

21
lej.



Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales
ARAGON

**“ OBTENCION RAPIDA DE LA RESISTENCIA EN
ESPECIMENES DE CONCRETO MEDIANTE
CURADO A VAPOR ”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

Jorge Arturo Pantoja Domínguez



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

C O N T E N I D O :

OBTENCION RAPIDA DE LA RESISTENCIA
EN ESPECIMENES DE CONCRETO
MEDIANTE CURADO A VAPOR.

I.-	INTRODUCCION.....	1
II.-	ANTECEDENTES.....	5
III.-	DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	52
	Cámara de Curado.....	55
	Materiales.....	59
	Proporcionamientos.....	63
	Ejecución.....	68
IV.-	RESULTADOS OBTENIDOS.....	78
V.-	ESTUDIOS ESTADISTICOS.....	87
VI.-	CONCLUSIONES.....	96

BIBLIOGRAFIA.

I.- INTRODUCCION .

Las especificaciones para el diseño del concreto estructural están basadas en la resistencia a la compresión del -- concreto, la cual se determina ensayando a 28 días especímenes cilíndricos de 15 cms. de diámetro por 30 cms. de altura almacenados y curados bajo condiciones estándar de Laboratorio. Con los métodos rápidos actuales de construcción, esperar un período de 28 días se considera muy tardado. Debido a esta situación se han desarrollado métodos de ensaye mediante los cuales se pueden establecer resultados a corto plazo y hacer las correlaciones entre los datos de resistencia anticipada y la resistencia a la edad de ensaye establecida -- por las especificaciones de proyecto.

La generalidad de los procedimientos de ensaye acelerado existentes, se basan en el principio de "madurez" del concreto, el cual puede resumirse de la siguiente forma:

Si es una persona, expresamos su madurez como la combinación de edad (tiempo) y experiencias, esto es:

$$\text{Madurez} = (\text{tiempo}) \text{ por } (\text{experiencia})$$

En el concreto definimos la madurez (resistencia) como la combinación de edad (tiempo) y experiencias (temperatura) esto es :

$$\text{Resistencia} = (\text{tiempo}) \text{ por } (\text{temperatura})$$

Como no es posible acelerar el tiempo, la madurez se alcanza aumentando la temperatura.

Una de las primeras publicaciones en este campo fue un es

tudio de Gerent en 1927, en el cual la aceleración de la resistencia del concreto se alcanzaba exponiendo los especímenes de ensaye a un baño de vapor saturado de 5.6 a 7 Kg/cm² de presión.

En Norteamérica, la United States Bureau of Reclamation - en el año de 1933, usó un ensaye acelerado de resistencia de 8 horas, para el control del concreto, pero lo consideraron insatisfactorio después de varios años de experimentación, - sin embargo, en otros países como: Inglaterra, Australia, -- Finlandia y Canada, han continuado con el ensaye, usando varias formas modificadas. Fué hasta el año de 1963, en el Simposio Internacional titulado "Endurecimiento Acelerado del - Concreto con el fin de Determinar un Ensaye Rápido de Control", donde se presentaron 9 contribuciones de los cuales 5 trataron de la predicción de la resistencia a la compresión a 28 días del concreto, con base en los resultados de los ensayes acelerados de resistencia.

Se han realizado una cantidad considerable de trabajos sobre ensayes acelerados de resistencia del concreto en Europa y Norteamérica. Las formas diversas de ensaye usados en estos estudios, junto con otros datos relevantes se resumen en la próxima tabla.

Uno de los países que ha estado en la vanguardia es Canada, el Departamento de Energía, Minas y Recursos en Ottawa y el Departamento de Carreteras de Ontario, en Toronto, han estado desarrollando trabajos en este campo desde 1962. Se debe a estas dos organizaciones que el ensaye acelerado de resistencia del concreto ha tomado cierta aceptación en la industria de la construcción.

El método modificado de ebullición originalmente propues-

METODO DE CURADO ACELERADO USADO EN DIFERENTES PAISES

ETAPA DE PRUEBA	MOORE & Co., ENGINEERS, SAN FRANCISCO, U. S. A.	U. S. BUREAU OF RECLAMATION, DENVER, U. S. A.	PORT OF LONDON AUTHORITY, LONDON, U. K.		WATER SEWERAGE AND DRAINAGE BOARD, SYDNEY, AUSTRALIA	SNOWY MOUNTAINS AUTHORITY, COOMA AUSTRALIA	CONSTRUCTIONAL SERVICES LIMITED, LONDON, U. K.		PLANTA HIDRO-ELECTRICA OSSAUSHOSKI, FINLANDIA	ONTARIO DEPARTMENT OF HIGHWAYS, TORONTO, CANADA.
AÑO EN EL CUAL SE APLICÓ LA PRUEBA	1927	1933	1955	1956	1956	1957	1961	1961	1961	1963
EDAD DE LOS ESPECIMENES A LA CUAL FUERON SOMETIDOS A CALENTAMIENTO	24 horas después de moldeado.	$\frac{1}{2}$ hora después de moldeado.	$\frac{1}{2}$ hora después de moldeado	18 a 24 horas después de moldeado	1 hora	$\frac{1}{2}$ hora	24 horas	$\frac{1}{2}$ hora	1 hora	20 minutos después que el concreto fresco alcanza el fraguado inicial (aprox. 6 horas después de moldeado).
TIPO Y TEMPERATURA EN CALENTAMIENTO	Baño de vapor saturado a una presión de 5.62 a 7.03 Kg/cm ² (80 a 100 lbs./pulg ²)	Agua en ebullición	Horno a 95 ± 3°C (185 ± 5°F)	Horno a 95 ± 3°C (185 ± 5°F)	Agua en ebullición	Agua a 74 - 77°C (175 - 177°F).	Agua en ebullición	Agua a 75°C (167°F)	Agua/horno a 80°C (176°F)	Agua en ebullición.
CONTROL POSTERIOR DE TEMPERATURA	Se mantuvo a una presión entre 5.62 a 7.03 Kg/cm ² (80 a 100 lbs./pulg ²)	Se deja de aplicar calor cuando el espécimen es sumergido; la temperatura depende de la eficiencia del aislamiento y de las condiciones ambiente.	Se mantiene a 95 ± 3°C (185 ± 5°F)	Se mantiene a 95 ± 3°C (185 ± 5°F)	Se deja de aplicar calor cuando el espécimen es sumergido; la temperatura depende de la eficiencia del aislamiento y de las condiciones ambiente.	Se mantiene a 74 - 76.7°C (165 - 170°F)	Se mantiene en el punto de ebullición	Se mantiene hasta el punto de ebullición y se mantiene a esta temperatura.	Se mantiene a 80°C (176°F)	Se mantiene en el punto de ebullición
PERIODO DE CALENTAMIENTO DEL ESPECIMEN EN HORAS	12	6 $\frac{1}{2}$	6	4	21 - 21 $\frac{1}{2}$	21 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	7	20	16
EDAD DEL ESPECIMEN AL FINAL DEL PERIODO DE CALENTAMIENTO EN HORAS	36	7	6 $\frac{1}{2}$	22-28	22 - 22 $\frac{1}{2}$	22	27 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{2}$	21	Entre 22 y 25
EDAD DEL ESPECIMEN EN EL MOMENTO DE LA PRUEBA EN HORAS	37	8	7	22 $\frac{1}{2}$ 28 $\frac{1}{2}$	24	24	28 $\frac{1}{2}$	8 $\frac{1}{2}$	24	Entre 23 y 26
TIPO DE ESPECIMEN DE PRUEBA	Cilindro de 15.24 x 30.48 cm (6 x 12 pulg.)	Cilindro de 15.24 x 30.48 cm (6 x 12 pulg.)	Cubo de 15.24 cm (6 pulg.)	Cubo de 15.24 cm (6 pulg.)	Cilindro de 15.24 x 30.48 cm (6 x 12 pulg.)	Cilindro de 15.24 x 30.48 cm (6 x 12 pulg.)	Cubo de 15.24 cm (6 pulg.)	Cubo de 15.24 cm (6 pulg.)	Cilindro de 15.24 x 30.48 cm (6 x 12 pulg.) ó cubo de 15.24 cm. (6 pulg.)	Cilindro de 15.24 x 30.48 cm (6 x 12 pulg.)

* En el método propuesto por el Prof. King todo el trabajo se efectuó en horno a 93 °C (200 °F)

to por Akroyd fue adoptado por los comites de Canada para estudiarlo más a fondo y hacerle las modificaciones pertinentes.

En el año de 1964 durante la convención de otoño del Instituto Americano del Concreto en Miami se presentó un artículo donde se describe el método anterior casi al mismo tiempo el comité ASTM-C-9 formó su Subcomité II sobre los ensayos acelerados de resistencia con la siguiente misión: "Desarrollar una información respecto al ensaye acelerado de resistencia del concreto y proyectar uno ó más procedimientos para determinar la resistencia potencial del concreto de una manera significativa y reproducible a una edad más temprana que la convencional y estudiar el uso de tales procedimientos para desarrollar la aceptabilidad ó la calidad última de los concretos de cemento hidráulico".

Después de revizar los diferentes métodos actualmente en uso, el Subcomité seleccionó en la Norma ASTM-C-684-74, los siguientes tres métodos:

- A).- Método de agua caliente.
- B).- Método de agua en ebullición.
- C).- Método de curado autógeno.

En México se han venido utilizando diferentes métodos para el ensaye acelerado; en los años de 1971-75, se llevó a cabo la construcción de un proyecto de Ingeniería conocido como "Sistema de Drenaje Profundo", durante el cual, el control de producción del concreto se realizó mediante el ensaye a 28 1/2 horas de edad de especímenes curados dentro de agua en ebullición, siguiendo el procedimiento "B", de la ASTM-C-684 con ligeras modificaciones.

En el año de 1978 en la Secretaría de Asentamientos Huma-

nos y Obras Públicas, se llevó a cabo un programa para obtener alta resistencia rápida en cilindros de concreto hidráulico mediante curado a vapor de agua, realizados en las Unidades de Laboratorios de los Centros SAHOP, de los Estados de: Morelos, Veracruz y Oaxaca, y en una evaluación que se hizo en el Departamento de Ensaye de Materiales, se llegó a la conclusión de que los resultados obtenidos en dicho programa se calificaban de aceptables. Los datos del mencionado ensaye fueron proporcionados por el Ing. Fernando Olivera -- Bustamante, Supervisor de Laboratorios en aquel tiempo y Director de éste trabajo de Tesis ahora.

Con la ayuda y experiencia del Ing. Fernando Olivera Bustamante, a finales del año de 1985, se inició éste trabajo con la construcción de el modelo denominado: "Cámara de Curado a Base de Vapor de Agua", en el Laboratorio de Materiales en la Sección de Construcción de la E.N.E.P.: Aragón, para la confirmación de trabajos anteriores sobre el tema de Métodos Acelerados y para el beneficio de los alumnos de la Carrera de Ingeniería Civil, ya que ésta Cámara les servirá y permitirá llevar a cabo no solo éste trabajo de Tesis como Práctica de Laboratorio, sino que podrán hacer investigaciones sobre el mencionado tema, variando los factores que afectan la "Madurez" del concreto.

II.- ANTECEDENTES .

En el transcurso del siglo veinte la utilización del concreto en construcciones ha sufrido una rápida y continua generalización. Hoy día, esta tendencia permanece vigente y es posible que prosiga igual en el futuro.

Permanentemente se trabaja en la investigación para mejorar el comportamiento del concreto, tanto para soportar cargas como para resistir el intemperismo. Por lo tanto, es necesario que las mezclas del concreto se realicen bien, tanto en su dosificación como en su combinación y que los procedimientos para transportarlo, manejarlo, colarlo y curarlo sean los más adecuados.

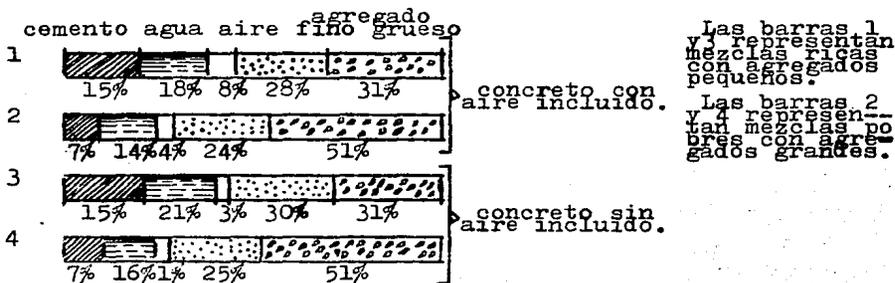
Nociones Fundamentales sobre el Concreto.

Se considera que el concreto esta formado por dos componentes: los agregados y la pasta. Generalmente los agregados se clasifican en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos son las arenas naturales ó fabricadas (resultados de trituration por ejemplo), cuyos granos tienen menos de 0.64 cms. (1/4") de tamaño; los agregados gruesos son los que tienen más de 0.64 cms. (1/4") de tamaño. La pasta está compuesta por cemento, agua y algunas veces de aire incluido.

Generalmente, la pasta (cemento, agua y aire) constituye del 25 al 40 por ciento del volumen total del concreto.

Como el agregado aproximadamente constituye del 60 al 80 por ciento del concreto, su elección es importante. El agregado debe constar de partículas que soporten y resistan las con

diciones de trabajo a que se sometán, por ejemplo a la in--
temperie y no deben contener materiales que produzcan efec--
tos perjudiciales. Para el uso eficaz del cemento, es conve--
niente que la graduación de los agregados sea continua.



Variación en las proporciones de materiales usados en el con--
creto.

Cuando el concreto se hace correctamente, cada partícula del agregado está completamente cubierta de pasta. Es decir, que todo el espacio entre las partículas del agregado está - completamente lleno de pasta. Se puede decir, que la calidad del concreto depende en gran parte de la calidad de la pasta.

A su vez, la calidad de la pasta depende de la relación - de la cantidad de agua y la cantidad de cemento usado.

La pasta debe sus propiedades de cementación a las reac-- ciones químicas entre el cemento y el agua. Estas reacciones a las que se llama hidratación, requieren tiempo y condicio-- nes favorables de temperatura y humedad. Estas reacciones -- son rápidas al principio y luego se van haciendo gradualmen-- te más lentas cuando las condiciones son favorables, durante largo tiempo.

La cantidad de agua que se utiliza para mezclar los componentes del concreto es mayor que la que se necesita para la hidratación completa, lo cual es necesario llevar a cabo para que el concreto sea plástico y manejable. Sin embargo, el exceso de agua en el concreto por mezclarse, disminuye su calidad, baja su resistencia y soporta menos los cambios climáticos. Por lo tanto, para la obtención de buenos resultados, es indispensable que la relación del agua al cemento sea la correcta.

Resistencia del Concreto a Compresión.

La resistencia a la compresión en el concreto es importante para el proyecto de estructuras. En los pavimentos y en otras losas que se construyen sobre el terreno, se utiliza para el proyecto, la resistencia del concreto a la flexión. Aunque puede utilizarse la resistencia a la compresión como indicador de la resistencia a la flexión, una vez que se han determinado las relaciones empíricas entre los materiales que se usan.

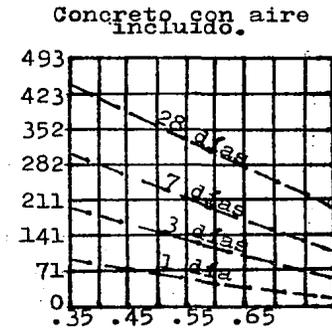
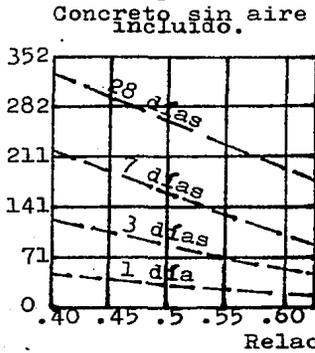
Los factores principales que afectan la resistencia son la relación agua-cemento y el grado en que haya avanzado la hidratación.

Las resistencias a la flexión, a la tensión y a la adherencia aumentan al disminuir la relación agua-cemento y aumentan con la edad.

Concreto con Inclusión de Aire.-

En los últimos 50 años uno de los adelantos en la tecnología del concreto ha sido la inclusión de aire. Este descubrimiento fue durante el decenio de los años treinta. Hoy en día se recomienda el uso del concreto con inclusión de aire para casi todos sus usos.

Resistencia a la compresión, Kg/cm² con curado húmedo a 21°C.
Muestras: cilindros de 15x30 cms.
Cemento: tipo 1 ó normal.



Relación agua-cemento

Relaciones típicas entre la edad y la resistencia basadas en las pruebas de compresión en cilindros de 15 cms. X 30 cms.

El motivo principal para usar la inclusión de aire es para mejorar la resistencia del concreto a la congelación y la fusión. Sin embargo, otros efectos benéficos importantes se producen con la inclusión de aire ya sea en el concreto recién mezclado y en el concreto endurecido.

El concreto con aire incluido se produce usando ya sea un cemento con inclusor de aire o un aditivo inclusor de aire durante la mezcla del concreto. Como es sabido, quedan huecos producto del aire atrapado en todos los concretos y que son principalmente función de las características del agregado; las burbujas de aire introducidas intencionalmente son de tamaño extremadamente pequeños ya que el diámetro oscila de aproximadamente de 0.00254 a 0.00762 cms. (1 a 3 milésimas de pulgada), las burbujas no están interconectadas y están bien distribuidas en toda la pasta (cemento mas agua).

Materiales Inclusiones de Aire.-

La inclusión de aire en el

concreto puede llevarse a cabo por medio de la adición de un agente inclusor de aire en la mezcladora, usando un cemento que ya lo contenga (Las normas de la American Society for -- Testing and Materials (ASTM).-- Tipos de cemento Portland I, II, III, IV y V, especificación C 150. Las normas de la Canadian Standards Association (CSA).-- Tipos de cemento: Normal, Moderado, Rápido Endurecimiento, Bajo Calor de Hidratación y Resistente a los Sulfatos, norma A 5. En la especificación -- ASTM C 175, cemento con inclusores de aire.-- Tipos: IA, IIA, IIIA. (Corresponden en composición a los tipos: I, II y III, de la especificación ASTM C 150, sin embargo, tienen pequeñas cantidades de materiales inclusores de aire mezclados -- con la escoria durante la manufactura)), ó combinando ambos métodos.

Existen numerosos aditivos comerciales inclusores de aire que se fabrican a partir de una variedad de materiales. Estos aditivos que se ponen en la mezcladora deberán ajustarse a la especificación ASTM C 260.

Los cementos con inclusor de aire deberán ajustarse a las especificaciones ASTM C 175 y C 595. Para producir estos cementos se mezclan y muelen con la escoria del cemento, materiales inclusores de aire que se ajustan a las especificaciones de la ASTM C 226.

