

08T(426)C
MFN: 1021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil



"ESTUDIO SOBRE LA DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO
A 28 DIAS; CON BASE EN LA RESISTENCIA DE PROBETAS SOMETIDAS A
CURADO AUTOGENO POR 48 HORAS, DESPUES DE HECHAS"

T E S I S

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR:

LUIS ALFREDO ALVAREZ VALENCIA

AL CONFERIRSELE EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

Febrero de 1977

TESIS DE REFERENCIA
NO
SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano	Ing. Raúl Molina Mejía
Vocal Primero	Ing. Julio Campos B.
Vocal Segundo	Ing. Roberto Barrios
Vocal Tercero	Ing. Leonel Aguilar
Vocal Cuarto	Br. Jorge Guzmán B.
Vocal Quinto	Br. Alejandro Bergenza
Secretario	Ing. Carlos Cabrera G.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

Decano	Ing. Hugo Quan Ma
Examinador	Ing. Víctor Manuel Molina
Examinador	Ing. Edgar Monroy Lam
Examinador	Ing. Axel Pellecer Meza
Secretario	Ing. Manuel Ángel Castillo G.

DEDICATORIA

A mi madre

Aida Valencia de Alvarez

A mi esposa

Gina E. Johnston de Alvarez

A mi hijo

Carlos Alfredo Alvarez Johnston

AGRADECIMIENTO

A todas aquellas personas que en una u otra forma contribuyeron a la realización del presente trabajo de Tesis, y en especial al Ing. Anibal Rodas Mazariegos, asesor del mismo.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con lo establecido por la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración mi trabajo de Tesis, titulado:

"ESTUDIO SOBRE LA DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO
A 28 DIAS; CON BASE EN LA RESISTENCIA DE PROBETAS SOMETIDAS A
CURADO AUTOGENO POR 48 HORAS, DESPUES DE HECHAS"

tema que me fuera asignado por la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería.

I N D I C E

1. Introducción
2. Objetivos
3. Descripción del Método de Curado Autógeno y determinación de los recipientes de curado
4. Ensayos realizados
 - 4.1 Descripción
 - 4.2 Equipo
 - 4.3 Resultados
5. Análisis
 - 5.1 Análisis estadístico del Método de Curado Autógeno
 - 5.2 Análisis de los resultados
6. Conclusiones
7. Recomendaciones
8. Bibliografía

1. INTRODUCCION

La supervisión aplicada a la construcción debe ser activa, dinámica, ya que debe examinar e investigar todas las actividades en una obra y obtener información rápida y acertada de cualquiera de ellas, para establecer medidas de corrección adecuadas.

Para la supervisión del concreto es de vital importancia la obtención de resultados rápidos y seguros en las pruebas de la resistencia del mismo, y el presente estudio de tesis se realiza con la intención de ver la factibilidad de emplear en Guatemala un método ya utilizado en otros países.

Este método ha sido ensayado en otros países con resultados satisfactorios y en Guatemala se están llevando estudios de tipo experimental, para obtener información sobre su validez, de acuerdo a las condiciones de trabajo, ambientales, etc. de nuestro medio.

El método en mención, está clasificado en la especificación ASTM C-684-74, juntamente con otros dos métodos, para la determinación de resultados rápidos en la resistencia del concreto.

Estudios anteriores realizados en nuestro país, señalan resultados satisfactorios en cuanto al uso de uno de los métodos señalados en la especificación ASTM C-684-74, siendo este el llamado: "Método del Agua Hirviente", ya que de la experimentación se ha dado un paso hacia la aplicación práctica.

En cuanto al método, motivo del presente estudio recibe el nombre de: "Método del Curado Autógeno" del concreto, que consiste en utilizar el propio calor de hidratación del cemento como un medio para acelerar el curado, empleando para ello recipientes adecuados para lograr este propósito.

Para obtener el incremento del fraguado y endurecimiento inicial se debe establecer que la resistencia del concreto tiene varias etapas, que dependen de varios factores, siendo uno de los más importantes: su edad. Hablando del curado normal; este se inicia por una etapa de resistencia nula, cuando se inicia la reacción del agua con el cemento, efectuándose un fenómeno físico-químico, que se manifiesta por la liberación de calor y por la absorción de agua en el núcleo del cemento.

La segunda etapa es cuando el concreto adquiere resistencia, aunque no muy alta, es la etapa del fraguado inicial, señalándose ésta, como un período de endurecimiento paulatino.

Y por último tenemos la etapa de mayor duración, y que en condiciones favorables puede decirse que es para toda la vida, en la cual el concreto sigue aumentando su resistencia.

