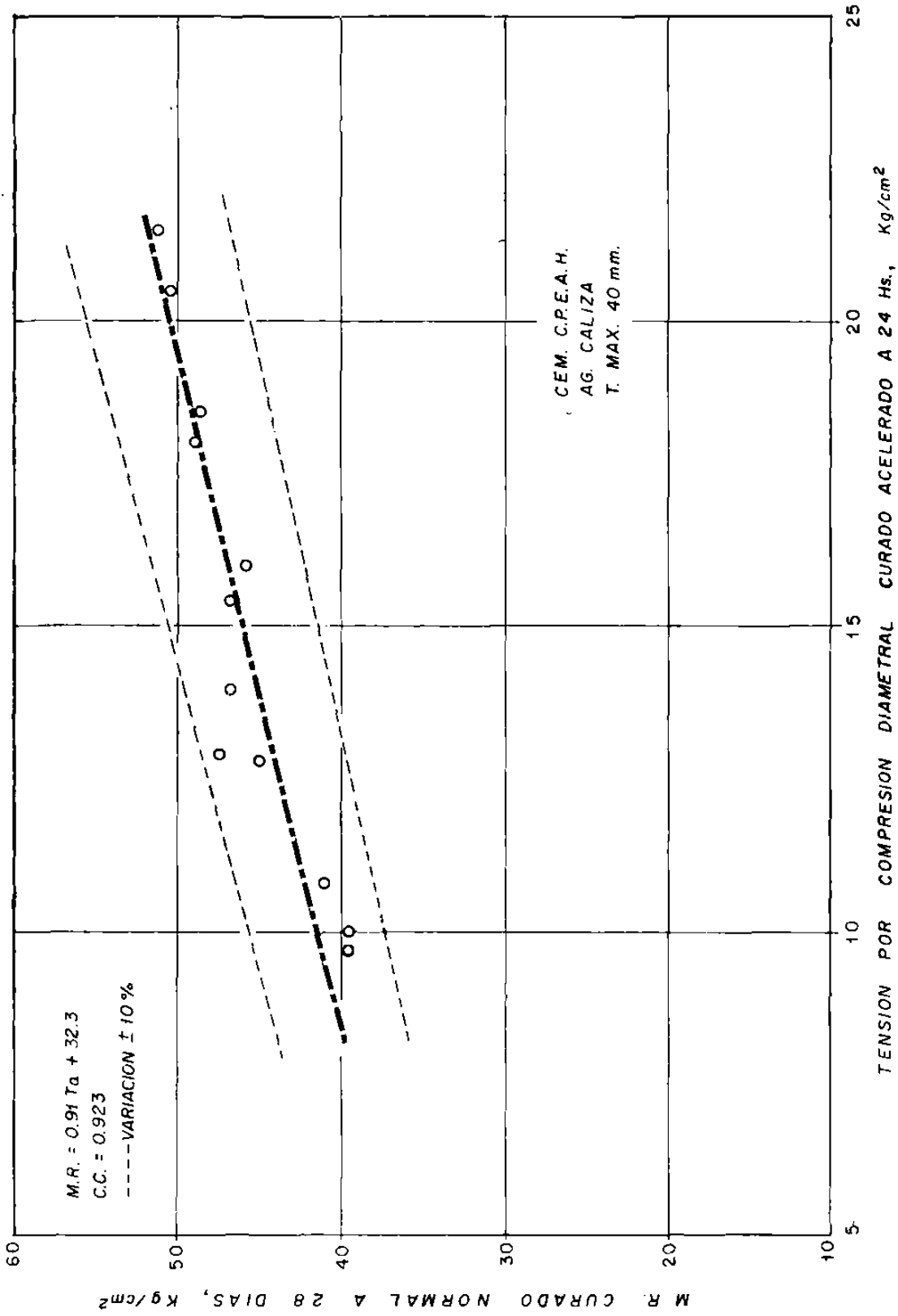


FIG.13 RELACION ENTRE LA TENSION C.D. CURADO ACEL.24 Hs. Y EL M.R. CURADO NORMAL 28 DIAS