Propiedades del Concreto con Inclusor de Aire:

Manejabilidad.-

La inclusión de aire mejora la manejabilidad del concreto. La inclusión de aire es especialmente efectiva en las mezclas pobres (con proporción pequeña de cemento), que de otra manera puede ser áspero y difícil de trabajar. También se mejora la manejabilidad de las mezclas con a

gregados angulares y mal graduados. Debido al mejoramiento de la manejabilidad, puede reducirse mucho la proporción de agua y de arena. Se requiere menos agua para hacer un metro cúbico de concreto con aire que para hacer un metro cúbico de concreto sin aire de la misma resistencia, consistencia y tamaño máximo de agregado. Cuando el concreto recién mezclado contiene aire, es cohesivo, parece y se siente "graso" y puede manejarse y terminarse con facilidad. Los millones de huecos de aire reducen la segregación y la exudación del concreto recién mezclado.

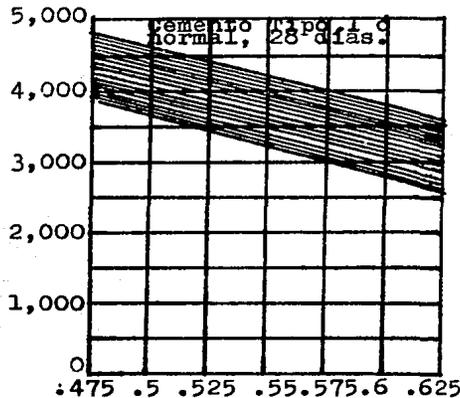
Resistencia.-

La resistencia del concreto con inclusión de aire depende principalmente de la relación de los huecos al cemento. Por esta razón, se definen los "huecos" como el volumen total de agua más aire (incluido y atrapado). Por lo tanto, cuando la proporción de aire se mantiene constante, la resistencia en el concreto varía inversamente a la relación agua-cemento.

En la próxima figura se muestra la relación típica entre la resistencia a la compresión a los 28 días y la relación a gua-cemento para concreto, con los porcentajes recomendables de aire incluido. Generalmente al aumentar la proporción pue de mantenerse una resistencia dada, conservando una relación constante de los huecos al cemento. Puede ser necesario au-- mentar algo el cemento en las mezclas más ricas para lograr esto.

El concreto con aire incluido, así como el que no lo contiene, puede ordinariamente dosificarse para que adquiera la resistencia que se desee. Ambos generalmente contienen la -- misma proporción de agregado grueso. Cuando se mantienen ---

constantes la proporción de cemento y el revenimiento, puede aprovecharse el mejoramiento de la manejabilidad debido a la inclusión de aire, reduciendo la proporción de agua y de arena necesarias. Así, los concretos con aire incluido tendrán menores relaciones agua-cemento que los concretos sin aire - incluido, disminuyéndose al mínimo las reducciones de resistencia que generalmente acompañan a la inclusión de aire.



Aditivos para Concreto.-

Los aditivos incluyen todos los materiales que se añaden al concreto (cemento Portland, agua y agregados), mortero o lechada, inmediatamente antes o durante la mezcla. Los aditivos se clasifican como sigue:

- 1.- Incluidores de aire.
- 2.- Reductores de agua.
- 3.- Retardadores.
- 4.- Aceleradores.- (Cloruro de Calcio), acelera el fraguado y la adquisición de resistencia en el concreto.
- 5.- Puzolanas.- Material silicoso o silíceo y aluminoso

en presencia de agua reacciona con propiedades cementantes.

6.- Fluidificantes: Aire incluido, cenizas en suspensión y puzolanas naturales.

7.- Varios, como los agentes contra la humedad y para la permeabilidad, para las lechadas y los formadores de gas.

La eficacia de un aditivo depende de factores como el tipo y cantidad de cemento, proporción de agua, forma del agregado, granulometría y proporciones, tiempo de mezclado, revolvimento y las temperaturas del concreto y del aire.

Las especificaciones y métodos para probar los aditivos inclusores de aire se dan en la ASTM C 260 y C 233, respectivamente. Los aditivos inclusores de aire deben satisfacer los requisitos de la especificación ASTM C 226. Los requisitos aplicables para los cementos con inclusor de aire se dan en las especificaciones ASTM C 175 y C 595.

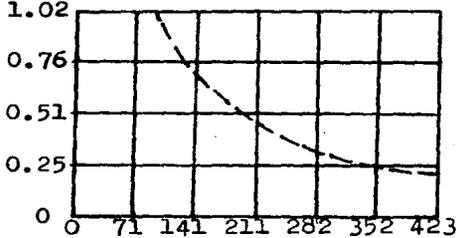
Resistencia del Concreto al Desgaste.

Los pisos, pavimentos y vertedores de demasías de las presas están sujetos al desgaste; por lo tanto, en estas aplicaciones del concreto es importante la resistencia a la abrasión o desgaste.

Las pruebas indican que la resistencia a la abrasión depende principalmente de la resistencia del concreto. El concreto fuerte es más resistente a la abrasión que el concreto débil. Y como la resistencia a la compresión depende de la relación agua-cemento y del curado, es evidente que una baja relación agua-cemento y un curado adecuado son necesarios para dar óptima resistencia al desgaste. En la siguiente figura se muestra los resultados de las pruebas a la abrasión en concretos de diferentes resistencias a la compresión. Las pruebas se hacen rodando bolas de acero bajo presión sobre -

la muestra de concreto. Cada probeta se sujetó al mismo número de revoluciones por minuto.

Desgaste en centímetros



Resistencia a la compresión a la hora de la prueba, kg/cm².

Efecto de la resistencia a la compresión en la resistencia al desgaste del concreto.

El concreto de elevada resistencia a la compresión es muy resistente al desgaste.

Curado Húmedo del Concreto.

Mientras no se permita que el concreto se seque, la resistencia, con el paso del tiempo irá en aumento. Cuando se permite el secado del concreto, las reacciones químicas se hacen más lentas o se suspenden. Por lo tanto, es conveniente mantener húmedo el concreto todo el tiempo que sea posible.

Cuando se suspende el curado húmedo, la resistencia aumenta por un corto período y se detiene. Sin embargo, si se reanuda el curado húmedo, de nuevo aumentará la resistencia. Y aunque esto puede hacerse en un laboratorio, en la mayor parte de las obras es difícil resaturar el concreto. Lo mejor es dar continuamente un curado húmedo al concreto, desde el tiempo en que se cuele, hasta que ha alcanzado la calidad de seada. Para tal fin existen varios métodos de curado que pueden clasificarse como sigue:

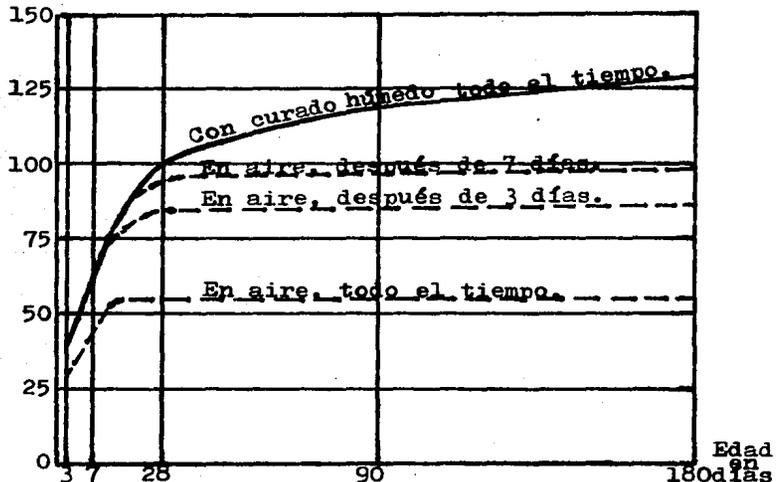
1).- Métodos en los que se aumenta la humedad en la superficie del concreto durante el principio del período de endurecimiento, tales como: la inundación, la aspersion y el uso

de cubiertas mojadas, en estos métodos se produce enfriamiento debido a la evaporación, lo cual es benéfico en tiempo caliente.

2).- Métodos en los que se cubre la superficie herméticamente, esto se hace con papel impermeable, hojas de plástico compuestos líquidos que forman membranas y moldes que se dejan en su lugar.

3).- Métodos en los que se acelera el endurecimiento aplicando calor y humedad al concreto. Usualmente consisten en aplicación de vapor vivo ó serpentines de calefacción.

Resistencia a la compresión,
porcentaje de la obtenida a los
28 días en concreto con curado
húmedo.



La resistencia del concreto continúa aumentando mientras haya humedad para la hidratación del cemento.

Una breve descripción de cada método, antes mencionado, - se presenta a continuación:

Inundación.- Este método se puede llevar a cabo en superficies planas, tales como: pavimentos, banquetas y pisos, auxiliándose de bordos perimetrales hechos de tierra o de arena, se puede inundar el concreto en el área que estos bordos limiten. Este método resulta eficaz evitando la pérdida de humedad y manteniendo uniforme la temperatura en el concreto. Y como requiere de mucho trabajo y supervisión, este método no resulta práctico, excepto para obras pequeñas. La inundación resulta perjudicial si el concreto fresco va a quedar - expuesto a un congelamiento prematuro.

Aspersión.- Este método implica una aspersión continua de agua. Esta aplicación de agua deberá llevarse a cabo con un rociado continuo para evitar que el concreto se seque. Un rocío fino de agua que se aplique continuamente por un sistema de boquillas o de una manguera para riego, son fuentes constantes de humedad. Con esto se elimina la posibilidad del agrietamiento o cuarteo, producidos por los ciclos de mojado y secado.

Cubiertas Mojadas.- Las cubiertas mojadas como las de arpillera, esteras de algodón u otros tejidos que retienen la humedad se usan mucho para el curado. Existen arpilleras tratadas que reflejan la luz y que resisten la putrefacción y el fuego. Los requisitos para la arpillera se describen en las Specifications for Burlap Cloth Made from Jute or Kenaf (American Association of State Highway Officials M 182), y las correspondientes a las cubiertas de yute y polietileno aparecen en las Specifications for Sheet Materials for Curing Concrete (ASTM C 171).

La arpillera no deberá contener apresto o sustancias que sean dañinas para el concreto, sustancias que lo puedan decolorar.

Las cubiertas mojadas hechas de tejidos que retienen la humedad deben colocarse tan pronto el concreto haya endurecido lo suficiente para que no se produzcan daños en su superficie.

Las cubiertas de tierra o de arena colocadas en espesores de 5 cms. (2"), resultan muy costosas.

El heno y la paja húmedos se colocarán en capas de 15 cms (6"). Estos últimos cuatro materiales para cubiertas tienen el inconveniente de decolorarse.

Papel Impermeable.— Este papel constituye un medio eficaz para el curado de superficies horizontales y del concreto estructural de formas sencillas. Una importante ventaja de este método es que no requiere adiciones periódicas de agua. — El papel impermeable para curado asegura la correcta hidratación del cemento, impidiendo la pérdida de humedad del concreto. El papel se aplicará luego que el concreto haya endurecido lo suficiente para evitar que se dañe su superficie y después que el concreto se haya humedecido completamente, se debe usar el papel que se ajuste a la especificación ASTM C 171 ó a las Specifications for Waterproof Paper for Curing - Concret (AASHO M 139). Los bordes de las hojas adyacentes se deben traslapar varios centímetros y se deben sellar firmemente con arena, tabloncillos, cintas adhesivas, mastique o pegamento.

Hojas de Plástico.— Se usan algunos materiales en forma de hojas de plástico para curar el concreto. Son barras ligeras y efectivas para la humedad y se aplican con facilidad a las

formas sencillas lo mismo que a las complejas. Los materiales en forma de películas de plietileno, como las cubiertas de yute y polietileno, deberán ajustarse a las especificaciones ASTM C 171, o a las Specifications for White Polyethylen Sheeting (Film) for Curing Concrete (AASHO M 171).

En algunos casos, el uso de películas de plástico delgadas para curar pueden decolorar el concreto endurecido, especialmente cuando la superficie del concreto se ha alisado -- con cucharas de acero para darle un acabado duro. Cuando estas decoloraciones se presenten se recomienda usar otro método de curado ya que estas decoloraciones son perjudiciales. Compuestos para Curar Concreto.- Los compuestos líquidos para curado que forman membranas retardan o impiden la evaporación del agua del concreto. Sirven para curar no sólo el concreto fresco, sino también para curar el concreto después de quitar los moldes o después del curado inicial con humedad.

Los compuestos para el curado son de cuatro tipos generales: claros o translúcidos, con pigmento blanco, con pigmento gris claro y negros. Para los días calientes en que brilla el sol, los compuestos con pigmentos blancos son los más efectivos porque reflejan los rayos del sol y por tanto reducen la temperatura del concreto. Los compuestos que llevan pigmentos se deben mantener en agitación, para evitar que éstos se asienten.

Los compuestos para el curado deberán satisfacer las Specifications for Liquid Membrane - Forming Compounds for Curing Concrete (ASTM C 309 ó AASHO M 148). Se describe un método para determinar la eficacia de los compuestos para el curado, así como la del papel impermeable y de las hojas de plástico en Test for Water Retention Efficiency of Liquid --

Membrane - Forming Compounds and Impermeable Sheet Materials for Curing Concrete (ASTM C 156 ó AASHO T 155).

Moldes que se dejan en el lugar del Colado.- Los moldes de madera que se dejan en su lugar deben mantenerse húmedos regándolos, especialmente durante tiempo caliente y seco. Los moldes son una buena protección contra la pérdida de humedad si las superficies superiores que se dejan expuestas se mantienen mojadas. Las mangueras para regar son un medio excelente para mantener mojado el concreto. A menos que los moldes se mantengan mojados, deberán quitarse tan pronto como sea posible y empezarse en seguida, sin retraso, otro método de curado. Los moldes deben dejarse en el concreto tanto tiempo como sea posible.

Curado con Vapor del Concreto.

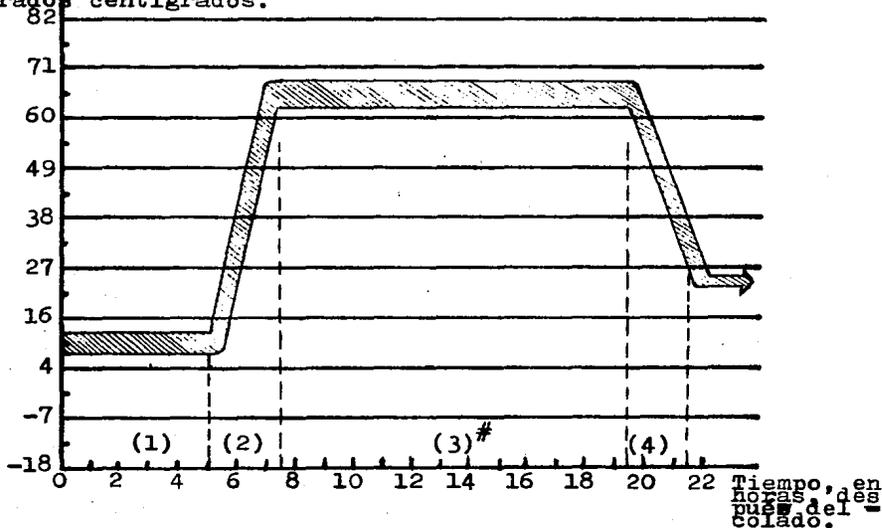
El curado con vapor puede usarse con ventaja cuando es importante la adquisición rápida de resistencia o cuando se requiere más calor para efectuar la hidratación, como cuando se llevan a cabo colados en tiempo frío.

En la actualidad se usan dos métodos para curar con vapor para que el concreto adquiriera resistencia rápidamente: curado con vapor vivo a la presión atmosférica (para estructuras encerradas, coladas en el lugar y unidades fabricadas de concreto) y curado en autoclaves de vapor a alta presión (para pequeñas unidades prefabricadas).

Un ciclo de curado con vapor consta de:

- (1) una espera inicial antes de aplicar el vapor;
- (2) un período para aumentar la temperatura;
- (3) un período para mantener constante la máxima temperatura y
- (4) un período para disminuir la temperatura.

Temperatura dentro del recinto del vapor en grados centígrados.



- (1) Espera inicial antes de aplicar el vapor de 2 a 5 hrs.
 (2) Período en que se aumenta la temperatura 2 1/2 hrs.
 (3) Período de temperatura constante de 6 a 12 hrs.
 (4) Período en que se disminuye la temperatura 2 hrs.
 # Cemento tipo III ó de Rápido Endurecimiento, mayores para otros tipos.

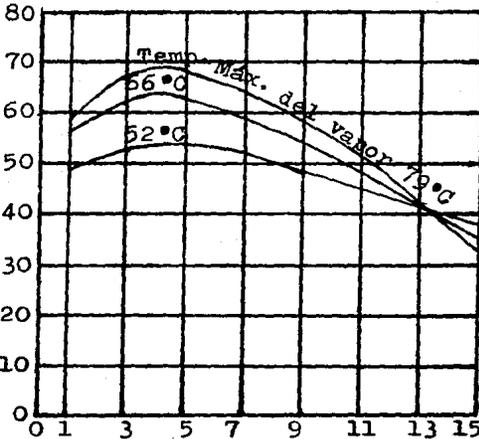
- (1') Temperatura inicial del concreto, 21°C.
 Aire exterior a 10°C.
 (2') La temperatura del vapor aplicado al recinto irá aumentando a razón de 4°C. por hora.
 (3') Se mantiene la temperatura en el vapor del recinto a 66°C. Hasta que el concreto adquiere la resistencia deseada.
 (4') La temperatura deberá reducirse a razón de 4°C. por hora hasta que la diferencia con el exterior sea de 7°C. ó menor.

Ciclo típico de curado con vapor a la presión atmosférica.
 (curva idealizada).

En muchos casos, el lapso de tiempo que transcurre desde el colado hasta que se cierra el vapor, permanece constante en 18 horas.

El curado con vapor a la presión atmosférica generalmente se hace en una cámara de vapor u otro recinto para disminuir la humedad y las pérdidas de calor. Con frecuencia se usan lonas para formar el recinto. El vapor se aplicará al recinto después de dos horas del final del colado del concreto para dejar que endurezca el concreto colado más recientemente. Sin embargo, esperando de 4 a 5 horas antes de aplicar el vapor, se obtendrá la máxima resistencia inicial.

Resistencia a la compresión a las 18 horas, porcentajes de la correspondiente a los 28 días de curado en la humedad.



Nota: La temperatura del vapor aumento 4°C por hora hasta alcanzar la máxima para el cemento tipo 1 ó Normal.

Relación entre la resistencia a las 18 hrs. y el período de espera anterior a la aplicación del vapor para varias temperaturas del vapor. En cada caso, el período de espera más el período de aplicación de vapor sumó 18 hrs en total lo cual constituye una técnica común en muchas plantas para fabricar elementos de concreto.

Período de espera anterior a la aplicación del vapor, en horas.
 17 15 13 11 9 7 5 3
 Período de aplicación del vapor, en horas.