El endurecimiento, en general, del concreto es obtenido a través de la reacción que se verifica entre los componentes del cemento y el agua, o en otras palabras de la hidratación progresiva del cemento.

Un buen concreto, debe tener la resistencia suficiente para

soportar las cargas a que está expuesto, soportar las condiciones de exposición y ser producido a un costo económico aceptable.

El cuidado del concreto, dentro de los primeros días de su fabricación, es el principal detalle para obtener las características de un buen concreto.

Este cuidado recibe el nombre de "Curado", y debe realizarse en condiciones óptimas de tiempo, humedad y temperatura.

Se señaló anteriormente, el fenómeno de fraguado y endurecimiento como una hidratación progresiva de las partículas del cemento y el agua que penetra entre ellas define el principio y fin del fraguado y del endurecimiento.

Por tanto, un incremento en las condiciones normales, en este caso, un incremento en la temperatura tiene su efecto en la resistencia del concreto, aumentando la velocidad de hidratación. En efecto, el aumento de la temperatura de curado, proporciona una hidratación más rápida y una resistencia que crece más de prisa, esto es lo que se logra al utilizar el presente método.

2. OBJETIVOS

El objetivo primordial del presente estudio es lograr la predicción de resultados de resistencia del concreto a 28 días con base en la resistencia de probetas sometidas a Curado Autógeno durante 48 horas, utilizando para ello gráficas de correlación.

Entre las finalidades adicionales que se persiguieron están:

- A) Presentar un método sencillo que pueda ser fácilmente interpretado en obra y cuyo equipo sea de fácil fabricación y utilización en la misma.
- B) Que los resultados obtenidos sean confiables, ya que de ellos dependerá el rediseño y ajuste de las mezclas que se estén utilizando.

3. DESCRIPCION DEL METODO DE CURADO AUTOGENO Y DETERMINACION DE LOS RECIPIENTES DE CURADO

El método de Curado Autógeno se basa en el endurecimiento acelerado del concreto, utilizando como medio el propio calor que genera la hidratación inicial del cemento.

Según las normas de la ASTM el procedimiento es el siguiente:

APARATOS: Todo el equipo y herramientas necesarias para el moldeo de probetas, medida del slump o asentamiento, medida del peso específico, medida del contenido de aire, según los requisitos del Método ASTM C31.

MOLDES: Los moldes deben cumplir las especificaciones del Método ASTM C31 y en ningún caso podrán ser de cartón.

Cuando las probetas se prueben sin cabeceado, los moldes deberán tener placas de metal aseguradas al molde. Estas placas deben dar a la probeta la superficie plana y la perpendicularidad que cumpla las especificaciones.

RECIPIENTE: El recipiente de Curado Autógeno debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- a) Aislamiento térmico lo más cerca posible rodeando la probeta, el cual se puede proteger con recubrimiento tanto interior como exterior.

- b) Una tapadera con empaque que permita el ingreso de las probetas,
- c) Un termómetro que registre la temperatura mínima y máxima de la probeta durante el curado,
- d) Volumen suficientemente grande para contener uno o dos cilindros,

EFICIENCIA DEL RECIPIENTE DE CURADO

El recipiente de curado debe ser sometido a varias pruebas para determinar la eficiencia del mismo, la ASTM recomienda las siguientes:

RETENCIÓN DE CALOR: Es para determinar la eficiencia del aislante térmico.

Se hace llenando el recipiente con agua a determinada temperatura y midiendo las pérdidas durante lapsos determinados de tiempo, luego se comparan con las especificaciones de las normas.

PRUEBA DE SELLO PARA EL EMPAQUE: Esta prueba se efectúa sumergiendo el recipiente en agua por cinco minutos, durante este periodo de tiempo ninguna burbuja de aire debe escapar por la unión entre la tapadera y la caja del recipiente.

SOLIDEZ DEL RECIPIENTE: Cuando el recipiente se somete a una temperatura de -29° C durante 72 horas, no deberá mostrar señales de deformación, rajaduras o que se ponga quebradizo. Y cuando se

someta a una temperatura de 60° C durante 72 horas, no deberá mostrar señales de ablandamiento o deformación. El empaque deberá recobrar su forma original inmediatamente despues de someterlo a las temperaturas anteriores.

PREPARACION DE LAS PROBETAS DE PRUEBA

Las muestras de concreto se deben tomar de acuerdo a los procedimientos del método ASTM C172.

Las probetas según el método C31 deben ser cilindros de 15.2 X 30.5 cms. (6 X 12 pulgadas). Las probetas se deben llenar en tres capas de igual volumen; cada capa se debe apisonar con 25 golpes de la varilla, distribuidos en toda la sección del molde. Cuando se apisonen la segunda y la tercera capa, la varilla debe penetrar la capa inferior por lo menos 1.2 cm. ($\frac{1}{2}$ pulgada).