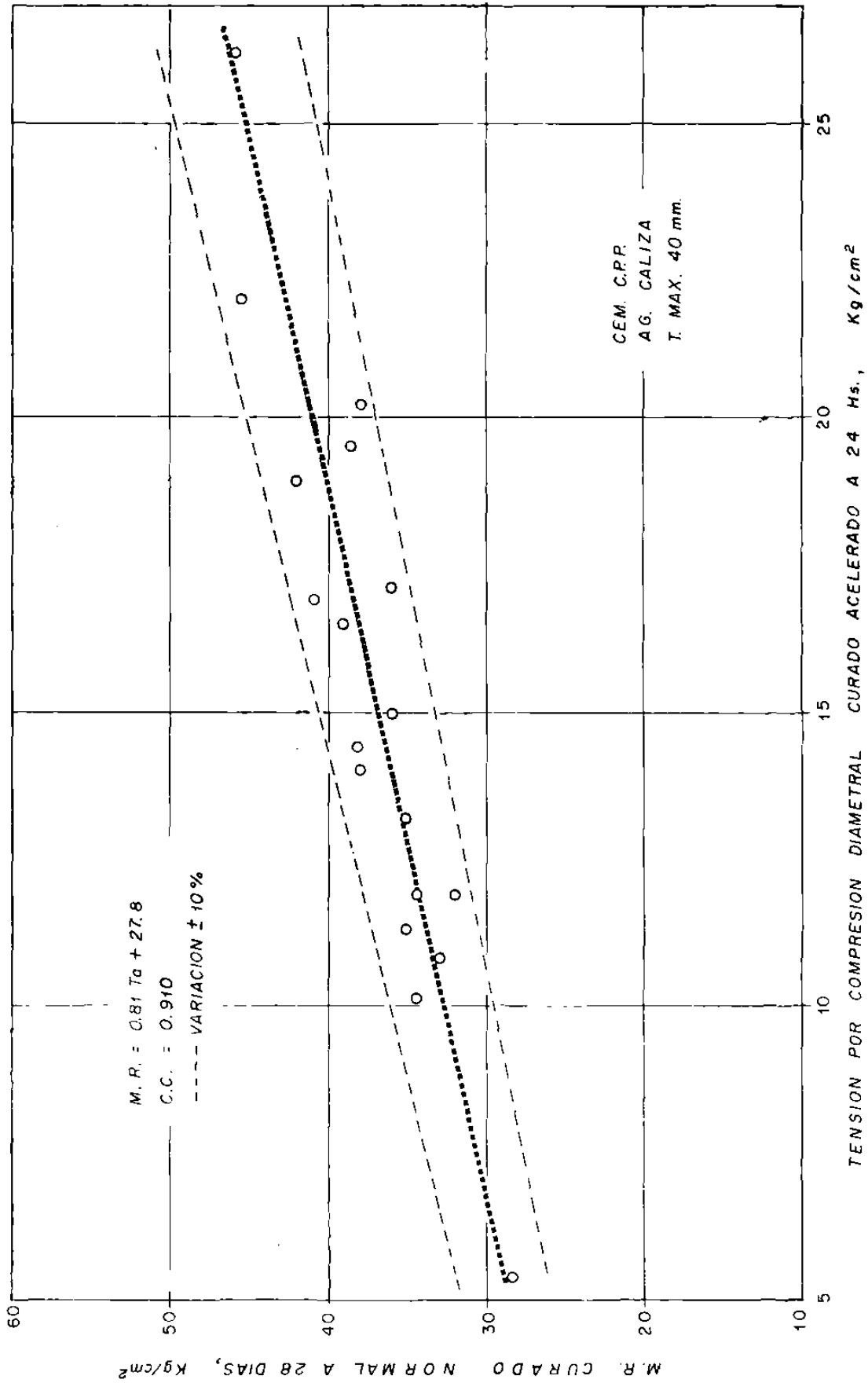


FIG. 14 RELACION ENTRE LA TENSION C.D. CURADO ACEL. 24 Hs. Y EL M.R. CURADO NORMAL A 28 DIAS