La resistencia no aumentará mucho si la temperatura máxima del vapor se eleva de 66°C., a 79°C. Se deberán evitar -- las temperaturas superiores a 82°C., ya que son antieconómicas y pueden producir reducción en la resistencia máxima.

Deberá evitarse la rapidez excesiva en el calentamiento y en el enfriamiento durante el curado con vapor a la presión atmosférica para evitar los cambios de volumen que dañen al concreto. Las temperaturas en el recinto que rodea el concreto no deben aumentar ni disminuir más de 4°C., por hora.

Curado con Electricidad del Concreto.

El método de curado con electricidad, se utiliza el calor para acelerar la hidratación del cemento.

El primer intento de curar el concreto con electricidad se hizo en Estados Unidos de Norteamérica en 1924. En Suecia en 1932 se hicieron recomendaciones formales para el curado acelerado del concreto usando concreto mojado como conductor de electricidad. A partir de estos trabajos, se llevaron a cabo otras investigaciones en países tales como: Alemania, Francia, Inglaterra, Unión Soviética y Japón. En estos estudios, también se utilizó el concreto fresco como conductor.

En Inglaterra, Japón y la Unión Soviética se probaron otros métodos utilizando energía eléctrica para fines de curado; sin embargo, el primer uso a gran escala del curado con electricidad se verificó en Francia en 1960.

Métodos de Curado con Electricidad.--

Las aplicaciones comunes del curado con electricidad en los Estados Unidos se limitan, generalmente, a los elementos de concreto prefabricados y presforzados. En tanto que las plantas de fabricación

han instalado sistemas de curado con electricidad y el método ha progresado más allá de la etapa experimental, todavía se sigue mejorando. Este método presenta las siguientes ventajas:

1. Poco capital para la compra y mantenimiento del equipo.
2. Equipo relativamente pequeño.
3. Controles confiables y automáticos.
4. Bajo requerimiento de mano de obra.
5. Se puede alcanzar una alta resistencia a la compresión a edades tempranas.
6. No se requiere almacenamiento de combustible.
7. Proporciona una temperatura y un curado uniforme sobre toda la sección transversal.

Existen varios métodos para el uso de la energía eléctrica como fuente de calor para acelerar el curado del concreto. En uno de los primeros métodos se utilizaba el concreto mojado como conductor de electricidad. Aunque la teoría básica es firme, existen varios problemas, uno de ellos es la dificultad para controlar la temperatura debido a que la resistencia a la electricidad cambia durante la hidratación del concreto. También existen algunas dificultades cuando se emplea acero de refuerzo en el concreto, ya que hay la posibilidad de que sea afectado por la corrosión.

En otro método ya probado, se empleó la resistencia a la electricidad de alambres de refuerzo o varillas para producir calor. Para esto, se requiere una aplicación prolongada de corriente de bajo voltaje. Con este método se acelera la hidratación del concreto que se encuentra cerca del acero de refuerzo, el cual forma un núcleo interno de concreto compacto, permitiendo así el manejo de los elementos a una edad temprana. Puesto que el acero de refuerzo se calienta a temperaturas más altas que el concreto que lo rodea, la tempera

tura diferencial causa un ligero preesfuerzo en el concreto una vez enfriado y mayor resistencia al agrietamiento. Sin embargo, el empleo de acero de refuerzo como conductor también acarrea problemas. Uno de ellos es el requerimiento de alta corriente, lo cual afecta la economía del método, otros problemas son el peligro de corrosión y la tendencia a originar un corto circuito a través de las cimbras metálicas y otros refuerzos de metal. Con el objeto de solucionar estos problemas, se creó un torón de preesfuerzo de siete alambres, el cual tiene un alambre central aislado eléctricamente de los demás alambres que le rodean. Algunas pruebas piloto que se hicieron con este torón fueron promisorias, pero debido a los costos de producción estimados se evitó el uso de este dispositivo.

Se ha introducido otro método que requiere energía eléctrica como una fuente de calor; dicho método consiste en la utilización de cobertores eléctricos. Los cobertores eléctricos son económicos, fáciles de transportar y pueden emplearse para calentar grandes superficies como las de las losas. Además, si el cobertor está fabricado de manera adecuada, actúa como una barrera de vapor que evita escapes de humedad. En Europa, se han usado elementos de malla de alambre para calentar las losas. Los problemas que presenta el uso de los cobertores son la posible presencia de manchas de calor si no se vigila que el contacto entre el concreto y el cobertor sea completo.

En la actualidad el método más popular en el que se emplea el calor producido por electricidad, es el de las cimbras de acero calentadas con electricidad. Los elementos que producen calor se aplican directamente en la parte exterior de

las cimbras y después se cubren con algún elemento aislante, el cual es muy eficaz para secciones prefabricadas delgadas como por ejemplo las vigas "T". Debido a que cada sección de la cimbra a lo largo de la cama de colado.

El método más eficaz para acelerar el curado con electricidad es aquél en el cual se colocan alambres de resistencia empotrados y aislados dentro del concreto. Un espaciamiento adecuado entre los alambres puede proporcionar un calor uniforme a través de toda la sección transversal. Una vez que se ha alcanzado la resistencia deseada, los alambres se cortan y se dejan en el elemento de concreto. Los especímenes de control se pueden colar y curar en condiciones idénticas al elemento prototipo utilizando controles automáticos independientes para regular la intensidad de calor. El uso de alambres de resistencia internos para calentar el concreto tiene varias ventajas incluyendo el bajo costo, el calentamiento uniforme, los controles automáticos y la seguridad.

Equipo necesario para el curado eléctrico interno.- Este equipo varía según el método que se emplee. El equipo, por lo general, consta de elementos de calefacción, de abastecimiento de potencia, de controles de calor y de dispositivos para medir la energía eléctrica. A continuación se describe brevemente el equipo que se usa con más frecuencia:

Elementos de calefacción.- Hay tres tipos de conductores aislados que pueden emplearse en el proceso de curado:

1. Acero de refuerzo longitudinal revestido con películas sintéticas. Se ha descubierto que los compuestos a base de resina fenolformaldehído aíslan el acero, en tanto que todavía se forma una buena adherencia en el concreto.

2. Alambre aislado del núcleo central de un torón de pre-

esfuerzo. Es posible que este método sea el más efectivo. -- Hasta el momento la producción de este tipo de torón ha sido experimental y su costo es muy elevado.

3. Alambre de resistencia aislado. Se emplea un alambre - aislado de bajo costo. Este alambre puede obtenerse de metales comunes, los cuales satisfacen el requisito de resistencia mínima. Asimismo, las cubiertas aislantes también deben tener la resistencia suficiente para soportar altas temperaturas, ser lo suficientemente flexibles para ajustarse a la forma del producto y lo bastante fuerte para resistir las fuerzas tensoras, abrasivas y de flexión. El cloruro de polivinilo irradiado (PVC) ó los revestimientos de teflón satisfacen los requisitos de aislamiento.

Instrumentos para controlar el calor.- Una de las ventajas del curado con electricidad es que las temperaturas pueden controlarse con facilidad y la misma temperatura puede - reproducirse repetidas veces en el producto. Existen varios instrumentos importantes que pueden utilizarse para contro--lar el calor, una descripción breve de ellos se presenta a - continuación:

1. Interruptor de circuito.- Instrumento que se prende y se apaga manualmente con el que se obtienen temperaturas que siguen el diseño de la curva.

2. Variac.- Transformador de voltaje variable. Al aumen--tar o disminuir el voltaje cambiará la potencia de entrada y se producirá la curva de temperatura deseada.

3. Control versatronik e interruptor general de circuito.- Interruptor automático de circuito controlado por medio de - la temperatura deseada. La temperatura puede controlarse mediante una pila termoelectrónica.

Limitaciones y sugerencias para el curado interno con electricidad.- No obstante que el alambre de resistencia se encuentra bien aislado, no se puede garantizar que el alambre de resistencia funcione en forma adecuada, después del colado y de la compactación del concreto. Es preciso que el personal que maneja los vibradores esté capacitado para que el voltaje se mantenga bajo y que se tomen otras precauciones, a fin de garantizar la seguridad del personal en lo que se refiere a los cortos circuitos.

Las investigaciones sobre la resistencia a la compresión del concreto, han demostrado que la resistencia en determinado momento es una función del total de la energía térmica absorbida por el concreto recién colado. Desde un punto de vista económico, es preferible usar la mínima cantidad de elementos de calefacción y colocarlos donde den mejores resultados. Además de la fuente de calor proporcionada por los elementos de resistencia eléctricos, también el calor de hidratación del cemento suministra una cantidad considerable de calor, con lo que se reduce el total de la energía requerida.

Los resultados obtenidos de los estudios sobre la distribución de la temperatura indican que con el curado interno con electricidad, la temperatura es uniforme a lo largo de la superficie de la viga debido a la alta conductividad térmica de las cimbras de acero. También se señaló que el calor fluye del interior al exterior de la masa, lo cual es todo lo contrario a lo que ocurre en el flujo de calor en los elementos curados con vapor.

Los núcleos tomados de los especímenes de prueba mostraron cierta variación en el módulo de ruptura y en la resistencia a la compresión. Esta variación fue similar para los

especímenes que tenían una distribución igual de calor, una distribución desigual de calor y especímenes curados con vapor. Se alcanzaron resistencias más altas en las secciones - más delgadas de los especímenes, la resistencia a los 28 días excedió la resistencia de diseño del concreto.

Propiedades mecánicas y térmicas del concreto durante - el ciclo de curado.-

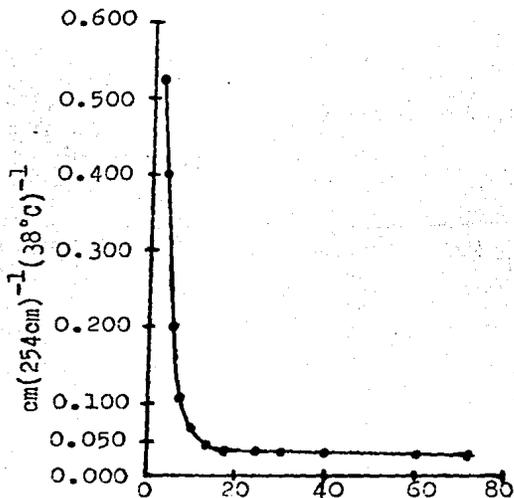
En el diseño de cualquier sistema que se vaya a emplear para acelerar el curado del concreto, es esencial que se conozcan las propiedades tanto mecánicas como -- térmicas del concreto fresco.

Propiedades Mecánicas.- Puesto que el efecto del tiempo - de curado inicial o del tiempo previo al fraguado se analizó en investigaciones anteriores, no se le ha considerado como una variable. Los especímenes curados a elevadas temperatu-- ras se calentaban inmediatamente después del colado. Como re resultado de este tiempo previo al fraguado inicial, las pro-- piedades mecánicas presentaron un comportamiento erróneo. -- Sin embargo, los resultados indicaron que el módulo de elasticidad del concreto curado a 78°C., durante 24 horas fue de un 25% más alto que el del mismo concreto curado a 24°C. Asi mismo, la resistencia a la compresión a las 24 horas del con creto curado a temperaturas superiores a los 52°C., durante 24 horas fue 50% mayor que para la del concreto curado a 24°C

Propiedades Térmicas.- Con el objeto de investigar el coe ficiente de expansión térmica lineal, se cuelan especímenes de concreto sobre una montura de cilindro a temperaturas interiores de 24°C., a diferentes tiempos de fraguado para cada espécimen, se aplica calor uniforme y el alargamiento del

elemento se mide cuidadosamente. En la proxima figura se --- muestran los resultados de una serie de pruebas a modo de ejemplo. En dicha gráfica, la cual muestra la curva del coeficiente de expansión térmica lineal en función del tiempo previo al fraguado, se puede ver que el coeficiente de expansión varía a razón de un factor de diez durante las primeras horas posteriores al mezclado del concreto.

Por lo tanto, es importante que cuando se utilice calor para acelerar el curado del concreto, éste no se aplique hasta que haya pasado un tiempo previo al fraguado de 4 a 5 horas, a fin de permitir que el concreto alcance un coeficiente constante de expansión térmica, el cual se aproxime al de las cimbras y moldes de acero.



Tiempo previo de fraguado en horas.

Coefficiente de expansión térmica lineal durante el período de fraguado.

Pruebas anteriores indicaron que los tiempos previos al --
 fraguado menores de 4 horas afectaban la resistencia a la --
 compresión del concreto, pero no se dispone de datos para --
 comprobar la posible causa de esta pérdida de resistencia. --
 El agua libre en el concreto recién mezclado puede ser la --
 causa de esta gran variación en el coeficiente de expansión.
 Una vez que se ha iniciado la hidratación, disminuye la can--
 tidad de agua libre y las propiedades térmicas de los mate--
 riales se vuelven predominantes.

Problemas con el curado con electricidad del concreto. --
 Debido a que el curado con electricidad todavía está en una
 etapa de crecimiento, se puede decir que aún persisten pro--
 blemas en el mismo. Algunos de estos problemas están asocia--
 dos con los sistemas y controles de distribución eléctrica;
 no obstante, constantemente se están haciendo mejoras en es--
 tos dispositivos.

Cuando las secciones delgadas se curan con energía eléc--
 trica existe una tendencia al agrietamiento. Este agrietami--
 ento por lo general tiene lugar en la junta de una sección --
 delgada y una masa grande, como ocurre con la viga "T" donde
 el patín se une con el alma de la viga. La causa precisa de
 este agrietamiento no ha sido determinada, pero es posible --
 que los esfuerzos térmicos causados por el enfriamiento rápi--
 do sean altos en esta área.

No se han hecho las investigaciones suficientes para de--
 terminar cuándo se debe usar el curado interno o el curado --
 externo. Parece que el aplicar calor a través de las combras
 de acero rinde buenos resultados en las secciones delgadas,
 pero para el calor uniforme en secciones gruesas, los alam--
 bres de resistencia internos proporcionan mejores resultados.

Las cimbras de metal calentadas y los cobertores eléctricos presentan otro tipo de problemas. La combadura de las cimbras de acero ha sido detectada y atribuida a las temperaturas diferenciales en las cimbras. Cuando se utilizan los cobertores eléctricos, aparecen puntos calientes, a menos que el cobertor esté en contacto completo con el concreto mojado.

La rápida pérdida de humedad del concreto mojado no representa un grave problema. Se pueden colocar barreras adecuadas de humedad sobre el concreto mojado, y una cantidad apropiada de agua en la mezcla proporcionará la humedad suficiente para que se lleve a cabo la hidratación.

Con el curado eléctrico, es necesario envolver los elementos de concreto con alguna cubierta impermeable para evitar la pérdida de humedad. La eficiencia térmica del curado eléctrico, es considerablemente inferior a la del curado a base de vapor.

Obtención de la Resistencia del Concreto en el Laboratorio.

Conociendo la relación agua-cemento del concreto muestreado, se puede predecir, con bastante exactitud, la resistencia a compresión que se puede esperar de dicho concreto.

Después de dosificados y muestreado los ingredientes del concreto, se controla la calidad por medio de la determinación de trabajabilidad, con parametros tales como: fluidez, revenimiento, factor de compactación, prueba VeBe, etc., considerandose ésta representativa del contenido de agua y por extensión de la calidad potencial del producto elaborado. A

continuación se presenta una breve descripción de los parámetros (métodos indirectos), antes mencionados.

Métodos Indirectos de la Medición de la Trabajabilidad.

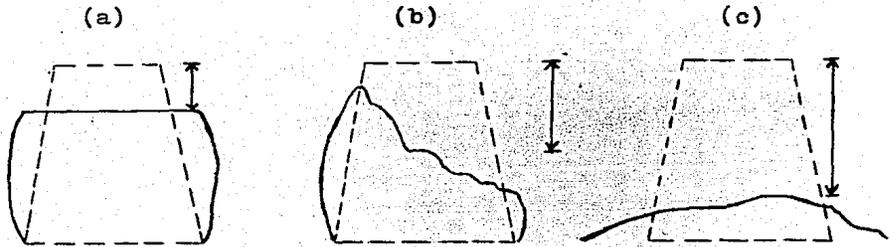
Ensaye de Revenimiento.-

Esta prueba nos da información de trabajabilidad de revolturas de concreto, en campo y en laboratorio. Se usa un molde troncocónico de lámina de 30 cms. - de altura, 20 cms. de diámetro en la base y 10 cms. de diámetro en la parte superior, el cual es llenado mediante tres - capas de concreto de volumen aproximadamente igual cada una de ellas, cada capa se compacta mediante 25 penetraciones -- con una varilla de 16 mm. de diámetro con punta terminada en forma de bala. Una vez lleno el molde, se enrasa el borde superior y se levanta. Se llama revenimiento, a la medida del asentamiento que experimenta la pasta al retirarse el molde.

Si el concreto fresco posee una consistencia plástica, se obtiene el verdadero revenimiento en el ensaye. Si el contenido de cemento es pobre, tendiendo a ser áspero el concreto, ocurre frecuentemente una falla por cortante que nos representa un revenimiento irreal, no representativo de la trabajabilidad. Para mezclas poco cohesivas, puede ocurrir un colapso total, no siendo ésta una prueba representativa de la trabajabilidad.

Revenimiento:

- a).- Real (hasta 12.5 cms.).
- b).- Cortante (hasta 15.0 cms.).
- c).- Colapso (de 15.0 a 25.0 cms.).



Ensayo de Fluidiez.-

Esta prueba se realiza en la llamada - mesa de fluidiez y nos proporciona una indicación de la consistencia de un concreto (fluidiez más cohesión). Este ensayo nos da un buen índice de la segregación potencial de un concreto fresco. Si el concreto no es cohesivo, las partículas grandes del agregado se separan y tienden a escaparse hacia los extremos de la mesa. El aparato para la realización de - la prueba, consta de una mesa circular de 76.2 cms. (30") de diámetro, en la que estan grabados círculos concéntricos de diámetro conocido. La mesa está acoplada a un soporte con -- una manivela y un excéntrico. Al accionar la manivela, el ex céntrico hace vibrar la mesa mediante sacudidas a golpes. El concreto se coloca en la superficie de la mesa dentro de un molde troncocónico de 5.0 cms. (2") de altura, diámetro infe rior de 25.4 cms. (10") y diámetro superior de 17.0 cms. (6. 75"). Después de colocado el concreto dentro del molde troncocónico, éste es retirado. Posteriormente se acciona la vibración de la mesa por medio de sacudidas ó golpes, expan--- diendose el concreto desde un diámetro inicial "Di", hasta - un diámetro final "Df". El valor de fluidiez en este ensayo -

se expresa en porcentaje de expansión:
$$F = \frac{D_f - D_i}{D_i} \cdot 100$$

Ensayo VeBe.-

El ensayo VeBe ó método sueco, es un refinamiento del ensayo Powers, en el que se emplea la vibración - en lugar de las sacudidas ó golpes. Este ensayo es recomendado para ser usado en mezclas muy secas donde el ensayo de revenimiento no puede ser usado. El inconveniente de esta prueba es que por su refinamiento resulta impráctica para ser usada en pruebas de campo, pero es muy apropiado su empleo en plantas de prefabricación donde se tienen las suficientes facilidades para su uso.