Al finalizar el apisonado, los lados del molde se deben golpear para cerrar los agujeros dejados por la varilla y para sacar el aire atrapado.

CURADO

Al terminar el moldeo se deben de cubrir las probetas con una plancha de metal o con una tapadera bien ajustada. Las mismas deben ser encerradas en bolsas plásticas que sean bastante fuertes, para que no se rompan al meter o sacar las probetas del recipiente de curado. Antes de anudar las bolsas se debe sacar todo el aire.

Una vez colocadas las probetas se debe cerrar bien el recipiente de curado y activar el termómetro de máximo y mínimo.

Se anota entonces el tiempo de moldeo y la temperatura del concreto fresco de donde se tomaron las muestras para hacer las probetas.

Durante las primeras 12 horas después de haber moldeado las probetas el recipiente de curado no se debe mover, tocar o someter a vibraciones o sacudidas, asimismo se debe guardar a la sombra y preferiblemente a una temperatura de 21 ± 60 C.

A la edad de 48 horas \pm 15 minutos se deben sacar las probetas del recipiente de curado. Se les quitan los moldes y se dejan enfriar a la temperatura ambiente por 30 minutos.

Se anotan las temperaturas máxima y mínima registradas por el termómetro. Una comparación con la temperatura del concreto fresco puede indicar si el curado ha sido normal, o si fue interrumpido antes de lo establecido, con lo cual se podrían obtener altas o bajas resistencias.

CABECEADO Y PRUEBA

Si el procedimiento empleado para el cabeceo es una mezcla de azufre se deben dejar los cilindros por lo menos 30 minutos para que la capa desarrolle una resistencia por lo menos igual o mayor que la del concreto de la probeta.

Se deben probar las probetas de acuerdo a los procedimientos del

método ASTM C39 a una edad de 49 horas \pm 15 minutos.

METODO UTILIZADO

Se trató de seguir las especificaciones de la ASTM para el método de Curado Autógeno detalladas anteriormente, aunque se introdujeron algunas variantes para tratar de simplificar el método y en algunos casos por carecer del equipo especificado.

Entre las variantes más importantes podemos mencionar que se utilizaron tres tipos distintos de recipientes, para poder establecer cuál de ellos trabajaba en mejor forma, todos ellos de fácil construcción, y en los cuales no se pudo realizar todas las pruebas de acuerdo con las normas, únicamente se realizó la prueba de retención de calor.

No se utilizó el termómetro de máximos y mínimos.

En todos los demás aspectos se cumplió con lo establecido en las especificaciones de la ASTM.

DETERMINACION DEL RECIPIENTE DE CURADO

Los tres distintos tipos de recipientes utilizados, según lo mencionado anteriormente, fueron los siguientes:

A) Recipiente tipo I

Consiste en una caja de estructura metálica, forrada con lámina de 3/16" de espesor cuyas dimensiones son:

0,90 X 0,44 X 0,55 m., con capacidad para dos probetas. Dentro de la caja se colocaron dos tubos de asbesto cemento de 25 cms. de diámetro y 1,25 cm. de espesor, en cuyo interior se colocan las probetas. Estos tubos se encuentran aislados de las paredes del recipiente por medio de duropor de 5 cms. de espesor y separados entre sí, 20 cms, por material aislante.

Luego de colocadas las probetas se cubren con una plancha de duropor y sobre ella se coloca la tapadera del recipiente que cierra por medio de 6 tornillos.

B) Recipiente tipo II

Consiste en una caja cuya estructura es de madera y está forrada con tablex de 2,5 cms. de espesor, sus dimensiones son: 0,50 X 0,50 X 0,56 m., con capacidad para una probeta.

En su interior se encuentra forrada con duropor de 5 cms. de espesor. Dentro de esta caja se colocó un recipiente de duropor de 3 cms. de espesor, con 30 cms. de diámetro y con una tapadera que cierra herméticamente.

Luego de colocada la probeta en el recipiente de duropor, se cierra éste, y encima se le pone además una tapadera de madera que cierra la caja.

C) Recipiente tipo III

Se utilizaron 3 cilindros de lámina de 3/16" de espesor, con 35 cms. de diámetro y 66 cms. de altura, con una capacidad de una probeta cada uno. En el interior de cada uno de estos cilindros se colocaron recipientes de duropor iguales a los usados en la caja de madera.

Luego de colocadas las probetas en los recipientes de duropor se procedió en la misma forma que para la caja de madera.