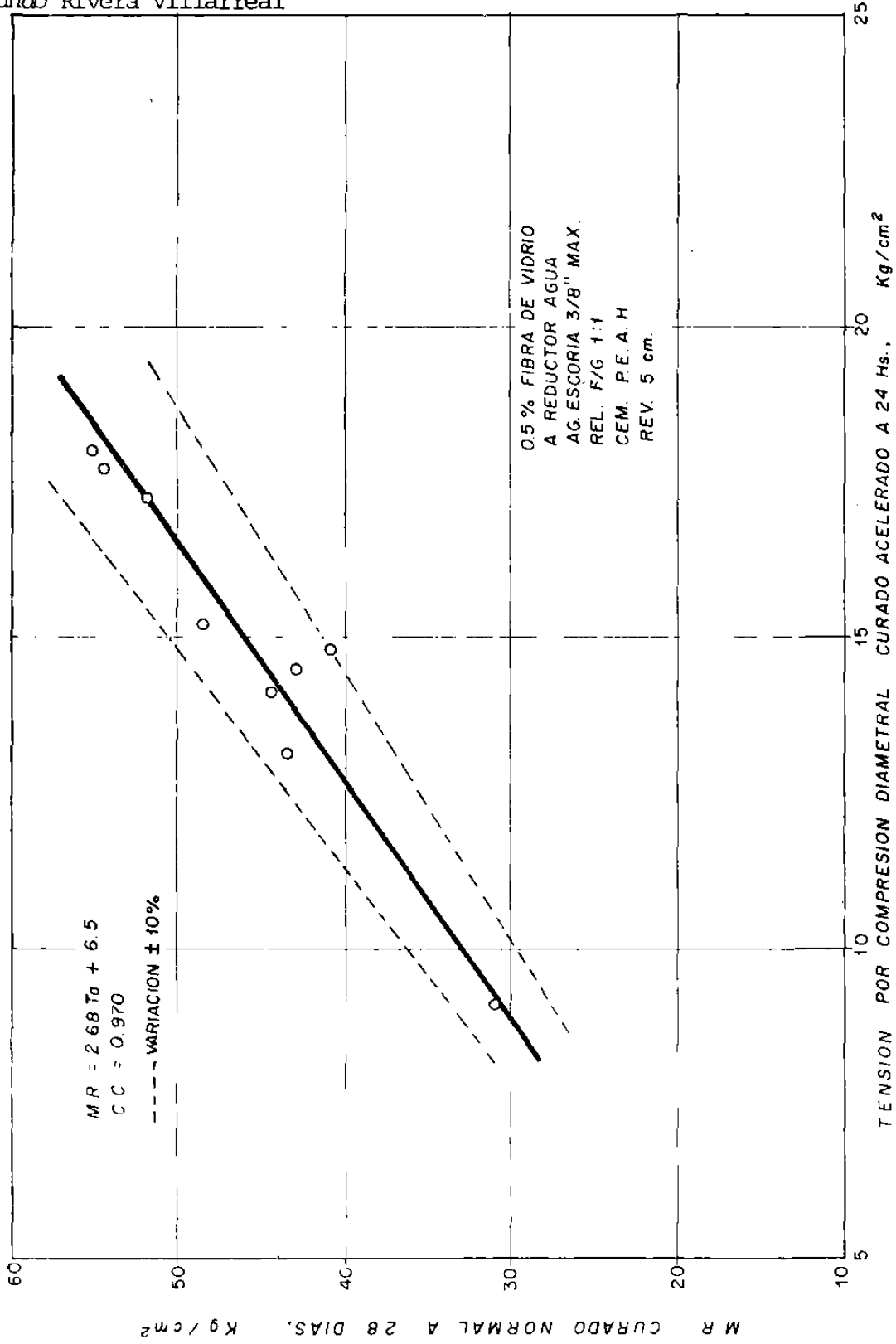


FIG.15 RELACION ENTRE LA TENSION C.D. CURADO ACEL. 24 Hs. Y EL M.R. CURADO NORMAL A 28 DIAS.