La prueba consiste en remoldear el concreto, de una forma cónica original a una cilíndrica final mediante vibración. - El tiempo en segundos que tarda en efectuarse el remoldeo -- del concreto, es el grado ó número VeBe de consistencia del mismo. A continuación se presentan valores de revenimiento y el tiempo VeBe, para la serie completa de consistencias que se utilizan en la construcción:

Consistencia	Revenimiento (cms.)	Tiempo VeBe (seg.)
Extremadamente seca	-	18 a 32
Muy rígida	-	10 a 18
Rígida	0.0 - 2.5	5 a 10
Rígida plástica	2.5 + 5.0	3 a 5
Plástica	8.0 -10.0	0 a 3
Fluida	13.0 -18.0	-

Factor de Compactación.-

El ensaye del factor de compactación, nos sirve para determinar la trabajabilidad del concreto principalmente en mezclas muy secas, en las que es neces

rio emplear la vibración para que sean adecuadamente compactadas. El aparato para el ensaye consta de dos conos tolva - colocados uno encima de otro, separados una cierta distancia, debajo de ellos se encuentra un molde cilíndrico para especímenes estándar de prueba a compresión. La parte inferior de las tolvas cónicas esta cerrada mediante una compuerta de fácil remoción. Las dos tolvas están fijadas a un soporte vertical mediante abrasaderas.

El procedimiento de prueba consiste en colocar el concreto en la primera tolva cónica, abrir su compuerta para que caiga en la segunda tolva, abrir la compuerta de la segunda tolva y permitir que el concreto caiga en el molde cilíndrico, después enrasar y quitar el concreto sobrante de la parte superior del cilindro. Se determina el peso del concreto contenido en el cilindro. Posteriormente, mediante vibración, se compacta el concreto del cilindro llenándolo con material de la misma muestra. Se determina también el peso del concreto compactado.

El factor de compactación es la relación del peso del concreto parcialmente compactado, entre el peso del concreto compactado.

Grado de trabajabilidad	Revenimiento (cm.)	Factor de compactación.
Muy baja	0.0- 2.5	0.80
Baja	2.5- 5.0	0.87
Media	5.0-10.0	0.935
Alta	10.0-17.5	0.96

Debido a la utilización del concreto como material de construcción en los últimos 100 años y al desarrollo de la tecnología sobre este material, se han ido reduciendo los tiempos de descimbrado prosiguiendo el colado de diversos elementos en la obra, esto juega un papel importante en el costo y programa de construcción.

Con el fin de conocer la resistencia a la compresión ($f'c$) del concreto a temprana edad y tener en forma oportuna y en menor tiempo que las tradicionales pruebas de resistencia, datos veraces de los ensayos necesarios para su aceptación ó rechazo ó en su defecto, hacer las correcciones necesarias.

Para conseguir lo anterior, es necesario contar con un método de curado acelerado que cuente con las características siguientes:

a) El equipo y procedimiento de ensaye deberán ser:

Repro

ducibles y comparables con los resultados obtenidos en otra parte, usando equipo similar. Además, deberán permitir que la resistencia potencial a la compresión del concreto a los 28 días, se pueda predecir con un grado aceptable de confiabilidad.

b) Los resultados de ensaye deberán:

Estar disponibles --

dentro de las 24 a 28 horas después de que se haya colocado el concreto y la terminación del ensaye deberá requerir una mínima cantidad de trabajo adicional.

c) La relación de resistencias de curado acelerado a curado estándar a 28 días, deberán:

Ser aplicables a mezclas de

concreto que cubran un intervalo amplio de resistencia. Se desea que la relación entre la resistencia acelerada y la resistencia a los 28 días, no se afecte por el empleo de aditivos usuales.

Desde 1927, métodos de ensayos acelerados se han usado con éxito en varios países. En forma general, los que satisfacen mejor los requisitos expuestos anteriormente, son aquellos en los cuales los especímenes de ensaye se curan durante un lapso de tiempo de 18 a 24 horas y después se calientan de 3 a 4 horas a la temperatura de 80°C. a 100°C., ya sea en agua ó en un horno.

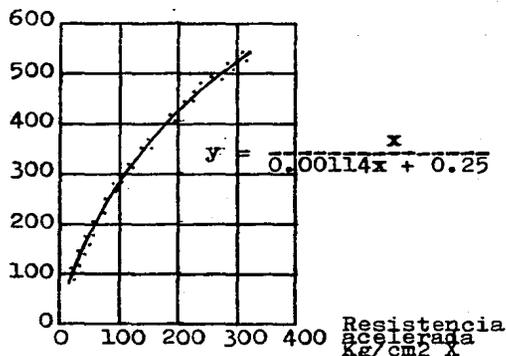
En México, los métodos de curado y ensaye acelerado de especímenes de concreto, solo son usados en los Laboratorios de Control de Calidad de mayor prestigio, cuyo número es muy reducido, necesitándose que las obras a controlar bajo estos métodos los justifiquen económicamente y sean dirigidas por técnicos conscientes de la importancia que implica un buen control de calidad.

El método utilizado en los Laboratorios de Control de Calidad, es el propuesto por los señores: V. M. Malhotra, N. G. Zoldners y R. Lapinas. Brevemente, el método consiste en fabricar especímenes cilíndricos de ensaye en botes de lámina desechables con tapa hermética, curándolos a humedad estándar durante 24 horas, introduciéndolos después en agua en ebullición durante 3 1/2 horas y ensayarlos a compresión una hora más tarde.

El análisis de los datos de ensaye, indica que la relación entre la resistencia de especímenes acelerados y la resistencia a curado estándar a 28 días, se puede representar por la función hiperbólica del tipo $Y = \frac{X}{AX + B}$ con una apro-

ximación de 12%. Esta relación parece ser independiente de los tipos de cemento, agregados y aditivos usados. Para cada obra en particular se obtienen curvas de correlación entre resistencia a 28 1/2 horas y 28 días, mediante el empleo de mínimos cuadrados, con lo cual es posible predecir resultados con la aproximación mencionada y por ende controlar más efectivamente la obra en cuestión.

Resistencia a los
28 días de curado
estándar kg/cm^2 y



Curva de correlación típica de resistencias a compresión de 28 1/2 horas contra 28 días.

El método de ensaye a que se hace referencia y que se ha utilizado en nuestro país, posee las características siguientes:

a). Preparar muestras compuestas de cuatro especímenes cilíndricos de ensaye de 15 por 30 cms., usando métodos estándar de moldeado. Dos especímenes de cada muestra se harán en moldes metálicos comunes para su ensaye a 28 días y otros dos se harán en moldes de lámina desechables con tapa hermética.

tica para someterse a curado acelerado. Es conveniente que la fabricación de los especímenes se realice dentro de los 30 minutos siguientes al mezclado del concreto.

b). Los especímenes para curado acelerado, se deberán man tener en el lugar del colado, protegidos con costales húmedos durante 24 horas.

c). Después de 24 horas se introducirán los especímenes de curado acelerado en un recipiente con agua en ebullición.

d). Transcurridas 3 1/2 horas, se retiran los cilindros del agua en ebullición, se quitan los moldes y se permite -- que los especímenes se enfrien a la temperatura ambiente durante 45 minutos.

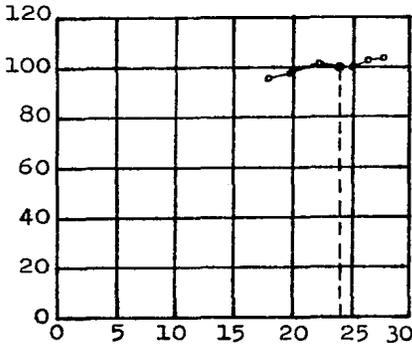
e). Se pesan los cilindros de ensaye, se cabecean y ensayan a compresión 15 minutos más tarde. El tiempo total entre moldeado y ensaye de los cilindros es de 28 1/2 horas.

El equipo utilizado es bastante simple y consta de un recipiente de lámina, el cual tiene en el fondo una resistencia eléctrica controlada por un termostato; sobre la resistencia y separada de ella, se tiene una parrilla en la que se apoyan los especímenes de curado. El recipiente metálico está aislado del exterior por muretes de tabique y la cámara tiene una tapa de lámina con material aislante en su parte exterior.

La Resistencia Acelerada es Afectada por los Sigüentes Factores:

a). La influencia de la duración del curado húmedo en la resistencia, en la siguiente figura se muestra que entre 22 y 25 horas de curado, la resistencia se mantiene constante y que al salirse de este rango puede haber variaciones de hasta 5.5% en la misma.

Resistencia en
por ciento de
la resistencia
acelerada con
24 hrs. de cu-
rado inicial.

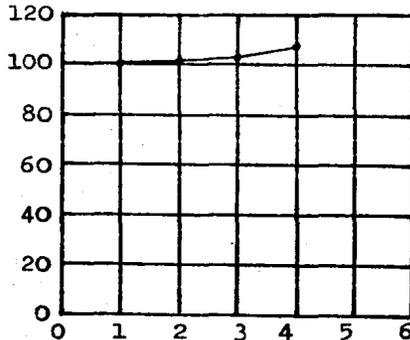


Efecto del tiempo de curado húmedo en la resistencia acelerada.

Periodo de curado húmedo, inicial, (horas).

b). El efecto de la duración del período de ebullición se muestra en la figura siguiente, en la cual puede observarse que, una variación en dicho período de 3.5 a 5 horas, aumenta la resistencia a compresión en 4.5%.

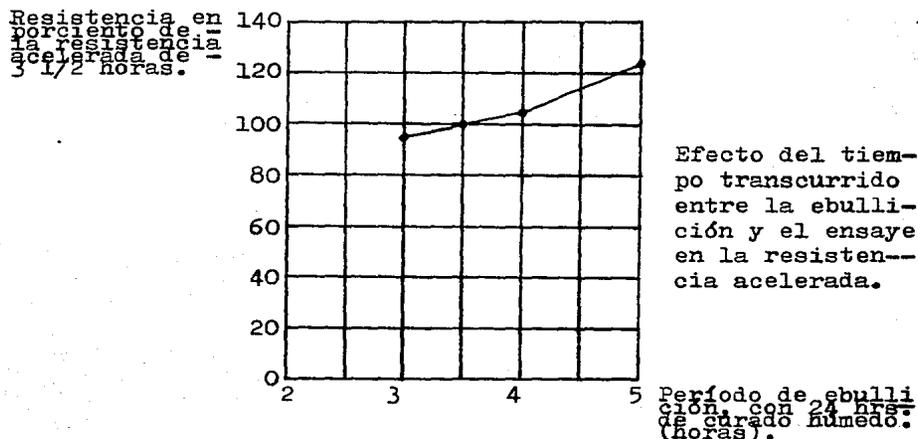
Resistencia en
por ciento de
la resistencia
después de 1
hora de tiempo
transcurrido.



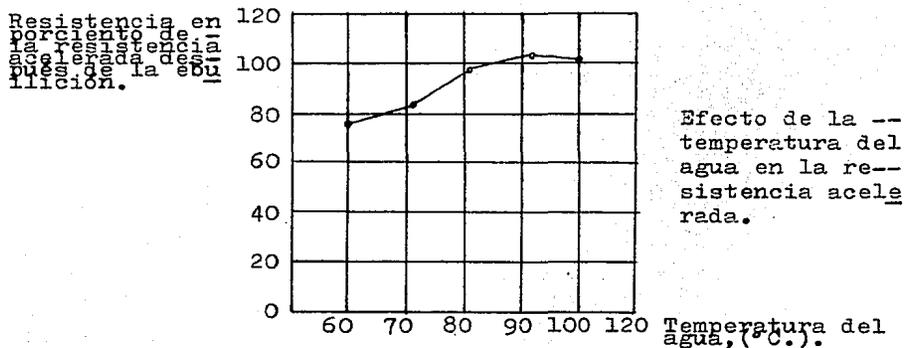
Efecto de la duración de la ebullición en la resistencia acelerada.

Tiempo transcurrido después de la ebullición, (horas).

c). El efecto del tiempo transcurrido entre la ebullición y el ensaye de los cilindros se muestra en la figura siguiente, en donde se aprecia que, si los cilindros se prueban a una ó dos horas después de la ebullición no hay diferencia alguna, pero que a partir de dos horas, existe un aumento de 2 a 8% en la resistencia a compresión.



d). La influencia en la adquisición de resistencia de los especímenes que ejerce la temperatura del agua, se muestra en la figura siguiente, en la cual puede observarse que la óptima temperatura es de 93°C., la cual no se emplea por ser más práctico tener agua en ebullición en la cámara a 100°C.; siendo muy poca la ganancia en resistencia que se tendría al hacerlo con la temperatura óptima indicada.



En la norma ASTM C 684, se describen métodos de curado acelerado en forma tentativa con agua caliente, agua en ebullición y curado autógeno. De éstos métodos, el que es usado con bastante éxito en nuestro país es el de agua en ebullición.

(Las figuras anteriores fueron tomadas del artículo de los señores: V. M. Malhotra, N. G. Zoldners y R. Laipinas; "Ensayo Acelerado para determinar la Resistencia a la Compresión del Concreto a los 28 Días")

Cabe mencionar también, las investigaciones que han llevado a cabo, personas como los señores: Roberto Sánchez Trejo, Lorenzo Flores Castro; André Bisailon; Manuel Mena Ferrer; Tarun R. Naik; L. A. Falcão Bauer y Lucy Inez Olivan, en apoyo para la utilización de los procesos de curado acelerado, tanto en sus países de origen como en México. Además, mencionar los trabajos realizados en la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, ya que son fuente de inspiración de este trabajo de tesis.

Por lo que respecta al trabajo de los señores: Roberto -- Sánchez Trejo y Lorenzo Flores Castro, presentáron un estudio en el: "Simposio Internacional de Ensayes de Resistencia Acelerada del Concreto", patrocinado por el Instituto de Concreto Americano, en la ciudad de México, el mes de octubre -- de 1976, titulado: "Experiencia en el uso del procedimiento de Ensaye Acelerado (Método de Agua en Ebullición), para el Control del Concreto durante la Construcción de el Tunel --- "Emisor Central", en la Ciudad de México". Brevemente se hará un resumen de dicho trabajo: Más de un millón de metros -- cúbicos de concreto fueron colados, durante la construcción de un enorme proyecto, conocido como "Sistema de Drenaje Profundo", diseñado para eliminar el riesgo de inundaciones en la Ciudad de México. La estructura principal de este sistema es un tunel de: 49.8 Kms. de longitud, 6.50 mts. de diámetro interno y un promedio de 0.70 mts. de espesor de concreto. -- La parte más relevante de el control del concreto fue el --- transporte de especímenes para su ensaye, ya que fueron curados en agua en ebullición, más de 1700 muestras, consistiendo cada una de ellas de 4 especímenes, de los cuales dos fueron probados a 28.5 horas y los otros dos a los 28 días.

Correlaciones funcionales fueron establecidas para la predicción de la resistencia a la compresión a los 28 días, obteniendo los datos en las 28.5 horas posteriores a la prueba, con resultados satisfactorios. Estas correlaciones permitieron ajustar oportunamente y verificar las proporciones de -- las mezclas en sus cantidades óptimas de material para conseguir la resistencia de proyecto.

Por lo que respecta al trabajo del Sr. André Bisailon, -- titulado: Influencia de la temperatura inicial del concreto, resultados obtenidos del uso de moldes de poliestireno expandido, para pruebas de resistencia acelerada. En el cual comenta: La ventaja de la determinación temprana de la resistencia potencial, ha sido reconocida por muchos años. Pruebas de resistencia acelerada del concreto han sido usadas desde 1920 y una cantidad importante de trabajos se han llevado a cabo en los años sesentas en Norteamérica y Canada, que han sido los precursores del desarrollo de las pruebas de resistencia acelerada.

Para su investigación empleó moldes de poliestireno expandido, para proteger a los cilindros de concreto de: el mal -- tiempo (baja temperatura) y de el daño que pudiera sufrir durante el transporte, dichos cilindros, de la obra al Laboratorio. Esta protección fue más solicitada durante la estación -- de primavera y bajaba cuando las condiciones de la obra eran pequeñas o el lugar de la obra no era conocido. Esto había -- llevado al manejo de especímenes de baja resistencia los cuales podían ser fácilmente dañados por golpes durante la transportación ó por mal tiempo, cuando el agua cambiaba inesperadamente de temperatura.

El molde tiene aproximadamente 19 mm. de espesor, de po--- liestireno expandido, ofreciendo así una excelente protección para las condiciones antes mencionadas ya que posee propiedades aislantes. Los moldes cumplen con los requisitos de la -- Norma ASTM-C-470, Moldes de elaboración de cilindros de con--- creto para pruebas a la compresión. Algunos técnicos tienen -- como requisito obtener los resultados de prueba a los 28 días del concreto muestreado en este tipo de moldes, especialmente

para la evaluación de concretos de alta resistencia. Esta pre-ocupación fue basada en el hecho de que el molde posee propie-
dades aislantes, ya que el calor generado por la reacción exo-
térmica durante la hidratación del cemento, eleva la tempera-
tura inicial del concreto. Esta elevación puede ser del orden
de 17 a 22°C., la cual puede contribuir a una reducción signi-
ficativa de la resistencia a la compresión a los 28 días. Pa-
ra aclarar éste punto, un programa de prueba en campo fue lle-
vado a cabo con moldes de: acero, cartón y poliestireno expan-
dido para una mezcla de concreto, la cual debía desarrollar -
una alta temperatura. Fue usado Cemento tipo I y una mezcla -
de concreto con $f'c = 495 \text{ Kg/cm}^2$.

Los resultados obtenidos indicaron que la diferencia, en-
tre los resultados donde se usó moldes de acero y los otros -
dos tipos de moldes, es realmente insignificante y la diferen-
cia entre el molde de cartón y el de poliestireno expandido -
es muy pequeña.

Si la reducción de resistencia fuera atribuible de alguna
manera, sería para una temperatura de curado más alta, el 3 %
de diferencia entre los moldes de acero y los de poliestireno
expandido, pudiendo ser más pequeño para bajos contenidos de
cemento.

Considerando las variaciones intrínsecas, en los resulta-
dos de las pruebas del concreto hecho y curado bajo condicio-
nes normales y conociendo el propósito del control de calidad
todos éstos requisitos son una evaluación confiable de la re-
sistencia potencial del concreto, nosotros podemos concluir -
que los 3 tipos de moldes dan resultados confiables. Sin em-
bargo se debe considerar el error sistemático en niveles de -
resistencia, en comparación con los resultados para diferen-
tes tipos de moldes.