NOTA: En los tres tipos de recipiente se empleó algodón como aislante entre las probetas y el recipiente que las contenía.

4. ENSAYOS REALIZADOS

4.1 DESCRIPCION

Las pruebas realizadas se efectuaron sobre tres clases de mezclas distintas, siendo ellas las detalladas en la tabla siguiente:

TABLA No. 1

Tipo de Mezcla Sac/m ³	Mezcla Kg/m ³	Proporción por peso	Relación Agua/Cem	Asentamiento Pulgadas	Densidad Kg/m ³
7	298	1:2.94:3.12	0.62	3.75 - 4.25	2290
8	341	1:2.28:2.90	0.58	3.75 - 4.25	2300
9	383	1:1.88:2.60	0.55	3.75 - 4.25	2310

Sobre estos tipos de mezcla se hicieron dos masadas cada 48 horas, realizándose 36 masadas, para un total de 150 cilindros.

Para establecer una comparación entre el curado acelerado y el curado normal a 28 días, de cada masada se ponían unos cilindros en los recipientes de Curado Autógeno, mientras que otros se dejaban que cumplieran sus 28 días de curado normal.

En las mezclas de concreto se utilizaron los siguientes materiales:

Cemento Portland

Cemento Portland tipo I de Cementos Novella.

Agregados

Arena de río y grava triturada de 3/4" de "Arena y Grava" (Villa Nueva). Cumplen con normas ASTM C33.

4.2 EQUIPO

Para la realización de las pruebas se utilizó el equipo de laboratorio de la Facultad de Ingeniería, detallado a continuación:

A) Preparación de la mezcla:

- Balanza para el peso de los materiales
- Mezcladora de concreto motorizada
- Equipo de Moldeo: cucharones y cucharas según norma ASTM C172
- Equipos de control de mezclas: para pruebas de asentamiento y peso unitario, balanzas, recipiente de peso unitario según normas ASTM C143 y ASTM C173

- B) Hechura de probetas:
- Moldes de plástico, 15.2 X 30.5 cm. (6 X 12 pulgadas)
- C) Ensayos de Curado Autógeno:
- Recipientes de Curado Autógeno
- D) Ensayo de las probetas a compresión:
- Equipo de nivelación o cabeceo; según norma ASTM C31
- Máquina de prueba marca RIELHLE de 300,000 libras de capacidad, según norma ASTM C39.

4.3 RESULTADOS

Los resultados obtenidos en las pruebas de compresión de los cilindros tratados a Curado Autógeno, y de los tratados a curado normal se encuentran tabulados en las tablas Nos. 2, 3 y 4.

En las mencionadas tablas se clasificaron los resultados de acuerdo a las mezclas de diseño y para cada una de las masadas realizadas.

Los resultados a compresión fueron establecidos del número promedio de cilindros hechos por masada. Para las masadas impares el número de cilindros fue de tres para Curado Autógeno y dos para curado normal; en las masadas pares dos para Curado Autógeno y uno para curado normal.

Las pruebas a compresión se realizaron para el Curado Autógeno a las 48 horas de haber sido colocados los cilindros en los recipientes de curado; y para el curado normal se hicieron pruebas a 7 y a 28 días, aunque al hacer la comparación entre los dos tipos de curado se tomó en cuenta únicamente los resultados de compresión a 28 días, por ser ese el objetivo principal del presente estudio.

En las tablas se puede encontrar información adicional que se consideró de importancia:

- Datos acerca de la cantidad de cemento real empleado en cada masada, expresado en sacos por metro cúbico de concreto.
- Cantidad de agua real expresada en galones por saco de cemento.
- Densidad o peso unitario en Kg/m^3 .
- Asentamiento de cada una de las masadas expresado en pulgadas.

Para establecer la relación entre la resistencia a compresión de Curado Autógeno a 48 horas y la resistencia a compresión de curado normal a 28 días, se representaron en un sistema de coordenadas rectangulares (Gráfica No. 1),

correspondiendo al Curado Autógeno el eje de las X, y al curado normal a 28 días el eje de las Y. Al analizar la Gráfica hay que tomar en cuenta que cada punto representado en ella indica el promedio de varios cilindros.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