SERIE	TIPO DE CEMENTO	ECUACION DE CORRELACION kg/cm <sup>2</sup>	C.C.	FIGURA
1	PN	MR = 1.14 T + 10.4	0.932	4
2	PEAH	MR = 0.84 T + 22.3	0.942	5
3	PP	MR = 1.07 T + 10.3	0.970	6
4	PEAH	MR = 1.40 T + 7.0	0.943	7
1	PN	T = 1.05 Ta + 11.7	0.956	8
2	PEAH	T = 1.07 Ta + 12.3	0.962	9
3	PP	T = 0.74 Ta + 13.8	0.910	10
4	PEAH	T = 1.80 Ta + 1.4	0.955	11
1	PN	MR = 1.21 Ta + 23.5	0.904	12
2	PEAH	MR = 0.91 Ta + 32.3	0.923	13
3	PP	MR = 0.81 Ta + 27.8	0.910	14
4	PEAH	MR = 2.68 Ta + 6.5	0.970	15

Tabla No. 5.- Resumen de ecuaciones de correlación para las cuatro series de ensayos.

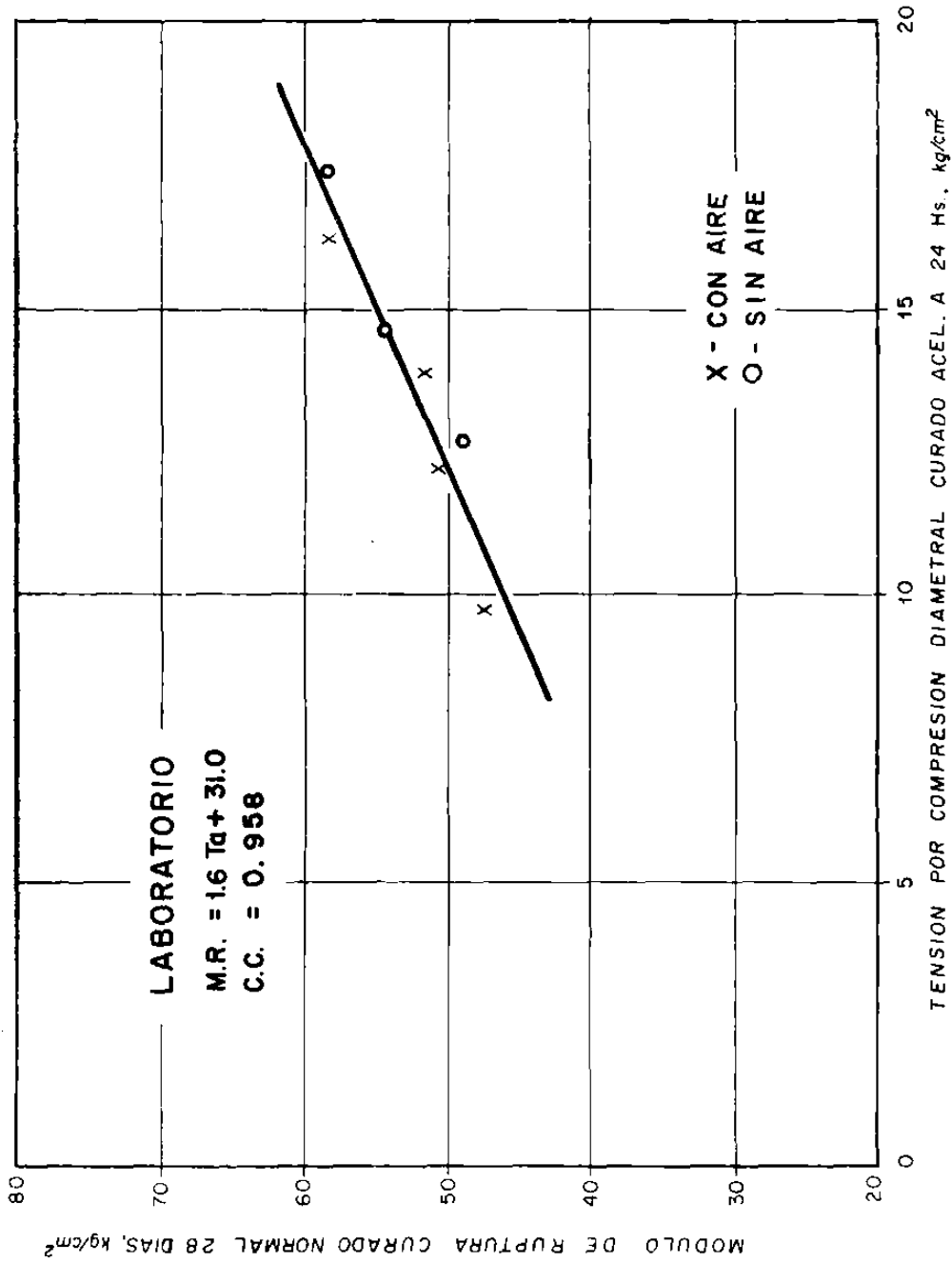


FIG.16 RELACION ENTRE LA TENSION C.D ACEL. A 24 Hs. Y EL M. R. NORMAL A 28 DIAS.

## Raymundo Rivera Villarreal

Resultado de los ensayos de muestras obtenidas en la obra.

La ecuación anterior se utilizó para llevar el control de la calidad de una obra de pavimentos de concreto en la ciudad de Monterrey, prediciendo el (MR) a partir de los ensayos acelerados de tensión por compresión diametral ( $T_a$ ).

Con la finalidad de analizar la variación de resultados y la ecuación de correlación de las muestras obtenidas en la obra, además de obtener especímenes para realizar el ensayo acelerado de tensión  $T_a$  para el control de la calidad, se obtuvieron especímenes compañeros para realizar el ensayo de flexión a los 28 días de edad y curando estos especímenes en condiciones normales. Los resultados de los ensayos anteriores aparecen en la Figura 17 en donde se puede apreciar la ecuación de correlación resultante de 32 muestras obtenidas en el campo y que resultó ser  $MR = 1.7 T_a + 29.4$  con un coeficiente de correlación igual a 0.602.

Análisis de los resultados de los ensayos.

En la Figura 17 se muestran tanto la ecuación utilizada para llevar el control de la calidad como la ecuación resultante de los ensayos de las muestras de campo y se puede observar una muy ligera diferencia.

El coeficiente de correlación resultó de 0.602 más bajo que el obtenido en el Laboratorio como era de esperarse. Sin embargo, con un control más estricto en las proporciones del concreto en la planta premezcladora, el grado de correlación puede mejorarse.

No obstante esté relativamente bajo coeficiente de correlación, -- los puntos de los datos de la gráfica, todos ellos quedan dentro de un  $\pm 15\%$  de variación, que en el control de producción, es considerado como un buen control de producción de concreto y aún puede mejorarse.