En el trabajo presentado por el señor Manuel Mena-Ferrer -- del Depto. de Estudios Experimentales de la Comisión Federal de Electricidad, México; titulado: Pruebas para el Control de Calidad del Concreto a "Plazo Corto" para el Proyecto de la - Hidroeléctrica la Angostura, Edo. de Chiapas, Mexico; presentado: en la Convención de Otoño de 1976, Instituto Americano del Concreto, Cd. de México. Del cual se presenta un resumen:

Durante la construcción de el proyecto de la Hidroeléctrica, La Angostura, propiedad de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) de México, el control de calidad del concreto fue llevado a cabo por medio de pruebas de "períodos-cortos", incluyendo las pruebas normales a 28 días. Dos tipos de pruebas de "período-corto" fueron realizadas:

- a) Análisis de muestras de concreto fresco conforme a un método no estandarizado, desarrollado en los laboratorios de - la CFE.
- b) Curado autogeno resistencia condensada, siguiendo el procedimiento C de la ASTM Norma C 684.

Fueron concluidos los análisis del concreto fresco, las -- pruebas fueron razonablemente precisas para determinar la composición actual de la mezcla fresca del concreto, pero los resultados no permitieron la predicción de la resistencia del - concreto a los 28 días, a causa de la influencia de cambios - en las características del cemento.

Las pruebas de resistencia del curado autogeno representó un buen medio para predecir la resistencia del concreto a 28 días para todos los tipos de mezclas, salvo para el agregado máximo de 3 pulgadas, posiblemente debido a el cribado húmedo.

Métodos de Prueba: Análisis del Concreto Fresco.- Revizando la composición actual de la mezcla de concreto fresco, fue trans

portado para desecación de muestras con alcohol, usando un método de prueba desarrollado en el Departamento de Estudios Experimentales de la CFE.

Este método el cual implica 10 Kgs. de muestra, posee algunas características en común con un procedimiento similar establecido en Alemania Occidental, pero fue desarrollado independientemente. Las muestras de concreto fresco son mezcladas con cerca del 60 % de alcohol en peso y desecados por combustion en dos etapas, el contenido total de agua llega a ser -- así determinado. Después, la muestra seca es cribada a través de la malla No. 200 la cual se encuentra húmeda, y los agregados (arena y grava) son recuperados por sustracción de pesos de: agua y agregados, de la mezcla fresca del concreto pesado (10 Kgs.), así el contenido del cemento es determinado. Finalmente, hay varias correcciones para la ejecución, incluyendo el retenido del cemento en la malla número 200, arena y grava material más fino que pasa la malla No. 200, agua absorbida - en los agregados y agua sujeta químicamente en el cemento, de terminada por la pérdida de ignición en el cemento.

Curado Autogeno.- La resistencia acelerada a la compresión de probetas cilíndricas de 15 X 30 cms., fue obtenida de acuerdo al procedimiento "C" del método de prueba de la ASTM, Norma C 684, en la cual el calor de hidratación - del cemento, producido por los especímenes de concreto mues-treados, proporciona calefacción en moldes térmicamente aislados. La selección de éste procedimiento, fue hecho sobre la - base de su simplicidad y rapidez ya que los resultados se obtienen a las 48 horas.

Curado Normal (Estandar).- La resistencia a la compresión por curado normal de probetas cilíndricas de 15

X 30 cms., fue determinada a los 28 días siguiendo las disposiciones del Método de Prueba de la ASTM Norma C 31.

Estas pruebas normales fueron llevadas a cabo simultaneamente con el análisis del concreto fresco y las pruebas de curado autógeno, como medida precautoria, para establecer correlaciones empíricas.

Conclusiones.- Los resultados del análisis del concreto fresco, obtenidos de 2 a 4 horas después del muestreo, fueron razonablemente precisos para determinar la actual composición de la mezcla de concreto fresco. Por comparación de sus resultados con el proporcionamiento teórico, esto fue posible para verificar la precisión y eficiencia de la muestra y del equipo de mezcla usado y de esta manera hacer los ajustes apropiados.

Los resultados del análisis del concreto fresco, expresados como el contenido de cemento ó proporción agua-cemento, no permitió la predicción de la resistencia a la compresión a los 28 días, esto debido a la escases de correlación. Este hecho observado puede ser atribuido a cambios en las características del cemento, ya que en el transcurso del análisis a largo-plazo, la producción de una sola marca de cemento varía ó a causa de la diversificación de marcas de cemento usado en el análisis, aunque todos los cementos hallan sido de el mismo tipo.

La prueba de la resistencia acelerada del concreto a 48 horas por medio del curado autógeno, representa un buen medio para predecir con aceptable exactitud la resistencia normal a 28 días para todos los tipos de mezclas de concreto, excepto para agregados con tamaño máximo mayor de 1 1/2 ", posiblemente debido a el cribado húmedo.

La resistencia a la compresión estándar a los 28 días fue un buen índice de calidad del concreto a la edad de prueba, - puesto que reflejó con suficiente sensibilidad algunos cam-- bios, tales como las características del cemento, las cuales contribuyeron para modificar la proporción del concreto y obtener ganancia en la resistencia. Si bien éstos resultados, - estrictamente hablando, no fueron obtenidos oportunamente para el control de calidad del concreto, ellos fueron usados pa ra ratificar las acciones emprendidas sobre las bases de los resultados de resistencia a las 48 horas.

Acerca del trabajo escrito por Tarun R. Naik, titulado: A- adaptación de Métodos de Prueba de Resistencia Acelerada para el Control y Seguridad de la Calidad del Concreto, presentado en el Simposio Internacional sobre Pruebas de Resistencia Ace lerada, Cd. de México, Octubre de 1976, el cual trata de la - especificación de la ASTM Norma C-684-74 de el "Método Normal de Muestreo, Curado Acelerado y Prueba de Especímenes de Con- creto probados a la compresión simple". Esta especificación - reconoce tres métodos diferentes: Método de Agua Caliente, Mé todo de Agua en Ebullición y Método Autógeno. Existen varios métodos de prueba de resistencia acelerada en uso hoy en día por todas partes de Norteamérica y otros países del mundo, -- con pocas modificaciones. Casi siempre, ellos generalmente ca en dentro de los tres métodos básicos. Los dos más frecuente- mente usados son el método de agua en ebullición y el método autógeno.

La adaptación del Método de Agua en Ebullición hecho por - el Sr. Tarun R. Naik podía ser más propiamente llamado como - el Método Modificado de Agua en Ebullición (M.M.A.E.), porque el procedimiento seguido no es exactamente el indicado por el

Método de la A.S.T.M., Norma C-684-74. Normalmente para las pruebas aceleradas por el M.M.A.E., los cilindros son llevados de la obra a el laboratorio aproximadamente a la edad de 23 horas, después son colocados en el agua en ebullición, los cilindros no están cerrados herméticamente con placas de acero, pero quedan abiertos, a una temperatura de $96^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 3 horas y media, después de las cuales son sacados de el agua en ebullición contando ya con 27 horas de edad, son descimbreados y enfriados por 50 minutos después de los cuales son cabeceados y probados a las 28 horas de edad (10 min. después del cabeceo). La resistencia de los cilindros a la compresión, -- después del curado acelerado, varía normalmente entre los 70 y 211 Kg/cm^2 . Para alta resistencia del concreto es usualmente entre 211 y 316 Kg/cm^2 , rara vez se llega a sobrepasar los 325 Kg/cm^2 .

La experiencia del escritor por lo que respecta al procedimiento de agua en ebullición modificado, fue que obtuvo resultados dignos de confianza. Ya que al comparar la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días, con los resultados esperados y obtenidos a temprana edad de los diferentes procedimientos, la exactitud fue excelente. Generalmente cerca del 70 % de los valores de resistencia esperada varió entre el 5% de la resistencia a los 28 días. Cerca del 85 % de los resultados fueron dentro del 10 % de la exactitud y cerca del 95 % de los resultados fueron dentro del 15 % de la resistencia a los 28 días.

El escritor usó el método modificado hasta 1972, para la certeza de la calidad tanto en pequeños como en grandes proyectos y para el control de calidad de especímenes para ensaye, en plantas de dichos proyectos. Basado en estas experien-

cias se pueden hacer las siguientes recomendaciones. Cabe aclarar que algunas de éstas observaciones no son válidas para otros procedimientos de prueba de resistencia acelerada.

(1) La resistencia a los 7 días y 28 días puede ser predicha al siguiente día, después de muestreado el espécimen de prueba.

(2) La influencia de varios tipos y cantidades de ingredientes en una mezcla de concreto, así como la cantidad del contenido de aire, tuvo un efecto mínimo sobre el valor de la prueba de resistencia acelerada. Esto ha sido confirmado por otros investigadores, en particular por Spratt. Este investigador también observó entre otras cosas que cuando se usó cloruro de calcio para la predicción de la resistencia a los 28 días, ésta fue más alta que la resistencia proyectada para los 28 días.

(3) La influencia de la temperatura inicial del concreto tuvo un efecto mínimo sobre el valor de la resistencia acelerada.

(4) El costo inicial del equipo es cerca de \$400.00 para un tanque de curado en el cual se pueden acomodar 9 cilindros. Un tanque más grande con un termostato para mantener la temperatura del agua puede ser fácilmente elaborado.

(5) El costo extra es virtualmente eliminado con la adaptación de procedimientos de: 24 hrs., 50 hrs. y 75 hrs.

(6) No es necesario un Laboratorio portatil. Ninguna preparación especial es necesaria. El proceso es el convencional hasta que los cilindros son llevados a el Laboratorio para el curado acelerado.

(7) La técnica es facilmente adaptable y el programa del método modificado de agua en ebullición puede ser iniciado a cualquier hora sin ningún plan previo excepto el horario del laboratorio.

Los trabajos de L. A. Falcão Bauer y Lucy Inez Oliven, se omiten, ya que resultaría ocioso comentarlos aquí, porque sus trabajos, importantes sin duda, versan sobre los anteriores - ya descritos. Por lo que sólo se recomienda su consulta, así como también, todos los trabajos que traten el tema que aquí se presenta.

III.- DISEÑO DE LA INVESTIGACION .

Con la relación agua-cemento podemos predecir, con bastante precisión, la resistencia a compresión que se puede esperar del concreto muestreado.

Después de dosificar y muestrear los ingredientes del concreto, se acostumbra controlar su calidad mediante determinaciones de trabajabilidad (fluidez, revenimiento, factor de compactación, prueba VeBe, etc.), considerandola representativa del contenido de agua y por extensión, de la calidad potencial del producto elaborado. Sin embargo, no se acostumbra investigar el contenido de otros componentes a fondo (cemento y agregados), para configurar totalmente la composición del concreto recién mezclado, lo que permitiría corregir de inmediato errores de dosificación y estimar con más aproximación su resistencia potencial.

Esto último resultaría conveniente, sobre todo en obras -- donde el único control que se acostumbra llevar consiste en elaborar eventualmente especímenes de prueba, para comprobar la resistencia del concreto varios días después de haberse efectuado el colado.

La necesidad de disponer de medios más expeditos que las tradicionales pruebas de resistencia, ha promovido el desarrollo de dos clases de pruebas rápidas:

Curado acelerado de especímenes de concreto para apresurar la adquisición de resistencia y así predecir la resistencia posterior, en función del resultado anticipado.

* Análisis del concreto fresco para determinar su composición actual, como su granulometría y su relación agua-cemento y con esto estimar su resistencia probable.

Curado con Vapor a Presión Atmosférica.-

En vista de que un incremento en la temperatura de curado del concreto incrementa el grado de desarrollo de resistencia, la ganancia de resistencia puede acelerarse mediante el curado del concreto con vapor. Cuando el vapor está a la presión atmosférica, es decir, cuando la temperatura está por debajo de los 100°C, el proceso puede considerarse como un caso especial del curado húmedo. El curado con vapor se ha usado satisfactoriamente -- con diferentes tipos de cementos Portland, pero nunca deberá usarse con cemento aluminoso, por los efectos adversos que -- producen las condiciones de calor húmedo en la resistencia de ese cemento. El concreto con una relación agua-cemento baja responde al curado húmedo mucho mejor que una mezcla pobre.

El objeto principal del curado con vapor es obtener una resistencia temprana suficientemente alta, de modo que los productos de concreto puedan manipularse rápidamente; después de la colocación del concreto: los moldes pueden removerse ó depejarse la mesa de preesfuerzo antes de lo que sucede con el curado húmedo ordinario y se requiere menos espacio de almacenamiento para curado; todo esto, significa una ventaja económica.

Curado con Vapor a Alta Presión.-

Este proceso es bastante diferente del curado con vapor a presión atmosférica, tanto en el método de ejecución como en la naturaleza del producto re-

sultante. Ya que se trata de presiones arriba de la atmosférica, la cámara de curado tiene que ser del tipo de un recipiente con un abastecimiento de vapor húmedo; es necesario un exceso de agua, ya que no se debe permitir que el vapor sobrecalentado entre en contacto con el concreto. Este recipiente se conoce como autoclave, y en las publicaciones norteamericanas el curado con vapor a alta presión suele llamarse curado tipo autoclave.

El curado con vapor a alta presión se empleó primeramente en la manufactura de tabique silicio-calcareo y todavía se usa extensamente para éste propósito. En el campo del concreto, el curado con vapor a alta presión se aplica usualmente a los productos prefabricados (ya sea de concreto ordinario ó ligero), cuando se desea cualquiera de las siguientes características:

a) Alta resistencia temprana.- Con el curado con vapor a alta presión, la resistencia que se alcanza a los 28 días con un curado normal, puede alcanzarse en 24 horas.

b) Alta durabilidad.- El curado con vapor a alta presión mejora la resistencia del concreto a los sulfatos y a otras formas de ataque químico, incluidos: congelación y deshielo, además, reduce la eflorescencia.

c) Reducciones en la contracción por secado.

Cámara de Curado.

Sistema para curado acelerado de probetas de concreto hidráulico a base de vapor de agua.

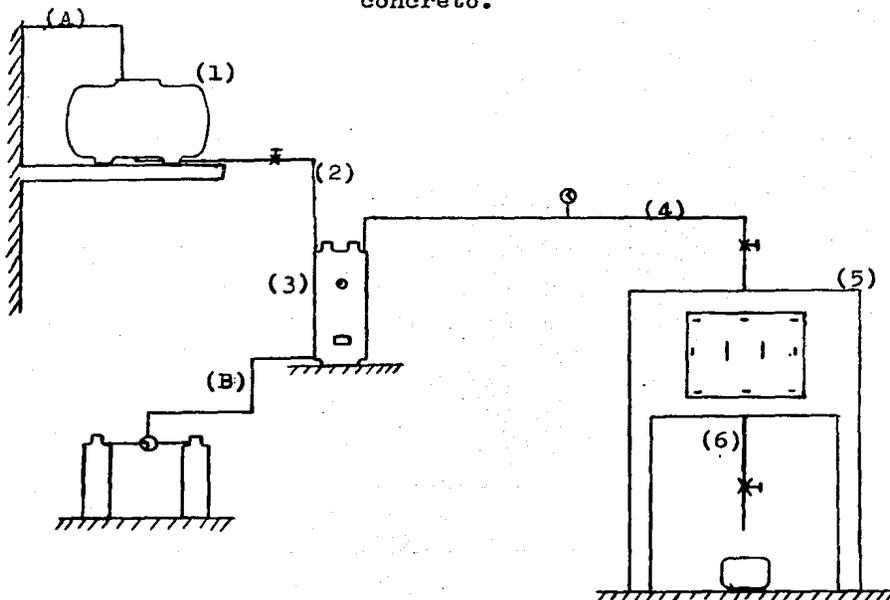
Generalidades:

Consiste en una cámara cerrada capaz de mantener en su interior, temperaturas que no excedan de 100°C , en la cual se inyecta en forma controlada, vapor de agua a baja presión.

Descripción:

El sistema estará constituido en la forma siguiente:

Croquis del sistema para curado acelerado de especímenes de concreto.



- (A) Línea de alimentación de agua.
- (1) Depósito de agua (tinaco).
- (2) Línea de alimentación de agua al calentador con llave reguladora de paso.
- (3) Calentador semi-automático.
- (B) Línea de suministro de combustible al calentador.
- (4) Línea de alimentación de vapor con manómetro acoplado y llave reguladora de paso.
- (5) Cámara para curado acelerado.
- (6) Línea de descarga de condensados, con llave reguladora de paso.

Un depósito (1) de agua con capacidad de 100 lts., que alimenta por medio de una línea de tubo galvanizado de 13 mm., de diámetro (2) y una llave de paso a un calentador (3) con quemador de gas, de tipo semi-automático de 40 lts. de capacidad, que se utiliza como generador de vapor a baja presión. El vapor generado se inyecta a la cámara para curado (5) a través de una línea (4) de tubo galvanizado de 6 mm., de diámetro, la cual cuenta con un manómetro de 7 Kg/cm^2 acoplado para medir la presión en el calentador y con una llave de paso para regular la inyección de vapor a la cámara. De la parte más baja de la cámara sale una línea para descarga del líquido condensado de tubo de 6 mm. de diámetro, que también cuenta con una llave de paso para controlar la descarga. La cámara para curado a vapor tiene las siguientes dimensiones interiores:

Largo.- 0.70 m.

Ancho.- 0.50 m.

Altura.- 0.45 m.

Esta cámara se fabrica a base de tabique, recubierta en el interior y en el exterior con mortero de cemento Portland y aditivos impermeabilizantes. Tiene puerta de lámina cuidadosamente cubierta con esmalte anticorrosivo; el cierre hermético de la puerta se logró empleando hule del que se utiliza para sellar el interior de los automoviles, con resultados satisfactorios hasta el momento.

La alimentación de vapor se hace con un tubo horizontal de 6 mm. de diámetro interior de 0.50 m. de longitud, con taladros de 1/32 de pulgada de diámetro, para salida de vapor, distribuidos en toda su longitud y sellando los extremos.

Operación:

- 1).- Del tanque (1) se alimenta el calentador de gas con aproximadamente 20 lts., de agua y se cierra la llave de paso de la línea (2) para evitar la salida de vapor a través de esta línea, teniendo cerradas también las llaves de paso de las líneas (4) y (6).
- 2).- Se calienta el agua en el calentador de gas hasta que se registre en el manómetro de la línea (4) una presión no mayor de 0.25 Kg/cm^2 ; después se abre completamente la llave de paso de esta línea, para inyectar vapor a la cámara.
- 3).- El incremento del calor generado por el vapor se controla abriendo ó cerrando la llave de paso de la línea (4).
- 4).- Cuando casi se alcanza la temperatura máxima de curado se ajusta la llave de paso de la línea (4), para que el flujo de vapor sea capaz de man

tener prácticamente constante la temperatura de la cámara.

- 5).- Una vez logrado lo anterior, se abre la llave - de paso de la línea de descarga de líquido condensado (6) lo suficiente para que se registre goteo, con lo cual el líquido depositado en la base de la cámara se elimina de manera constante durante el - proceso de curado acelerado. Este condensado deberá recibirse en un recipiente de 20 litros de capa cidad.

Notas: 1.- En condiciones normales son suficientes 20 litros - de agua para desarrollar el ciclo de curado establecido en el programa.