TABLA No. 2

MEZCLA DE 7 SACOS/M³

No. de Masada	Cemento Sacos/m ³	Agua Gal/Saco	Densidad Kg/m ³	Asentamiento Pulgadas	Resistencias Promedio Kg/cm ²	
					Curado Autógeno no a 48 horas	Curado Normal 28 días
1	6.49	8.17	2193.28	4	93.62	177.58
2	6.45	8.53	2190.51	4	76.73	149.53
3	6.49	8.17	2192.57	4	75.85	171.05
4	6.48	8.24	2191.14	3 3/4	74.53	157.02
5	6.46	7.94	2174.00	4 1/4	70.28	167.30
6	6.54	7.28	2186.86	3 3/4	69.79	149.53
7	6.39	8.57	2164.57	4	64.80	148.61
8	6.36	9.20	2170.71	4	59.19	138.32
9	6.44	8.74	2188.14	4	66.71	162.63
10	6.36	8.89	2164.71	4	65.42	153.28
11	6.40	7.36	2166.86	4	66.38	167.30
12	6.33	9.00	2159.71	3 3/4	66.05	160.76

TABLA No. 3

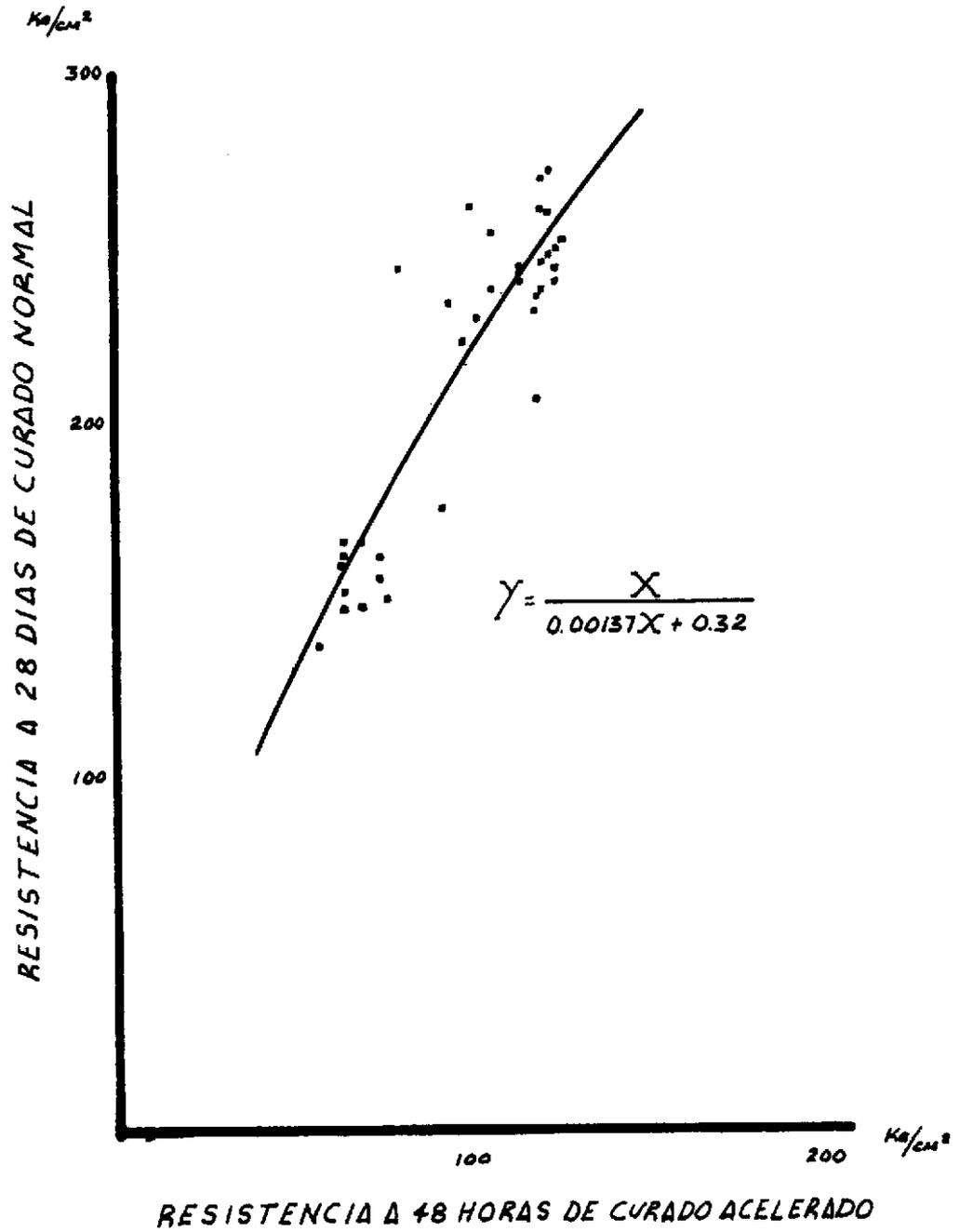
MEZCLA DE 8 SACOS/M³

No. de Masada	Cemento Sacos/m ³	Agua Gal/Saco	Densidad Kg/m ³	Asentamiento Pulgadas	Resistencias Promedio Kg/cm ²		
					Curado Autógeno no a 48 horas	Curado 7 días	Normal 28 días
1	7.57	6.96	2230.00	4	99.69	140.58	224.93
2	7.48	6.08	2175.71	3 3/4	127.15	170.57	272.92
3	7.78	6.07	2269.20	3 3/4	121.08	169.02	270.43
4	7.81	6.00	2277.10	4	115.53	154.22	246.75
5	7.78	6.03	2268.57	4	121.30	154.99	247.99
6	7.74	5.92	2251.43	3 3/4	104.80	144.09	230.55
7	7.62	6.73	2237.00	4	108.42	160.44	256.71
8	7.74	5.92	2249.85	4 1/4	80.50	154.22	246.75
9	7.83	6.60	2246.43	4 1/4	94.58	147.59	236.15
10	7.90	5.92	2242.28	4	108.42	149.54	239.27
11	7.83	6.59	2231.14	4	124.14	163.18	261.08
12	7.90	5.92	2234.00	4	102.82	165.12	264.19

TABLA No. 4

MEZCLA DE 9 SACOS/M³

No. de Masada	Cemento Sacos/m ³	Agua Gal/Saco	Densidad Kg/m ³	Asentamiento Pulgadas	Resistencias Promedio Kg/cm ²		
					Curado no a 48 horas	Curado 7 días	Normal 28 días
1	8.37	6.90	2212.85	4 1/4	125.03	150.54	240.87
2	8.48	7.19	2250.14	4 1/4	120.51	129.60	207.36
3	8.55	6.81	2252.57	4 1/4	127.11	157.71	252.33
4	8.40	6.98	2218.28	4	121.50	163.25	261.20
5	8.53	6.49	2240.43	4 1/4	122.54	148.91	238.26
6	8.44	6.76	2221.14	4	118.39	145.84	233.35
7	8.55	6.35	2241.14	3 3/4	126.31	153.93	246.28
8	8.40	6.90	2219.57	4 1/4	119.64	148.29	237.27
9	8.55	6.44	2249.00	3 3/4	123.79	155.77	249.24
10	8.32	7.04	2220.43	4	116.52	153.28	245.24
11	8.53	6.54	2245.43	4	125.03	156.03	249.65