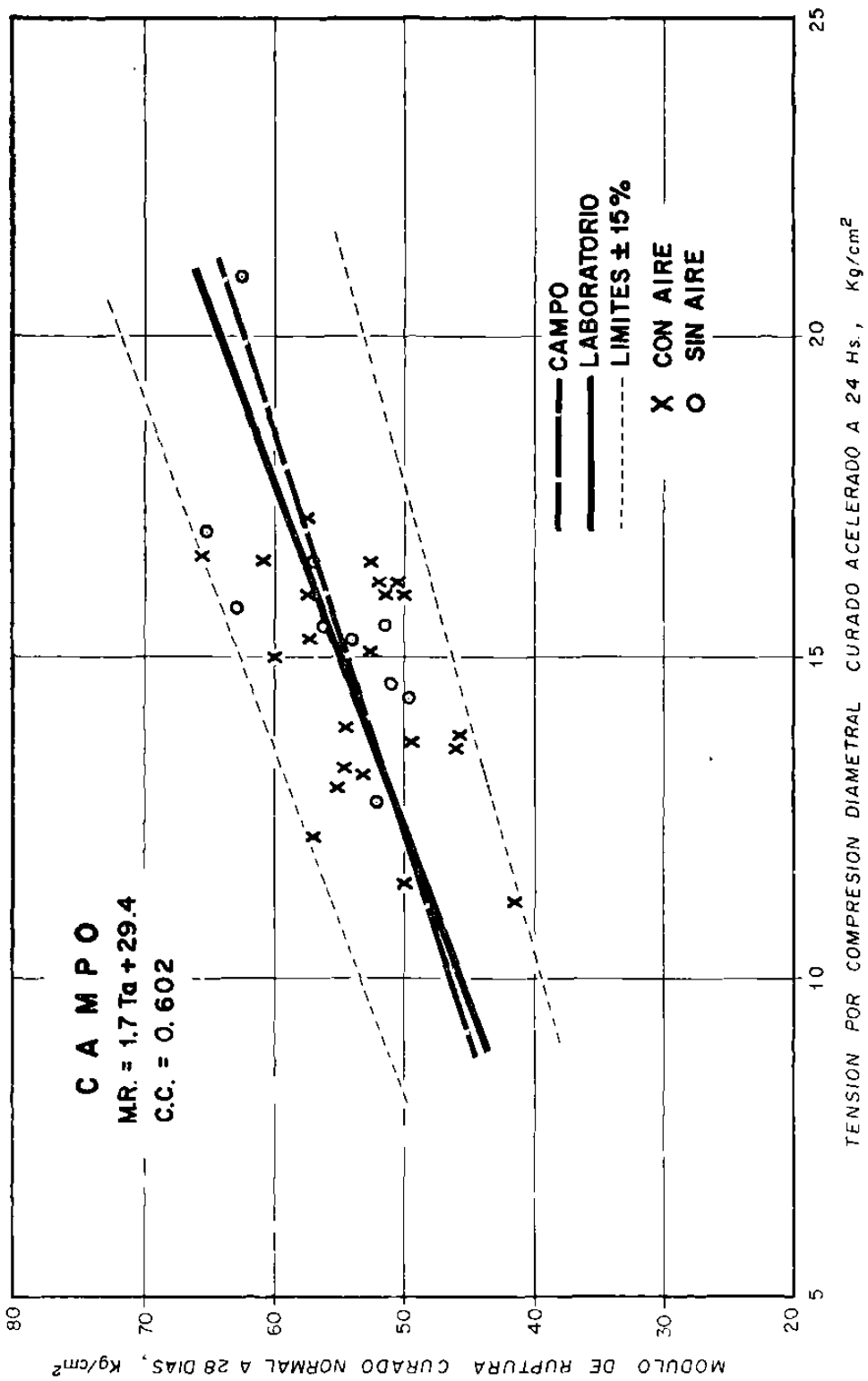


FIG.17 RELACION ENTRE LA TENSION C.D. ACEL. A 24 Hs. Y EL M.R. NORMAL A 28 DIAS.

CONCLUSIONES:

De las investigaciones realizadas en el laboratorio utilizando distintos tipos de cementos y agregados se puede concluir:

- a) .- Los coeficientes de correlación entre la tensión por compresión diametral (T) y el módulo de ruptura (MR) a los 28 días, en especímenes curados en condiciones normales, para los cuatro tipos de proporcionamientos varían de 0.932 a 0.970 y la dispersión de resultados prácticamente de  $\pm 5\%$ , la cual nos indica un alto grado de correlación y confiabilidad para utilizar estas ecuaciones.

Hay una amplia corriente de proposiciones tendiente a generalizar el uso del ensaye de tensión por compresión diametral, en el control y verificación de la calidad del concreto a flexión. En algunos países como Portugal, en las plantas de durmientes de concreto se está utilizando rutinariamente el ensaye a la tensión por compresión diametral para llevar el control de la calidad del concreto.

- b) .- Los coeficientes de correlación entre la tensión por compresión diametral acelerada ( $T_a$ ) y la tensión por compresión diametral (T) a los 28 días, en especímenes curados en condiciones normales para los cuatro tipos de proporcionamientos estudiados, variaron de 0.910 a 0.962 y la dispersión de resultados prácticamente son menores de un 10% lo cual nos indica que existe una muy buena correlación y que las ecuaciones son confiables para utilizarse para predecir valores de tensión por compresión diametral a 28 días.

- c) .- Los coeficientes de correlación entre la tensión por compresión diametral acelerada ( $T_a$ ) y el módulo de ruptura (MR) en especímenes curados en forma normal, para los proporcionamientos estudiados variaron de 0.910 a 0.970 y la dispersión de resultados fue menor de un 10% lo cual nos indica una muy buena correlación y que las ecuaciones son confiables para utilizarse para predecir el módulo de ruptura (MR) a los 28 días.