2.- Deberá vigilarse que el volumen del líquido condensado no exceda de 15 litros; si es mayor deberá alimentarse - el calentador con más agua.

Materiales.

La grava utilizada proviene de un sólo muestreo efectuado en el almacén del laboratorio de Ingeniería Civil, sección de Construcción, ubicado en la E.N.E.P.: Aragón, Estado de México. Es una andesita triturada de tamaño máximo de 1". Sus características físicas se consideran adecuadas para este estudio.

La arena tiene la misma procedencia; es arena de mina con características físicas aceptables.

El agua que se utilizó fue tomada de el local que ocupa este Laboratorio y procede de la potable que se distribuye para toda la E.N.E.P.: Aragón.

El cemento empleado fué marca Tolteca y provino de diferentes lotes, por lo que al igual que el agua, no se le determinó su calidad.

La calidad de la grava y de la arena utilizados se reporta enseguida:

Informe de Pruebas en Grava para Concreto Hidráulico:

Peso Volumétrico Suelto.....	1175	Kg/m ³ .
Peso Volumétrico Compacto.....	1282	Kg/m ³ .
Absorción.....	4.3	%
Módulo de Finura.....	7.37	
Peso Específico (Densidad).....	2.21	

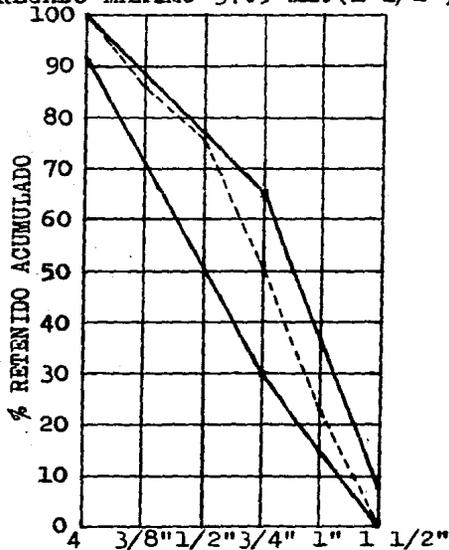
El análisis granulométrico.- Efectuado a los agregados nos sirve para conocer el módulo de finura (M.F.) de los mismos, dato que nos resulta esencial para la producción de mezclas con buena trabajabilidad. Y consiste en separar y conocer los porcentajes de cada tamaño.

ANALISIS GRANULOMETRICO

MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL, G.	% RETENIDO PARCIAL.	% RETENIDO ENTERO.	% RETENIDO ACUMULATIVO.
1 1/2"	-	-	-	0
1"	5718	22.9	23	23
3/4"	7106	28.4	28	51
1/2"	6159	24.6	25	76
3/8"	2477	9.9	10	86
Pasa No. 4	3540	14.2	14	100
Suma	25000	100.0	100	

LIMITES EN LA GRANULOMETRIA DE LAS GRAVAS

AGREGADO MAXIMO 37.5 mm. (1 1/2").



MALLAS NUM.

Para el análisis granulométrico de la grava se requiere - una muestra con un peso total no menor de 25 Kg., obtenido - por cuarteo. La muestra se cernirá en las mallas especifica- das, separando en charolas los retenidos correspondientes. - Se deberá tener cuidado de que no queden partículas aprisio- nadas entre los alambres que forman las mallas.

Una vez separado el material, se procederá a pesar cada - porción en charolas taradas. Los pesos obtenidos deberán re- gistrarse en la forma que se indica en el cuadro de Análisis Granulométrico.

El modulo de finura (M.F.), de una grava se obtiene por - la suma de los porcentajes acumulados en las mallas: 3", -- 1 1/2", 3/4", 3/8" y No.4, dividida entre 100, más cinco uni dades (número de mallas para la arena).

$$\text{GRAVA M.F.} = \frac{237}{100} + 5 = 7.37$$

El modulo de finura (M.F.), de una arena se obtiene median- te la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las cin co mallas usadas, desde la número 8 hasta la número 100 inclu- sive, dividida entre 100.

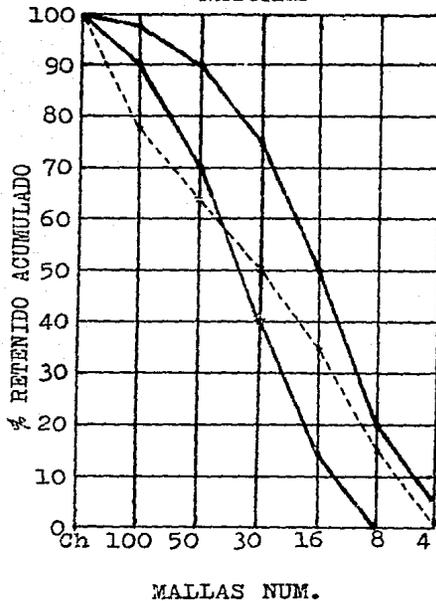
$$\text{ARENA M.F.} = \frac{239}{100} = 2.39$$

Informe de Pruebas en Arena para Concreto Hidráulico:

Peso Volumétrico Suelto.....	1400	Kg/m ³ .
Peso Volumétrico Compacto.....	1626	Kg/m ³ .
Absorción.....	7.2	%
Modulo de Finura.....	2.39	
Peso Específico (Densidad).....	2.29	

ANALISIS		GRANULOMETRICO		
MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL, G.	% RETENIDO PARCIAL.	% RETENIDO ENTERO.	% RETENIDO ACUMULATIVO.
4	5.8	1.2	1	1
8	72.3	14.5	14	15
16	92.8	18.5	19	34
30	81.8	16.4	16	50
50	63.8	12.8	13	63
100	68.7	13.7	14	77
200	46.1	9.2	9	86
Pasa No. 200	68.7	13.7	14	100
Suma	500.0	100.0	100	

LIMITES EN LA GRANULOMETRIA DE LAS ARENAS
NATURAL



Proporcionamientos.

El cemento es el aglomerante por excelencia con que cuenta la industria de la construcción, ya que sus aplicaciones y usos son ilimitados y día con día se le encuentra mayor campo de aplicación mediante procedimientos adecuados y la adición de productos definidos.

Actualmente pueden fabricarse con cemento muchos y diversos productos con una resistencia prefijada; también es muy útil en la fabricación de tabiques, ladrillos, bloques, tejas, tubos, mosaicos, losas para revestimientos, etc.

El cemento está hecho por compuestos químicos definidos -- que reaccionan al contacto con el agua, la cuál debe ser tal que logre hacer reaccionar convenientemente éstos compuestos; un exceso de agua, baja el poder aglutinante de la mezcla y -- al evaporarse esa agua, deja huecos que debilitan al conjunto; si la cantidad de agua es muy poca, el cemento no logra reaccionar en su totalidad y no se consigue la trabajabilidad deseada, dejándo además huecos entre el material aglomerante y el material pétreo que debilitan al conjunto.

Por todo lo anterior, puede afirmarse que la resistencia -- de los concretos está en función de la relación: agua/cemento. Por ello, el concreto de más resistencia e impermeabilidad se rá aquel que contenga la cantidad de agua adecuada y que presente el mínimo de huecos; es decir, el de máxima compacidad. Por tanto, la dosificación óptima será aquella en la que los huecos del material inerte se llenen con la lechada: agua/cemento obligada por la resistencia que se pida.

Los hormigones o concretos son materiales de construcción que se fabrican a medida que han de emplearse; sus materias --

primas son: el cemento, agregados inertes de diversos tamaños y agua.

El revenimiento nos indica si la mezcla obtenida es fluida, semi-húmeda, seca, etc. Mientras mayor sea el revenimiento, - tendremos que la mezcla es más fluida. Por ello, tenemos que el revenimiento limita la relación agua/cemento.

Obtención Rápida de la Resistencia en Especímenes de Concreto Mediante Curado a Vapor.

Las resistencias de prueba serán de: 150 Kg/cm^2 , 250 Kg/cm^2 y 350 Kg/cm^2 , para cada una de ellas se efectuará una mezcla suficiente para elaborar 8 cilindros, de los cuales: 4 de cada resistencia se curarán a vapor y los 4 restantes se curarán en la forma tradicional para probarse a 28 días.

El revenimiento será de $10 \text{ cms.} \pm 2 \text{ cms.}$

El cemento que se utilice será Tipo I.

Se deberá reportar:

- a) Características de los materiales (grava, arena, cemento, agua).
- b) Peso Volumétrico, contenido de aire y revenimiento real del concreto fresco en cada mezcla.
- c) Peso Volumétrico y humedad de los cilindros en la prueba de ruptura. (La humedad se tomará de los fragmentos inmediatamente después de la prueba).
- d) Resistencia de los especímenes después del curado a vapor.
- e) Resistencia de los especímenes a 28 días de edad ($f'c$).
- f) Ciclo de curado acelerado a los que fueron sometidos.

Tanto la arena como la grava que se utilicen en estas pruebas, serán de los mismos bancos procurando efectuar un solo muestreo.

PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO HIDRAULICO

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES.		
		CEMENTO	ARENA	GRAVA
f'c, Kg/cm ²	150	Peso Esp. Seço Suelto, Kg/m ³ .	1515	1400 1175
Revenimiento, cms.	10	Densidad del Mat. Saturado	3.15	2.29 2.21
Tam. Máx. del Agregado..	1"	% Absorción.		7.2 4.3
Rel. Agua/Cemento.	0.80	Mod. de Finura		2.39 7.37
Agua/Saco Cemento, l	40	Tamaño Máximo		1"
Condiciones de Trabajo.. Lab.				

Materiales para Revoltura de un Saco de Cemento.

MATERIA LES	Mats. Medidos en Peso Kgs.	Propor ciones en Peso	Mats. Medidos en Volumen l	Propor ciones en Vol.	Vols. Abs. de Mat l	Cant. pa ra lm ³ . Concreto Kgs.
Cemento	50	1	33	1	16	244
Agua	40	0.80	40	-	40	195
Arena	211	4.21	151	4.6	92	1026
Grava	187	3.73	159	4.8	85	910
Sumas						2375

Observaciones y Recomendaciones: PROPORCIONAMIENTO CALCULADO - DE ACUERDO AL METODO PROPUESTO POR EL IMCYC. EL PESO VOLUMETRICO COMPACTO DE LA GRAVA ES 1282 KG/M³.

PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO HIDRAULICO

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES.		
		CEMENTO ARENA GRAVA		
f'c, Kg/cm ²	250	Peso Esp. Sego Suelto, Kg/m ³ .	1515	1400 1175
Revenimiento, cms.	10	Densidad del Mat. Saturado	3.15	2.29 2.21
Tam. Máx. del Agregado..	1"	% Absorción.	7.2	4.3
Rel. Agua/Cemento.	0.62	Mod. de Finura	2.39	7.37
Agua/Saco Cemento, l . . .	31	Tamaño Máximo		1"
Condiciones de Trabajo.. Lab.				

Materiales para Revoltura de un Saco de Cemento.

MATERIALES	Mats. Medidos en Peso Kgs.	Propor. ciones en Peso	Mats. Medidos en Volumen l	Propor. ciones en Vol. de Mat	Vols. Abs. 1	Cant. en ra lm ³ . Concreto Kgs.
Cemento	50	1	33	1	16	315
Agua	31	0.62	31	-	31	195
Arena	152	3.03	109	3.3	66	955
Grava	145	2.89	123	3.7	66	910
Sumas						2375

Observaciones y Recomendaciones:

PROPORCIONAMIENTO CALCULADO - DE ACUERDO AL METODO PROPUESTO POR EL IMCYC. EL PESO VOLUMETRICO COMPACTO DE LA GRAVA ES 1282 KG/M³.

PROPORCIONAMIENTO PARA CONCRETO HIDRAULICO

DATOS DEL PROYECTO		CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES.			
		CEMENTO ARENA GRAVA			
f'c, Kg/cm ²	350	Peso Esp. Seco Suelto, Kg/m ³ .	1515	1400	1175
Revenimiento, cms.	10	Densidad del Mat. Saturado	3.15	2.29	2.21
Tam. Máx. del Agregado..	1"	% Absorción.		7.2	4.3
Rel. Agua/Cemento.	0.48	Mod. de Finura		2.39	7.37
Agua/Saco Cemento, l . . .	24	Tamaño Máximo			1"
Condiciones de Trabajo..	Lab.				

Materiales para Revoltura de un Saco de Cemento.

MATERIA LES	Mats. Medidos en Peso Kgs.	Propor ciones en Peso	Mats. Medidos en Volumen l	Propor ciones en Vol.	Vols. Abs. de Mat l	Cant. pa ra lm ³ . Kgs.
Cemento	50	1	33	1	16	406
Agua	24	0.48	24	-	24	195
Arena	107	2.13	76	2.3	47	864
Grava	112	2.24	95	2.9	51	910
Sumas						2375

Observaciones y Recomendaciones: PROPORCIONAMIENTO CALCULADO - DE ACUERDO AL METODO PROPUESTO POR EL IMCYC. EL PESO VOLUMETRICICO COMPACTO DE LA GRAVA ES 1282 KG/M³.

Ejecución.

En el Laboratorio de la E.N.E.P.: Aragón, en la Sección de Construcción, la cámara de curado a base de vapor de agua, fue construida con: tabique de color gris (del llamado "pesado"), de medidas: 7 x 14 x 28cms., recubierta en el interior con aplanado fino de cemento Portland y en el exterior con aplanado grueso; las tapas: superior e inferior son de concreto armado, la superior permite el paso de la línea de alimentación de vapor, también cuenta con un orificio por el cual se introduce un termómetro, la tapa inferior cuenta con un orificio, el cual sirve de desagüe de la cámara de curado (dichos orificios cuentan, desde luego, con tubo de cobre ahogado en el concreto armado); la tapa de acceso de especímenes, es de lámina negra, la cual cuenta con hule perimetral para un cierre hermético y una pintura automotiva resistente al calor; para la producción del vapor se instaló un calentador semiautomático de 40 lts., de tipo doméstico; la capacidad de la cámara de curado es de 16 cilindros en posición vertical.

A continuación se presenta una:

Secuencia Fotográfica de Construcción de la Cámara de Curado a Base de Vapor.

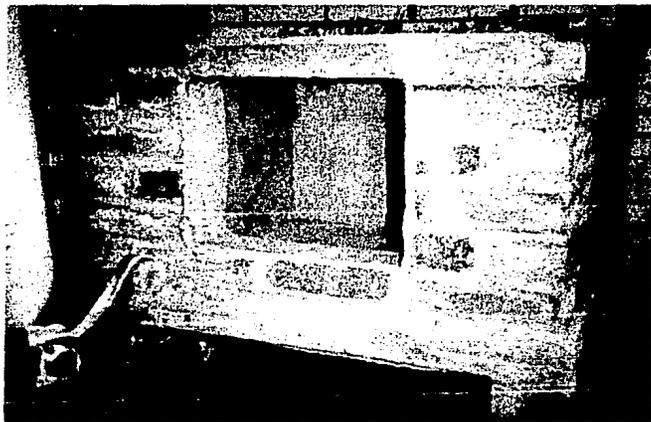


Figura 1

Figura 2



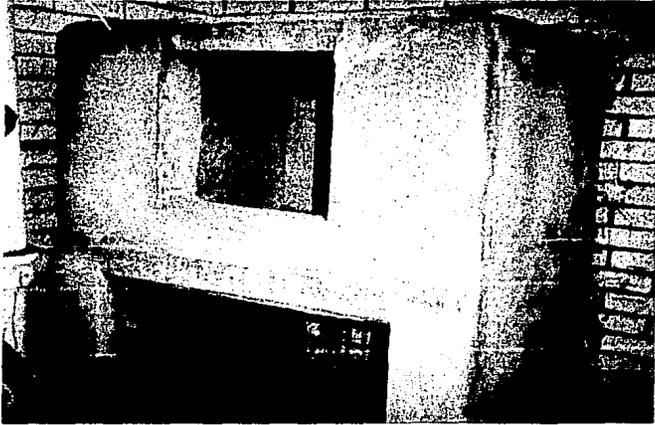
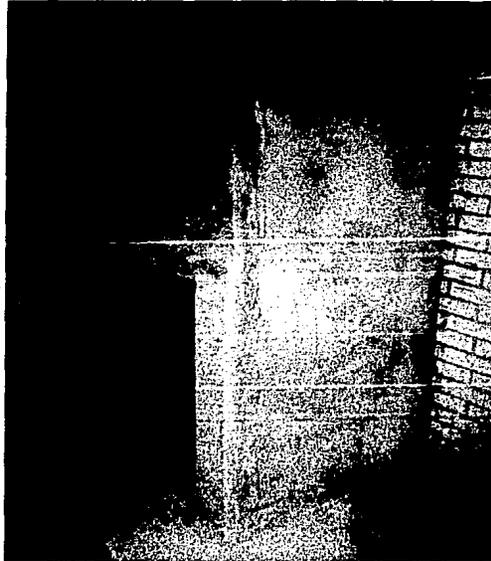


Figura 3

Figura 4



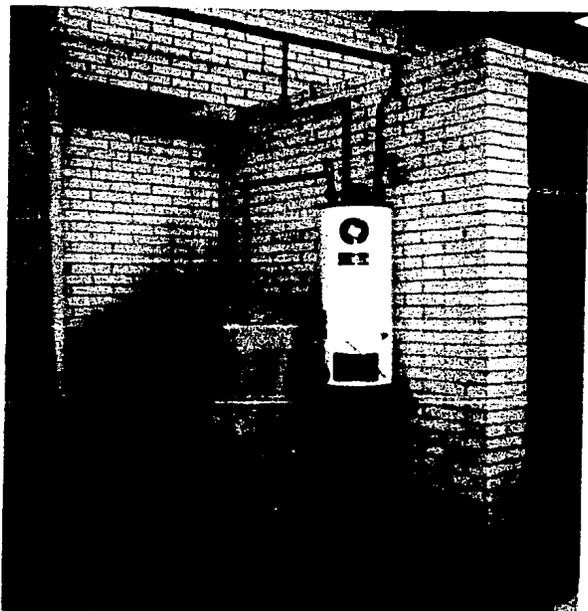


Figura 5



Figura 6

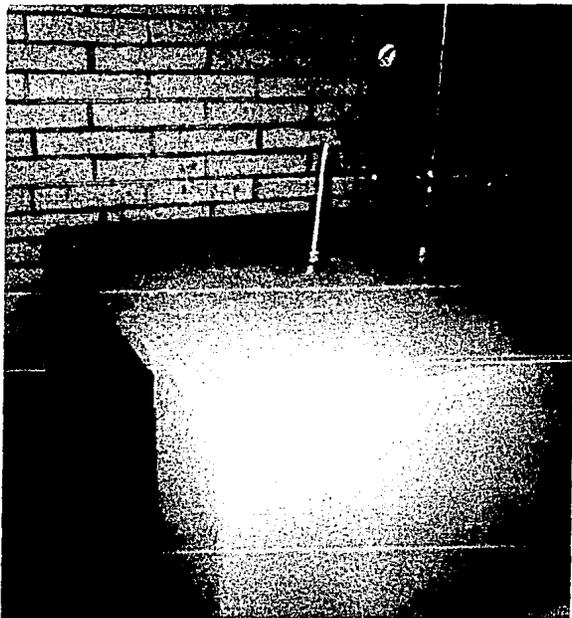


Figura 7

En la secuencia anterior: las figuras 1 y 2, muestran el tabique "pesado" de medidas 7 X 14 X 28cms. También se observan las tapas: superior e inferior de concreto armado.