12	8.44	6.69	2218.29	4 1/4	115.89	150.78	241.25

GRAFICA No. 1

5. ANALISIS

5.1 ANALISIS ESTADISTICO DEL METODO DE CURADO AUTOGENO

Se hizo un análisis estadístico del método de Curado Autógeno, con la finalidad de obtener parámetros estadísticos que puedan ser utilizados como base para la obtención de conclusiones acerca de la confiabilidad del método.

Para realizar este análisis se tomó como muestra los resultados de la resistencia a la compresión de los cilindros tratados por Curado Autógeno, de cada una de las mezclas tipo, y se consideró que los resultados se distribuían normalmente.

Se obtuvo un valor típico o representativo de cada una de las tres mezclas tipo (Tabla No. 1), como medida de este valor se empleó la media aritmética (\bar{X}), empleando la fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{N}$$

Como medida de dispersión absoluta alrededor del valor medio se halló la desviación estandar (S), empleando la fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

por ser $N \geq 30$.

El valor hallado mediante la fórmula anterior se considera de bastante utilidad en el presente estudio, pero en algunos casos es de mucha mayor significación una medida de variación relativa, por lo que se encontró el valor del Coeficiente de Variación (C.V.) utilizando la fórmula:

$$C.V. = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

En la Tabla No. 5 se pueden ver los resultados de los parámetros anteriores.

TABLA No. 5

Tipo de Mezcla Sacos/m ³	\bar{X} Kg/cm ²	S Kg/cm ²	C.V. %
7	71,22	9,11	12,79
8	109,27	14,90	13,63
9	122,48	4,16	3,39

Utilizando como base los resultados anteriores se hicieron tres pruebas de hipótesis. Designando como:

\bar{X}_1 = promedio de pruebas de mezcla de 7 sacos

\bar{X}_2 = promedio de pruebas de mezcla de 8 sacos

\bar{X}_3 = promedio de pruebas de mezcla de 9 sacos

S_1 = desviación estandar de pruebas de mezcla de 7 sacos

S_2 = desviación estandar de pruebas de mezcla de 8 sacos

S_3 = desviación estandar de pruebas de mezcla de 9 sacos

$N = 30$ para todos los casos

Se consideró un nivel de significación del 5%, es decir que se está con un 95% de confianza de que se toma una decisión correcta.