De los resultados de la investigación en el campo, se puede concluir que el ensaye acelerado de tensión por compresión diametral ofrece grandes posibilidades para predecir tanto la resistencia a la tensión por compresión diametral como el módulo de ruptura a los 28 días.

En las investigaciones se utilizó solamente un ensaye acelerado con ciclo de 24 horas. Se requiere investigación adicional para optimizar el ciclo de curado si se desea mejorar la precisión para la cual las resistencias a edades posteriores puedan predecirse.

Raymundo Rivera Villarreal

Durante las tres últimas décadas, ha crecido el interés en el uso de los ensayos acelerados de resistencia para llevar el control de la calidad del concreto. En varios países están trabajando comités de normalización para evaluar la eficiencia de tales ensayos.- Esto se está logrando por medio de simposios, intercambio de información entre los laboratorios de investigación y por relaciones entre comités Ad-Hoc. Se espera que en un futuro no muy lejano los comités de normalización de las diversas organizaciones nacionales e internacionales recomendarán el uso de los ensayos acelerados de resistencia, para reemplazar el ensayo de resistencia a 28 días, - que ya es obsoleto, como un criterio de control de la calidad del concreto.

#### RECONOCIMIENTOS

Los datos de los ensayos de laboratorio presentados, han sido el resultado de la acumulación de información obtenida durante varios años en la impartición de la clase de Tecnología de Concreto y Laboratorio que forma parte del plan de estudios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en donde uno de los temas es la realización de ensayos acelerados de tensión, mi agradecimiento sincero a mis alumnos y auxiliares que contribuyeron a la fabricación y ensayo de los especímenes.

REFERENCIAS

- 1.- Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-77).
- 2.- "Recommended Practice for Evaluation of Compression Test Results of Field Concrete" Publicación del American Concrete Institute (ACI 214-77).
- 3.- Standard Method of Making, Accelerated Curing and Testing of Concrete Compression Test Specimens. ASTM Designation: C 684-74 Part 14 pp. 409-416 (1977).
- 4.- Raymundo Rivera Villarreal, "Accelerated Splitting-Tension Test for Determining Potential 28-Day Splitting-Tensile Strength and Modulus of Rupture of Concrete". Bulletin No. 558 of Transportation Research Record. pp. 114-120 National Science Foundation U.S.A. publicado por el Transportation Research Board, del National Research Council U.S.A.(1975).
- 5.- V.M. Malhotra, N.G. Zoldners; "Some Field Experience in the Use of an Accelerated Test Method for Strength Determination of Concrete". Journal of the American Concrete Institute (ACI) Proceedings, V. 66 No. 11, p. 894 (Nov. 1969).
- 6.- V. M. Malhotra and Nikolai G. Zoldners. Discussion "Some Field Experience in the use of an Accelerated Method of Estimating 28 day Strength of Concrete", Journal of the American Concrete Institute (ACI) Proceedings V. 67 No. 5 pp. 424-434 (Mayo 1970).
- 7.- V. M. Malhotra, N.G. Zoldners, and R. Lapinas, "Accelerated Test for Determining the 28 Day Compressive Strength of Concrete", Transactions of the Engineering Institute of Canada, paper No. E.I.C. 64 CIV 10, Vol. 8 No. A-14.
- 8.- V. M. Malhotra "Pasado, Presente y Futuro de los ensayos acelerados de resistencia del concreto" Libro, Avances en Tecnología de Concreto. Facultad de Ingeniería Civil, UANL (Abril 1969).
- 9.- Raymundo Rivera V. "Control de Calidad del Concreto mediante el ensayo de especímenes curados en forma acelerada" Primer Seminario sobre Diseño y Control de Calidad de Pavimentos Urbanos. Universidad de Nuevo León, Monterrey, México (Nov. 1971).
- 10.- Standard Specification for Portland Cement. ASTM Designation C-150-77. 1977 Annual Book of ASTM Standards Part 14 pp. 101-107.