En las figuras: 3 y 4, se muestra el aplanado fino en el interior de la cámara y en el exterior de la misma, el aplanado grueso.

En las figuras: 5 y 6, se puede observar instalados los sistemas de agua y gas al calentador y de éste, la línea de alimentación de vapor de agua, a la cámara de curado.

En la figura 7 y última se observa: la tapa de lámina ne--

gra con hule perimetral y pintura automotiva, el termómetro - introducido a través del orificio de la tapa superior, el manómetro y la llave de paso que controla la entrada de vapor a la cámara de curado.

Ya que se tenían instalados los sistemas de agua y gas al calentador y de éste, la línea de alimentación de vapor de agua, a la cámara de curado, se procedió a efectuar varias --- pruebas, las cuales sirvieron para comprobar el perfecto funcionamiento de los sistemas instalados y de la producción de vapor a la presión prevista y el alcance de temperatura en el tiempo deseado.

Fue así, que se llevaron a cabo durante 1 semana, 5 pruebas: en la primera prueba, como era de esperarse, se corrigieron las fugas, en las pruebas posteriores se comprobó la producción del vapor en el calentador doméstico, funcionando de esta manera como un generador de vapor a baja presión. Uno de los principales objetivos de las pruebas era alcanzar en poco más de 3 horas, 80°C. de temperatura en el interior de la cámara de curado, para tal fin se introdujo por el orificio que tiene la tapa superior, un termómetro de 40cms. de longitud a proximadamente, con el cual se puede revizar la temperatura - desarrollada durante el transcurso de la prueba en el interior de la cámara de curado.

Ya que se tenía instalado y probado el sistema para curado acelerado de probetas de concreto hidráulico a base de vapor de agua, se procedió a la determinación de la calidad de los materiales que se usarían en la elaboración de dicho concreto hidráulico, estos materiales fueron: la grava, la arena, el a gua y el cemento.

A los agregados (grava y arena), se les practicó las si---

güentes pruebas: análisis granulométrico, peso volumétrico: compacto y suelto, contenido de humedad, absorción y peso es pecífico ó densidad.

Por lo que toca al agua y al cemento, solo se analizó: fí sica y visualmente, esto es, que el agua por ejemplo, fuera: incolora e inodora; y el cemento que no estuviera hidratado (duro, con grumos).

Con los datos obtenidos de las pruebas mencionadas ante-- riormente y los ya conocidos como los del cemento por ejem-- plo, se procedió a la obtención de los proporcionamientos de los materiales que compondrían el concreto hidráulico, para tres resistencias de proyecto a la compresión, éstas fuéron de: 150 Kg/cm^2 , 250 Kg/cm^2 y 350 Kg/cm^2 . El proporcionamien-- to de cada resistencia, fue calculado de acuerdo al método - propuesto por el IMCYC.

Ya que contabamos con la dosificación para 1 m^3 de concre to hidráulico, se calculó la cantidad necesaria de dicho con creto, para llenar 8 moldes de cilindros de: 15 cms. de diáme tro (D) y 30 cms. de altura (h). Estos 8 moldes son los que posee en existencia el Laboratorio de Construcción.

Por lo tanto:

D= 0.15 m usando las formulas:
h= 0.30 m $A = \pi r^2 =$
 $V = Ah =$

Sustituyendo:

$$A = 3.1416 \left(\frac{0.15}{2} \right)^2 =$$

$$A = 0.01767 \text{ m}^2$$

$$V = 0.01767 \text{ m}^2 (0.30\text{m}) =$$

$$V = 0.0053 \text{ m}^3$$

Como son 8 cilindros:

$$0.0053 \text{ m}^3 \times 8 = 0.0424 \text{ m}^3 \quad (\text{porcentaje obtenido})$$

Ya con el porcentaje calculado, solo bastó con multipli-- car cada una de las cantidades de: Agua, Cemento, Grava y A-

rena necesarias para 1 m^3 y obtuvimos así, las cantidades de material para llenar 8 moldes de cilindros para concreto hidráulico.

Así por ejemplo, la cantidad de material para una resistencia de $F'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$, en este trabajo fue de:

Agua-----	8.27 Lts.	
Cemento-----	10.35 Kgs.	
Grava-----	38.58 Kgs.	
Arena-----	<u>43.50 Kgs.</u>	
	100.70 Kgs.	TOTAL

Con los datos anteriores, para cada ciclo de curado y para cada una de las tres resistencias de proyecto, se preparaban las cantidades de material para que al día siguiente muy temprano y después de hacer las correcciones de humedad en los agregados, se procedía a la preparación de las mezclas y elaboración de los especímenes de concreto hidráulico para iniciar el "ciclo de curado acelerado", siguiendo el horario que a continuación se presenta:

del PRIMER DIA	De 7 a 9 horas	Preparación de las mezclas y elaboración de los especímenes - de prueba.
	De 9 a 17 horas	Se mantendrán los especímenes - en reposo, a temperatura ambiente y bajo cubierta.
del SEGUNDO DIA	De 17 a 9 horas	Se mantendrán los especímenes - en reposo, cubiertos con arena húmeda.
	De 9 a 9.30 horas	Se colocarán los especímenes en la cámara de curado a base de vapor de agua.
	De 9.30 a 13 horas	Se aumentará la temperatura hasta 80°C. a razón de $23^{\circ}\text{C. / hr.}$

	De 13 a 19 horas	Se mantendrá en el interior de la cámara de curado, la temperatura de 80°C.
	De 19 a 22 horas	Se disminuirá la temperatura — hasta la del ambiente, a razón de 23°C./hr. aprox.
del TERCER DIA	De 22 a 7 horas	Se mantendrán los especímenes — en la cámara de curado a base — de vapor de agua, la cual <u>perma</u> <u>necerá</u> cerrada.
	A las 7 horas	Se procederá a la prueba de los especímenes de concreto hidráulico.

Nota: Durante el proceso de curado, los especímenes deben — permanecer en el molde.

El cálculo de material para los 8 cilindros y las correcciones de humedad, se llevaron a cabo antes de cada uno de los 12 ciclos de curado acelerado.

En cada ciclo de curado, se introdujo a la cámara de curado a base de vapor de agua, un grupo de especímenes con la — resistencia a la compresión de proyecto (f'_{cp}), formado por 4 cilindros de concreto hidráulico, de la mezcla correspondiente a cada ciclo de curado, se elaboraron otros 4 cilindros que se curaron sumergiendolos en agua durante 28 días, al cabo de los cuales se determinó la resistencia a la compresión real (f'_{cr}) y con respecto a esta última, se cálculo el porcentaje de resistencia obtenido con el curado acelerado de cada grupo.

El estudio en cuestión constó de 12 ciclos de curado, el número de cilindros de concreto hidráulico probados fue de — 96 especímenes, el cemento utilizado fue Portland Tipo I.

Después de cada ciclo de curado de 48 horas, se procedía a probar los cilindros expuestos al mencionado ciclo, a la compresión, y por lo regular se trataba de 4 cilindros de -- concreto hidráulico los cuales: se pesaban y median antes de cabecearlos con azufre en estado líquido, para inmediatamente después colocarlos en la prensa hidráulica portatil de -- 120 Ton. de capacidad, para la prueba de compresión simple -- de cilindros de concreto hidráulico.

La carga aplicada y registrada en la caratula del manómetro de la prensa, se anotaba y se procedía al cálculo de la resistencia a la compresión ($f'c$), para tal fin se usa la -- formula del esfuerzo, la cual es: $\sigma = \frac{P}{A}$

En donde: σ = Es el esfuerzo soportado a la compresión.

P = Carga aplicada y soportada por una superfi--
cie.

A = Area que soporta la carga aplicada.

IV.- RESULTADOS OBTENIDOS .

Los materiales usados en la construcción de la cámara de curado y en los ciclos de prueba, fue tomado del existente en el Laboratorio de la Sección de Construcción, por otra parte, cabe mencionar que el calentador doméstico y gran cantidad — del material que se usó en la instalación hidráulica y de gas fue conseguida por el Jefe de Laboratorios de la Sección de — Construcción, Ing. J. Paulo Mejorada Mota, el cual actuó como mediador entre la Coordinación de Ingeniería y el Departamento de Adquisiciones de la E.N.E.P.:Aragón, para el suministro y colocación de dicho material.

Después de que se llevaron a cabo las pruebas de funcionamiento de los sistemas instalados, el primer resultado satisfactorio obtenido, fue el del funcionamiento del calentador — doméstico como generador de vapor a baja presión. Simultáneamente se obtuvo la inyección de vapor a la cámara de curado, a la presión prevista y el incremento de temperatura en el — tiempo esperado. El incremento de temperatura fue a razón de 23°C. por hora, hasta alcanzar 80°C. Con respecto a la inyección del vapor producido en el calentador doméstico a la cámara de curado, no presentó ningún problema, ya que desde la — primera prueba, el manómetro instalado antes de un dispositivo de seguridad llamado "cola de cochino" y una llave de paso con la cual se controla la cantidad de vapor, marcó 0.25 Kg/cm². de presión que junto con la temperatura de 80°C. eran — los resultados esperados para llevar a un buen término el curado acelerado de los especímenes de concreto hidráulico. El

siguiente logro alcanzado fue el de mantener durante seis horas la temperatura de 80°C. en el interior de la cámara de curado, esto se logró controlando con la llave de paso, la salida de vapor de agua del calentador doméstico a la cámara de curado y verificando, por supuesto, la temperatura de 80°C. que marcaba el termómetro introducido en el orificio que posee la cámara de curado en su tapa superior de concreto armado, para tal fin. Después de mantenida la temperatura durante el tiempo mencionado, ésta se reducía hasta la del ambiente - en tres horas como mínimo y se dejaban escurrir los especímenes en la cámara de vapor cerrada durante nueve horas, al final de las cuales se efectuaban las pruebas de carga y ruptura de los especímenes. Durante el proceso de curado acelerado los especímenes permanecieron en el molde. Cuando se retiraba la tapa de acceso de especímenes a la cámara de curado, en su marco y en el hule perimetral se podía observar que había sufrido desprendimientos mínimos de pintura automotiva, por lo cual después de cada ciclo de curado acelerado se repintaba - en las partes afectadas y esto llegó a formar parte de un programa de reparación del sistema de curado, paralelo al programa de preparación de materiales para mezclas del siguiente ciclo de curado acelerado.

De los cuatro especímenes expuestos a curado acelerado, se obtuvo una resistencia a la compresión (f'_{cv}), ya que cuatro especímenes más, elaborados con la misma mezcla y resistencia a la compresión de proyecto (f'_{cp}), se destinaron a un curado normal o sea a 28 días sumergidos en agua a una temperatura de 23°C. como lo indica la especificación del Método de Prueba de la ASTM Norma C-31. La resistencia obtenida de los especímenes curados con el Método de Prueba antes mencionado a --

los 28 días, nos representó la resistencia a la compresión real (f'_{cr}) y contra la cual se calculó el porcentaje de la resistencia acelerada (f'_{cv}). Todo esto después de haber llevado a 96 especímenes de concreto hidráulico, a la prueba de — compresión; 48 especímenes curados en la cámara de curado a base de vapor de agua y 48 especímenes curados con el procedimiento normal ó estandar.

Los resultados obtenidos arriba mencionados se muestran en las tres próximas tablas, para las diferentes resistencias a la compresión de proyecto (f'_{cp}): 150 Kg/cm², 250 Kg/cm² y — 350 Kg/cm²; así también, se muestran características del concreto fresco obtenidas durante la preparación de las mezclas y elaboración de los especímenes de prueba; y resultados obtenidos de especímenes curados en la cámara de curado a base de vapor de agua (f'_{cv}); y resultados obtenidos de especímenes — curados con el procedimiento normal (f'_{cr}).

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO, REALIZADOS DE ACUERDO AL PROPORCIONAMIENTO PARA UNA F'c. DE 150 KG/CM², TANTO DE LAS CARACTERIS-
TICAS DEL CONCRETO FRESCO, COMO DE LOS ESPECIMENES CON DICHA MEZCLA.

NO. DE MEZ- CLA.	CARACTERISTICAS DEL CONCRETO FRESCO				ESPECIMENES CURADOS EN LA CAMARA DE VAPOR				ESPECIMENES CURADOS CON EL PROC. ESTANDAR				REL. DE RESIST. EN %
	PESO VQL KGS/M ³	AIRE %	COMPA- CIDAD.	REV. GMS.	PESO VQL KGS/M ³	HUME- DAD	RESIST. KGS/CM ²	PESO VQL KGS/M ³	HUME- DAD	RESIST. KGS/CM ²			
1	2290	2.0	0.93	8.0	2048	13.8	121	2028	12.8	194	62		
2	2300	2.4	0.94	9.5	2062	12.8	120	1987	11.6	194	62		
3	2335	2.6	0.95	9.5	2045	12.9	122	2030	10.4	198	62		
4	2300	3.0	0.92	9.5	2069	14.5	120	2034	12.6	187	64		

ANALISIS ESTADISTICO

X̄	2306.3	0.935	9.125	2056	13.5	120.75	2019.75	11.85	193.25	62.5
S	19.74	0.013	0.75	11.4	0.804	0.957	21.98	1.098	4.57	1.0
C.V.	0.0086	0.014	0.082	0.0055	0.0596	0.0079	0.011	0.0927	0.024	0.016

NOTA.- Las cantidades arriba presentadas se obtuvieron del promedio de cuatro probetas.

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO, REALIZADOS DE ACUERDO AL PROPORCIONAMIENTO PARA UNA F'c. DE 250 KG/CM², TANTO DE LAS CARACTERIS-
TICAS DEL CONCRETO FRESCO, COMO DE LOS ESPECIMENES CON DICHA MEZCLA.

NO. DE MEZ- CLA.	CARACTERISTICAS DEL CONCRETO FRESCO				ESPECIMENES CURADOS EN LA CAMARA DE VAPOR			ESPECIMENES CURADOS CON EL PROC. ESTANDAR			REL. DE RESIST. EN
	PESO VQL KGS/M ³	AIRE %	COMPA- CIDAD.	REV. CMS.	PESO VQL KGS/M ³	HUME- DAD %	RESIST. KGS/CM ²	PESO VQL KGS/M ³	HUME- DAD %	RESIST. KGS/CM ²	%
1	2310		0.94	9.0	2102	10.5	137	2047	8.7	237	58
2	2320		0.93	9.5	2070	10.1	128	2051	8.9	240	53
3	2310		0.94	9.0	2047	10.5	132	2042	9.4	255	52
4	2310		0.94	9.5	2076	10.8	135	1985	9.6	222	61

82

ANALISIS ESTADISTICO

\bar{X}	2312.5		0.938	9.25	2073.8	10.48	133	2031.25	9.15	238.5	56
S	5.0		0.005	0.289	22.6	0.287	3.92	31.05	0.42	13.528	4.243
C.V.	0.0022		0.0053	0.0312	0.011	0.027	0.029	0.015	0.0459	0.0567	0.076

NOTA.- Las cantidades arriba presentadas se obtuvieron del promedio de cuatro probetas.

RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA MEZCLA DE CONCRETO HIDRAULICO, REALIZADOS DE ACUERDO AL PROPORCIONAMIENTO PARA UNA F'c. DE 350 KG/CM², TANTO DE LAS CARACTERISTICAS DEL CONCRETO FRESCO, COMO DE LOS ESPECIMENES CON DICHA MEZCLA.

NO. DE MEZ- CLA.	CARACTERISTICAS DEL CONCRETO FRESCO				ESPECIMENES CURADOS EN LA CAMARA DE VAPOR				ESPECIMENES CURADOS CON EL PROC. ESTANDAR				REL. DE RESIST. EN %
	PESO VQL KGS/M ³	AIRE COMPACTAD. %	REV. CMS.	RESIST. KGS/CM ²	PESO VQL KGS/M ³	HUMEDAD %	RESIST. KGS/CM ²	PESO VQL KGS/M ³	HUMEDAD %	RESIST. KGS/CM ²			
1	2320		0.92	9.5	2149	9.4	203	2078	8.1	318	64		
2	2340		0.93	8.5	2122	9.5	197	2062	8.4	298	66		
3	2380		0.95	9.0	2119	9.6	199	2060	8.6	317	63		
4	2335		0.94	9.0	2123	9.6	198	2045	8.5	291	68		

ANALISIS ESTADISTICO

\bar{X}	2343.8	0.935	9.0	2128.3	9.525	199.25	2061.25	8.4	306	65.3
S	25.62	0.013	0.408	13.94	0.096	2.6299	13.4999	0.216	13.589	2.2174
C.V.	0.0109	0.014	0.045	0.0066	0.01	0.0132	0.00655	0.026	0.0444	0.0339

NOTA.- Las cantidades arriba presentadas se obtuvieron del promedio de cuatro probetas.

Con el curado acelerado se obtuvieron resistencias a la -
compresión (f'_{cv}), cuyos porcentajes promedio respecto a la
resistencia a la compresión a 28 días (f'_{cr}), o sea la resis-
tencia a la compresión real, son las siguientes:

f'_{cr} (Kg/cm ²)	f'_{cv} (Kg/cm ²)	Relación de Resistencia (%)	Probetas Ensayadas. (Unidades)
193.3	120.8	62.5	32
238.5	133.0	55.8	32
306.0	199.3	65.1	<u>32</u>
			<u>96</u> TOTAL.

A manera de comentario se presenta el cálculo del rendi-
miento y el contenido de aire en el concreto fresco ya que en
el Capítulo II se hizo lo propio con la compactación.

El rendimiento del concreto en volumen deberá calcularse -
como sigue: $R = \frac{S}{N}$

En donde: R= Rendimiento del concreto producido por saco -
de cemento de cincuenta (50) Kgs., en metros cúbicos.

S= Volumen de concreto producido por revoltura,
en metros cúbicos.

N= Número de sacos de cemento que han entrado en
la revoltura.

El consumo real de cemento deberá calcularse de la manera
siguiente: $N_1 = \frac{1}{R}$, ó bien: $\frac{N}{S}$

En donde: N_1 = Número de sacos de cemento por metro cúbico
de concreto producido (consumo real de cemento).