Pruebas de Hipótesis:

$$1. \quad H_0 = \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

$$H_1 = \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

$$2. \quad H_0 = \bar{X}_1 = \bar{X}_3$$

$$H_1 = \bar{X}_1 \neq \bar{X}_3$$

$$3. \quad H_0 = \bar{X}_2 = \bar{X}_3$$

$$H_1 = \bar{X}_2 \neq \bar{X}_3$$

Tomando en cuenta que la distribución muestral de medias se ajusta mucho a una curva normal para $N \geq 30$, se empleó la fórmula de:

$$\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}$$

como un valor de la desviación típica; haciendo

$$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 = S_1, S_2, S_3, \text{ respectivamente.}$$

Utilizando entonces la variable tipificada:

$$Z_{\alpha} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}$$

se ensayó cada una de las hipótesis.

Los resultados numéricos obtenidos en estas pruebas pueden verse en la siguiente Tabla;

TABLA No. 6

Prueba de Hipótesis	$\sqrt{x_L - x_T}$	Z_{α}
1	3.18	-11.96
2	3.34	-15.35
3	2.82	- 4.68

Del ensayo entre la hipótesis nula y la hipótesis alternativa, se pudo establecer que existe una diferencia significativa entre las tres clases de mezclas, y que los mejores resultados se obtuvieron con la mezcla de 9 sacos.



5.2 ANALISIS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

De la Gráfica No. 1, se pudo notar que no existe una relación lineal entre los resultados, sino una relación directa representada por una función hiperbólica de la forma:

$$Y = \frac{X}{AX + B}$$

Donde,

Y = Resistencia a la compresión a 28 días de curado normal en Kg/cm².

X = Resistencia a la compresión a las 48 horas de Curado Autógeno en Kg/cm².

A & B = Constantes.

Se sabe que los valores de las constantes de una función hiperbólica de este tipo, vienen dadas por las fórmulas:

$$A = \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i^2\right) \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 Y_i\right) - \left(\sum_{i=1}^n X_i^3\right) \left(\sum_{i=1}^n X_i Y_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^n X_i^2 Y_i\right)^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i^3 Y_i\right) \left(\sum_{i=1}^n X_i Y_i\right)}$$

$$B = \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i^2 Y_i\right) \left(\sum_{i=1}^n X_i^3\right) - \left(\sum_{i=1}^n X_i^3 Y_i\right) \left(\sum_{i=1}^n X_i^2\right)}{\left(\sum_{i=1}^n X_i^2 Y_i\right)^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i^3 Y_i\right) \left(\sum_{i=1}^n X_i Y_i\right)}$$

Para obtener el valor de dichas constantes, se empleó la computadora IBM 1620 del Centro de Cálculo de la Facultad de Ingeniería, utilizando el siguiente programa que se tomó de la tesis del Ing. Víctor Gabriel Ortiz M.

```
VERSION TWO, E.C.C. LOAD AND GO FORTRAN.
SWITCH 1 OFF FOR TRIG FUNCTIONS
SWITCH 2 OFF FOR FLOW TRACE
PUSH START.
PUSH START.
```

```
COMPILATION
C PROGRAMA PARA CALCULAR LAS CONSTANTES A Y B DE LA CURVA
C RELACION ENTRE CURADO AUTOGENO Y CURADO NORMAL
```

```
5  READ, N
   SX2=C.
   SX2Y=C.
   SX3=C.
   SXY=C.
   SX3Y=C.
   DO 10 I=1, 1
   READ, X, Y
   SX2=SX2 + X*X
   SX2Y=SX2Y + X*X*Y
   SX3=SX3 + X*X*X
   SXY=SXY + X*Y
10  SX3Y=SX3Y + X*X*X*Y
   DS=SX2Y*SX2Y - SX3Y*SXY
   DA= SX2*SX2Y-SX3*SXY
   DB= SX2Y*SX3 - SX3Y*SX2
   A=DA/DS
   B=DB/DS
   PRINT, A, B
   GO TO 5
   END
```

```
EXECUTION
```

```
1.3759104E-03 .31935985
```

Teniendo el valor de las constantes A & B, se pudo establecer que la ecuación que nos da la relación entre el Curado Autógeno y el curado normal a 28 días es la siguiente:

$$Y = \frac{X}{0.00137X + 0.32}$$

Y & X en Kg/cm².

6. CONCLUSIONES

La gráfica resultante que relaciona las resistencias del Curado Autógeno y del curado normal a 28 días establece que la ecuación representativa es:

$$Y = \frac{X}{0.00137X + 0.32}$$

Al utilizar esta ecuación se comprueba que los resultados tienen el 90% de exactitud, lo cual es aceptable para un trabajo de este tipo.