- 11.- Standard Method of Making and Curing Compression and Flexure Test Specimen in the Field, ASTM Designation C 31-69 (Reapproved 1975) Annual Book of ASTM Standards, Part 14 pp. 8-13.
- 12.- J. Alexanderson. "Physical Effects of Heat Curing of Concrete" (Suecia) Rapport, VII International Congress of the Precast Concrete Industry BIBM-72.
- 13.- Z. Franjetic "The Accelerated Hardening of Concrete" (Suecia) Rapport, VII International Congress of the Precast Concrete Industry BIBM-72.
- 14.- Recommended Practice for Design of Concrete Pavements (ACI 325-58) ACI Journal, Proceedings V. 30 No. 1 (Jul. 1958).
- 15.- Manual para Proyecto y Construcción de Pavimentos Rígidos para Calles. SOP, México 1967.
- 16.- "Standard Method of Test for Flexural Strength of Concretes Using Simple Beam with Third-Point Loading", ASTM Designation C-78-75, ASTM Book of Standards, Parte 14, pp. 38-40.
- 17.- V.M. Malhotra, Information Circular IC 191. "Problems Associated with determining the Tensile Strength of Concrete". Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada.
- 18.- D. J. McNeely y S.D. Lash, "Tensile Strength of Concrete". Journal ACI Proceedings V. 60, No. 6 pp. 751-761 (Junio 1963).
- 19.- Leslie L. Simon, "The use of Indirect Tensile Test for Quality Control of Pavement Concrete" Constructional Review (Australia) V. 29 No. 8 pp. 23-29 (Ago. 1956).
- 20.- Israel Narrow and Erik Ullberg. "Correlation Between Tensile Splitting and Flexural Strength of Concrete" Journal of the American Concrete Institute Proceedings Vol. 60 No. 1 pp. 27-37 (Ene. 1963).
- 21.- F.L. Carneiro and A. Barcellos, "Tensile Strength of Concretes" RILEM Bulletin No. 13 pp. 99-125 (Mar. 1953).
- 22.- T. Akazawa, "Tension Test Method for Concretes", RILEM Bulletin No. 16 pp. 13-23 (Nov. 1953).
- 24.- "Standard Method of Test for Splitting Tensile Strength of Moulded Concrete Cylinders" ASTM Designation C-496-71, Annual Book of ASTM Standards, Part. 14, pp. 313-317.



Raymundo Rivera Villarreal

- 25.- Israel Narrow and Erik Ullberg. Discussion, "Correlation Between Tensile Splitting Strength and Flexural Strength of Concrete" Journal of the American Concrete Institute Proceedings Vol. 60 No. 9 p. 1277 (Sep. 1963).
- 26.- P.V. Wright, "The Effect of the Method of Test on the Flexural Strength of Concrete" Magazine of Concrete Research Londres V. 4 p. 67 (Oct. 1952).
- 27.- Rusch, H. and Vigerlust G. Discussion, "Tensile Splitting Test and High Cylinders", Journal of the American Concrete Institute Proceedings V. 54 No. 6 Parte 2, p. 1319 (Dic. 1957).
- 28.- Ali, Iqbal, and A. B. Lingam, "A General Theory for Flexural Strength of Concrete and Mortars", Cement and Concrete (Nueva Deli) Sept. 1963.
- 29.- Fernando de J. Gómez J. "Efecto de la relación ancho peralte de cilindros de control en la resistencia a la tensión del concreto". Revista IMCYC Vol. 4 No. 24 pp. 46-59 (Ene-Feb 1967).
- 30.- Fernando de J. Gómez J. "Efecto de la relación ancho peralte de cilindros de control en la resistencia a la tensión del concreto". (continuación). Revista IMCYC Vol. 5 No. 25 pp. 49-59.
- 31.- F. Arredi, C. Pandolfi y A. Palmieri, "Ricerche Sperimentali tra le Resistenze a Flessione ea Trazione del Calcestruzzi", L' Energia Elettrica (Roma) V. 31 No. 2 1954.
- 32.- Wen F. Chang and R. Harlan Wright. Discussion of "Correlation Between Tensile Splitting Strength and Flexural Strength of Concrete", Journal of the American Concrete Institute Proceedings V. 60 No. 9 pp. 1264-1266 (Sep. 1963).
- 33.- We Grieb and George Werner. "Comparison of Tensile Splitting Strength of Concrete with Flexural and Compressive Strengths", Public Roads V. 32 No. 5 p. 97 (Dic. 1962).