R= Rendimiento en volumen del concreto producido
por saco de cemento con peso de cincuenta (50) Kgs., en me---

Con el curado acelerado se obtuvieron resistencias a la -
compresión (f'_{cv}), cuyos porcentajes promedio respecto a la
resistencia a la compresión a 28 días (f'_{cr}), o sea la resis-
tencia a la compresión real, son las siguientes:

f'_{cr} (Kg/cm ²)	f'_{cv} (Kg/cm ²)	Relación de Resistencia (%)	Probetas Ensayadas. (Unidades)
193.3	120.8	62.5	32
238.5	133.0	55.8	32
306.0	199.3	65.1	32
			<u>96</u> TOTAL.

A manera de comentario se presenta el cálculo del rendi-
miento y el contenido de aire en el concreto fresco ya que en
el Capitulo II se hizo lo propio con la compacidad.

El rendimiento del concreto en volumen deberá calcularse -
como sigue: $R = \frac{S}{N}$

En donde: R= Rendimiento del concreto producido por saco -
de cemento de cincuenta (50) Kgs., en metros cúbicos.

S= Volumen de concreto producido por revoltura,
en metros cúbicos.

N= Número de sacos de cemento que han entrado en
la revoltura.

El consumo real de cemento deberá calcularse de la manera
siguiente: $N_1 = \frac{1}{R}$, ó bien: $\frac{N}{S}$

En donde: N_1 = Número de sacos de cemento por metro cúbico
de concreto producido (consumo real de cemento).

R= Rendimiento en volumen del concreto producido
por saco de cemento con peso de cincuenta (50) Kgs., en me---

tros cúbicos.

N= Número de sacos de cemento que entran en una revoltura.

S= Volumen de concreto producido por revoltura, en metros cúbicos.

El contenido de aire deberá calcularse de la siguiente manera: $A = \frac{T - P}{T} \times 100$

O también por medio de la formula: $A = \frac{S - V}{S} \times 100$

En donde: A= Contenido de aire (porcentaje de vacios) en el concreto.

P= Peso del concreto, en Kgs., por metro cúbico.

S= Volumen del concreto producido por revoltura, en metros cúbicos.

V= Volumen Absoluto total de los ingredientes -- que integran una revoltura, en metros cúbicos.

T= Peso teórico del concreto, en Kgs., por metro cúbico, calculado sobre la base de un concreto sin aire.

El peso teórico por metro cúbico del concreto es, por costumbre, una determinación que se hace en el laboratorio, cuyo valor se supone siempre constante para dosificaciones determinadas, elaboradas con componentes y proporciones idénticos. - Se calcula partiendo de la formula: $T = \frac{P_1}{V}$

En donde: P_1 = Peso total de los ingredientes que componen una revoltura, en Kgs.

El volumen absoluto de cada ingrediente es igual al cociente del peso de este ingrediente entre su densidad. Para los agregados, la densidad aparente y el peso deben basarse en una condición de agregados saturados y superficialmente secos. Pa

ra el cemento, puede usarse un valor de 3.15, a menos que la densidad real sea determinada, en este trabajo, para efectos de cálculo se usó el mencionado valor de 3.15.

V.- ESTUDIOS ESTADÍSTICOS .

En la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, se llevo a cabo un programa preliminar con el objeto de obtener alta resistencia rápida en cilindros de concreto hidráulico mediante curado a base de vapor de agua, en las Unidades de Laboratorio de los Centros SAHOP: Morelos, Oaxaca y Veracruz, después de que el Departamento de Laboratorios envió instrucciones a los Centros SAHOP mencionados para que instalaran en su Laboratorio el sistema prototipo, para conseguir el objetivo arriba descrito.

Los datos para el programa, fueron proporcionados por el M. I. Fernando Olivera Bustamante, Supervisor de Laboratorios en el año de 1978 y en una evaluación que hizo el Departamento de Ensaye de Materiales, se llegó a la conclusión de que el programa preliminar podia calificarse de aceptable, a continuación se presenta un resumen del desarrollo del programa, así como también de los resultados.

El sistema para curado acelerado de probetas de concreto hidráulico a base de vapor de agua, consiste: en una cámara cerrada capaz de mantener en su interior temperaturas que no excedan de 100°C., en la cual se inyecta en forma controlada vapor de agua a baja presión.

Del estudio de las instalaciones del sistema en las Unidades de Laboratorios de los Centros SAHOP en: Cuernavaca, Mor. Jalapa, Ver. y Oaxaca, Oax., se determinó que el funcionamiento más satisfactorio se logró en Jalapa, Ver. y es el que bá-

sicamente fué construído en el Laboratorio de la E.N.E.P.: Aragón.

En las tres Unidades mencionadas se implementaron las cámaras de curado a base de vapor con las siguientes variantes:

En la Unidad de Laboratorios del Estado de Morelos, la cámara de vapor fue construída con mampostería de tabique recocido y recubierta interiormente con aplanado fino de cemento y exteriormente con aplanado grueso, las tapas: superior e inferior son de concreto armado, la capacidad es para 16 cilindros: 12 en posición vertical y 4 en posición horizontal, la fuente de calor es un mechero de gas con la potencia necesaria para alcanzar y mantener las temperaturas requeridas. La cámara productora de vapor consiste de un recipiente en forma de prisma cuadrangular de lámina de 40 X 40 X 20cms., con una placa perforada del mismo material en el interior, para aumentar la presión del vapor a su salida.

El número de especímenes probados fue de 280 cilindros.

En el Estado de Veracruz, la cámara de curado es del mismo tipo de la de Morelos, con capacidad de 12 cilindros en posición vertical; para la producción del vapor se instaló un calentador semi-automático de 20 lts., de tipo doméstico.

El número de especímenes probados fue de 360 cilindros.

A diferencia de las dos Unidades de Laboratorios anteriores, en las que el cemento utilizado fue tipo I, en la del Estado de Oaxaca, se utilizó cemento tipo II, debido a que al iniciarse las pruebas no había en el mercado el cemento que se había indicado en las instrucciones; la cámara de vapor es de las mismas características de la del Estado de Veracruz; para la producción de vapor se utilizaron dos recipientes cilíndricos de aproximadamente 20 lts., cada uno y la fuente de calor

son mecheros de gas. En esta Unidad, además de haberse efectuado un estudio completo con el ciclo de curado según las instrucciones, se efectuó también un estudio completo cambiando el tiempo inicial de reposo a 4 horas, en lugar de las 24 horas que se habían estipulado.

En cada ciclo de curado en las 3 Unidades de Laboratorios se introdujeron a la cámara, tres grupos de diferentes resistencias formadas por 4 especímenes, de la mezcla correspondiente a cada grupo se elaboraron otros 4 especímenes que se curaron sumergiéndolos en agua durante 28 días, al cabo de los cuales se determinó el F'c y se calcularon los porcentajes con respecto a ésta última, de la resistencia promedio de cada grupo con curado a vapor.

Los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas en cada uno de los Estados se muestran en las próximas tablas, en las cuales se muestra la media (\bar{x}) y desviación estándar (S) de los porcentajes para la resistencia a 28 días agrupadas en intervalos de 50 Kg/cm²; en la parte inferior de cada tabla se indica: la media, desviación estándar y el coeficiente de variación de todos los porcentajes obtenidos en cada Unidad de Laboratorios.

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA
UNIDAD DE LABORATORIOS DEL CENTRO SAHOP MORELOS

RESISTENCIAS EN POR CIENTO OBTENIDAS DE PROBETAS CURADAS A
VAPOR EN RELACION A LAS OBTENIDAS A LOS 28 DIAS DE EDAD (F'c)
CON CURADO DE INMERSION EN AGUA.

CEMENTO TIPO I, CICLO DE 48 HORAS.

F'c	200	250	300	350	400
	73	58	61	69	70
	69	70	58	61	67
	60	70	73	68	77
	65	68		66	75
	68	68		73	
	57	63		64	
	53	63		58	
	57	72		58	
	64			65	
				66	
				77	
Promedio	62.89	66.50	64.00	65.90	72.25
Desviación Estándar	6.58	4.72	7.94	5.84	4.57

VALORES GLOBALES.

PROMEDIO.....	65.83
DESVIACION ESTANDAR.....	6.16
COEFICIENTE DE VARIACION...	9.35

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA
UNIDAD DE LABORATORIOS DEL CENTRO SAHOP VERACRUZ

RESISTENCIAS EN POR CIENTO OBTENIDAS DE PROBETAS CURADAS A
VAPOR EN RELACION A LAS OBTENIDAS A LOS 28 DIAS DE EDAD (F°c)
CON CURADO DE INMERSION EN AGUA.

F°c	CEMENTO TIPO I, CICLO DE 48 HORAS.						
	200	250	300	350	400	450	500
	65	78	61	70	64	72	69
	74	72	69	76	69	75	68
	63	76	65	65	78	70	
	71	75	75	66		63	
	75	70	65	70		67	
	64	78	75	71		70	
		77	60	64		67	
		60		59		62	
				79		79	
				66			
Promedio	68.67	73.25	66.83	68.60	70.33	69.44	68.50
Desviación Estándar	5.32	6.07	6.65	5.89	2.36	5.42	7.07

VALORES GLOBALES.

PROMEDIO.....	69.59
DESVIACION ESTANDAR.....	5.75
COEFICIENTE DE VARIACION...	8.26

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA
UNIDAD DE LABORATORIOS DEL CENTRO SAHOP CAXACA

RESISTENCIAS EN POR CIENTO OBTENIDAS DE PROBETAS CURADAS A
VAPOR EN RELACION A LAS OBTENIDAS A LOS 28 DIAS DE EDAD (F'c)
CON CURADO DE INMERSION EN AGUA.

CEMENTO TIPO II, CICLO DE 48 HORAS.

F'c	150	200	250	300	350
	62	60	63	73	79
		64	67	69	73
		57	71	74	71
		57	73	70	74
		56	67	81	
		59	75	76	
		63	69	74	
			70		
Promedio	62.00	59.43	69.34	73.80	74.25
Desviación Estándar		3.10	3.78	3.98	3.40

VALORES GLOBALES.

PROMEDIO.....	68.40
DESVIACION ESTANDAR.....	6.92
COEFICIENTE DE VARIACION...	10.12

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA
UNIDAD DE LABORATORIOS DEL CENTRO SAHOP OAXACA

RESISTENCIAS EN POR CIENTO OBTENIDAS DE PROBETAS CURADAS A
VAPOR EN RELACION A LAS OBTENIDAS A LOS 28 DIAS DE EDAD (F'c)
CON CURADO DE INMERSION EN AGUA.

CEMENTO TIPO II, CICLO DE 24 HORAS.

F'c	150	200	250	300	350
	69	51	71	67	73
	56	55	74	79	
	58	65	76	74	
	67	69	69	75	
	54		75	79	
	56		69		
	58		78		
	52		67		
	56				
Promedio	58.44	60.00	72.38	74.80	73.00
Desviación Estándar	5.75	8.41	3.93	4.92	

VALORES GLOBALES.

PROMEDIO.....	68.37
DESVIACION ESTANDAR.....	9.00
COEFICIENTE DE VARIACION..	13.56

Se puede notar que los resultados obtenidos en las 3 Unidades son del mismo orden, aún los obtenidos en la Unidad -- del Estado de Oaxaca para los especímenes con reposo inicial de 4 horas.

La media para todos los especímenes probados es de 67.68% del F'c con desviación estándar de 6.94 y coeficiente de variación de 10.25 %.

Es conveniente hacer notar que en los resultados obtenidos en Oaxaca, en donde se usó cemento tipo II, se nota una ligera tendencia a que la media (\bar{x}) se incremente al aumentar la resistencia, por lo que el coeficiente de variación -- fue mayor. Lo anterior puede ser debido principalmente al tipo de agregado usado, el cual fue grava de río y la adherencia no es buena, lo cual se refuerza con el hecho de que fue difícil alcanzar resistencias arriba de 300 a 350 Kg/cm².

Ya conocidos los porcentajes de resistencia acelerada --- (F'cv), con respecto a la resistencia real (F'cr), se elaboraron las siguientes tablas para poder apreciar la correlación de dichas resistencias y analizar los resultados obtenidos en el Laboratorio de la E.N.E.P.: Aragón con los obtenidos en los Laboratorios de: Morelos, Veracruz y Oaxaca.

Por lo tanto el % de resistencias obtenidas en cilindros curados a vapor (f'cv), en relación a los obtenidos a los 28 días de edad (f'cr), con curado de inmersión en agua, fue de:

PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESION REAL (f'cr) DE
200 Kg/cm².

	E.N.E.P.:A.	MORELOS	VERACRUZ	OAXACA (48 hrs)	OAXACA (24 hrs)
\bar{x}	62.5	62.9	68.7	59.3	60.0
S	1.0	6.6	5.3	3.8	8.4

PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESION REAL (f'_{cr}) DE
250 Kg/cm².

E.N.E.P.:A.	MORELOS	VERACRUZ	OAXACA (48 hrs)	OAXACA (24 hrs)
\bar{x}	56.0	62.9	73.3	72.4
S	4.2	6.6	6.1	3.9

PARA LA RESISTENCIA A LA COMERESION REAL (f'_{cr}) DE
300 Kg/cm².

E.N.E.P.:A.	MORELOS	VERACRUZ	OAXACA (48 hrs)	OAXACA (24 hrs)
\bar{x}	65.3	64.0	66.8	74.8
S	2.2	7.9	6.7	4.9

VI.- CONCLUSIONES .

1.- Se acepta en este trabajo, que el curado de cilindros de concreto hidráulico, por medio de vapor de agua para alcanzar resistencia a la compresión a temprana edad, es satisfactorio.

2.- La importancia de este método de curado, estriba en que se puede tener idea de la resistencia a la compresión -- (f'c) de proyecto a las 48 horas de edad del concreto, después del colado de una estructura ó de haberse elaborado un proporcionamiento.

3.- Las resistencias alcanzadas por los especímenes cilíndricos de prueba, objeto de la investigación de éste trabajo, son satisfactorias, ya que son del mismo orden (61 %), de las que se alcanzaron en las Unidades de Laboratorio ---- SAHOP en: Cuernavaca, Mor., Jalapa, Ver. y Oaxaca, Oax.

4.- Se considera aceptable el comportamiento de la "Cámara de Curado" que se construyó en el Laboratorio de Materiales en la Sección de Construcción de la E.N.E.P.: Aragón, por lo que puede ser utilizada por los estudiantes de Ingeniería Civil, para efectuar las pruebas e investigaciones sobre el tema desarrollado en este trabajo de Tesis, de acuerdo a los programas de estudio.

5.- El horario de curado se puede adaptar de tal manera que resulte un control eficiente de las temperaturas desarrolladas a lo largo de la prueba.

6.- Se considera que este trabajo, representa un exórtto a los pasantes de Ingeniería Civil, para llevar a cabo trabajos como el que aquí se presenta, los cuales permitirán brindar una mejor capacitación para el estudiante de Ingeniería.

B I B L I O G R A F I A .

AN ACCELERATED METHOD OF ESTIMATING THE 28-DAY SPLITTING-TENSILE AND FLEXURAL STRENGTHS OF CONCRETE.

V.M. Malhotra, Mineral Sciences Laboratories, Canada Centre -- for Mineral and Energy Technology Department of Energy, Mines and Resource, Ottawa, Canada. 1976.

EXPERIENCE IN THE USE OF THE ACCELERATED TESTING PROCEDURE --- (BOILING WATER METHOD) FOR THE CONTROL OF CONCRETE DURING THE CONSTRUCTION OF THE TUNNEL "EMISOR CENTRAL" IN MEXICO CITY. Roberto Sánchez-Trejo y Lorenzo Flores Castro. ACI. Fall Meeting, October 1976, México City, MEXICO.

QUALITY CONTROL OF CONCRETE BY MEANS OF SHORT-TERMED TESTS AT LA ANGOSTURA HYDROELECTRIC PROJECT, STATE OF CHIAPAS, MEXICO. Manuel Mena-Ferrer. ACI. Fall Convention. México City, October 24-29, 1976.

A NEW METHOD AND APPARATUS FOR ACCELERATED STRENGTH TESTING OF CONCRETE.

K.W. Nasser. ACI. International Symposium on Accelerated Strength Testing. October 24-29. México City, MEXICO.

ADAPTATION OF ACCELERATED STRENGTH TESTING METHODS FOR CONCRETE QUALITY CONTROL AND QUALITY ASSURANCE.

Tarun R.Naik, Proceedings of the International Symposium on Accelerated Strength Testing, México City, MEXICO, October 1976.

INFLUENCE OF INITIAL CONCRETE TEMPERATURE ON ACCELERATED STRENGTH TESTS RESULTS FROM EXPANDED POLYSTYRENE MOLDS.

André Bisailon, Presented at the 1976. Fall Convention. ACI. México City, MEXICO, October 24-29, 1976.

ACCELERATED TESTS APPLIED TO CONCRETE PREPARED WITH SLAG CEMENT.

L.A. Falcão, Bauer y Lucy Inez Olivan, 1976.

PROYECTO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO.

Portland Cement Association, 1978.

NORMAS PARA CONCRETO (MANUAL).

S. A. R. H.

PROGRAMA PARA LA IMPLANTACION DE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRAULICO A TEMPRANA EDAD.

Ing. Fernando Olivera Bustamante. Llevado a cabo en las Unidades de Laboratorio de los Centros SAHOP: Morelos, Oaxaca y Veracruz. 1978.

TECNOLOGIA DEL CONCRETO.

A.M. Neville, vol. II.

ESTUDIO DEL CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.

Rodríguez Pulido, Servando. TESIS.

TRATADO DE CONSTRUCCION.

Antonio M. Saad, TOMO I.

ACCELERATED CURING TEST. HARDENED CONCRETE: PHYSICAL AND MECHANICAL ASPECTS.

Detroit, Mich. ACI. Monograph No. 6, 260 p. 1971.

ACCELERATED STRENGTH TESTING.

Detroit, Mich. ACI. SP. 56. 1978. 328 p.

ENSAYES ACELERADOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE PAVIMENTOS DE CONCRETO.

México. Seminario Internacional sobre Tecnología del Concreto. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Autónoma de Nuevo León. 1972. 162-180 p.

EL DESARROLLO DE RESISTENCIA EN EL CONCRETO CON CURADO ACELERADO.

Estrada Velasco, Manuel. Revista IMCYC. México. vol. XII, No. 69, JUL-AGO. 1974. 59-73 p.

ENSAYE ACELERADO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO A LOS 28 DIAS.

Malhotra, V.M. Revista IMCYC. México. Vol. 6, No. 34. SEP-OCT. 1968. 16-39 p.

PREDICCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO MEDIANTE CURADO ACELERADO.

Martínez Molina, Guillermo y González Cuevas, Oscar. Ingeniería. México. Vol. XLII, No. 4. OCT-DIC. 1972. 445-452 p.

NEW TECHNIQUES OF ACCELERATED CONCRETE CURING. N. Z. CONCRETE CONSTRUCTION.

Nueva Zelanda. Vol. 16, No. 1, Febrero 1972. 28-29 p.

EVALUACION DE LOS ENSAYES ACELERADOS EN EL CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.

S. Zúñiga, Revista IMCYC, Vol. 7, No. 40. México, D.F. 1969.