Considerando que el número de ensayos realizados cubren un rango de las mezclas más empleadas corrientemente, y además en un número suficiente, se recomienda el uso de este método, bajo precauciones señaladas en las recomendaciones finales.

Se notó la influencia del contenido de cemento en el método, ya que las mezclas más ricas en cemento tienen un fraguado más rápido, lo que resulta del incremento del calor de hidratación inicial debido al mayor contenido de cemento.

De lo anterior, y dadas las características del método, podemos decir que éste funciona mejor para mezclas de alto contenido de cemento, siempre que se mantengan las mismas condiciones en todos los casos.

De los tipos de recipientes empleados en los ensayos se puede decir que su funcionamiento fue satisfactorio, aunque se notó que los resultados de las pruebas de compresión dieron más altas en las probetas colocadas en el recipiente tipo I, siguiéndole en su orden el tipo II y el tipo III; aunque al analizar las diferencias se notó que no fueron significativas y no influenciaron mayormente el resultado final.

Se pudo ver que el método de Curado Autógeno presenta ciertas ventajas sobre los otros métodos normalizados por la ASTM, entre estas ventajas podemos enumerar,

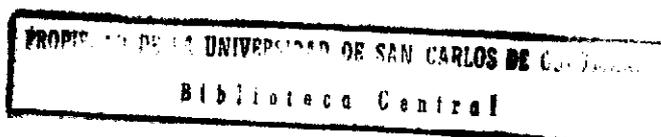
1. No se necesita de ninguna fuente exterior de energía calorífica.
2. No es necesario la utilización de ningún tipo de equipo de seguridad para manejar las probetas.
3. El método es de fácil utilización en el campo.
4. El recipiente de curado es de fácil fabricación.

Entre las desventajas que se notaron, la de mayor significación es la duración del tiempo de curado, ya que se pueden obtener resultados hasta pasados dos días de haber sido hechas las probetas.

7. RECOMENDACIONES

1. Siendo la base de este método la conservación del calor inicial de hidratación del cemento, sería conveniente el diseño de un recipiente de curado cuyo uso se pudiera normalizar en Guatemala.
2. Es importante la continuación de los estudios, empleando aditivos para el concreto y de ser posible distintos tipos de cemento.
3. El estudio realizado es de tipo experimental, por lo tanto, bajo este aspecto, los resultados son aceptables.

Es recomendable la aplicación de este método y relacionarlo en vía de experimentación con los métodos de curado acelerado ya ensayados en Guatemala.



8. BIBLIOGRAFIA

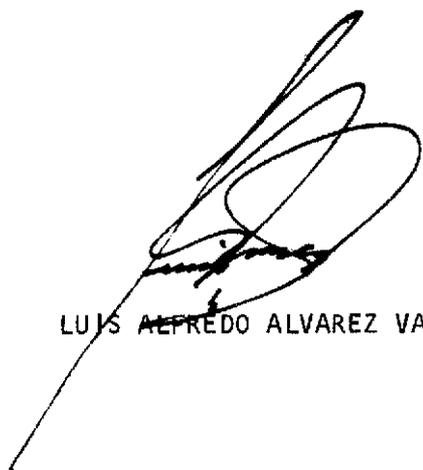
Ortiz Murga, Víctor Gabriel. Estimación de la resistencia a compresión del concreto con base a ensayos de probetas sometidas a curado acelerado. Guatemala. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala. 1972.

Ortiz De León, Julio Víctor. El curado acelerado como método para el control de calidad del concreto. Guatemala. Tesis, Universidad Mariano Gálvez de Guatemala. 1976.

Spiegel, Murray. Estadística. Serie de compendios Schaum, México. 1970

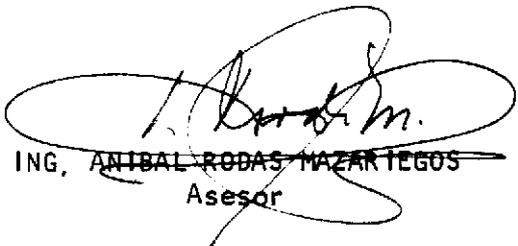
Annual Book of ASTM Standards, 1975.

Juran, J. M. Quality-Control Handbook, Mc. Graw Hill,



LUIS ALFREDO ALVAREZ VALENCIA

Vo. Bo.



~~ING. ANIBAL RODAS MAZARTEGOS~~
Asesor

Vo. Bo.



ING. MANUEL CASTILLO BARAJAS
Director de la Escuela de
Ingenieria Civil

Imprimas



~~ING. BAUL MOLINA MEJIA~~
Decano