



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**COMPARACIÓN DEL CURADO POR INMERSIÓN Y EL CURADO
ACELERADO POR EBULLICIÓN A ESPECÍMENES DE CONCRETO
HIDRÁULICO**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Carlos Eduardo Bustos Ortiz

Br. Gilton Manuel De Falco Da Silva Rodríguez

Tutor

Ing. Israel Morales

Managua, Octubre 2016

DEDICATORIA

A Dios.

Por darnos la oportunidad de vivir y por estar con nosotros en cada paso que damos, por fortalecer nuestros corazones e iluminar nuestra mente y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A nuestros Padres

Por ser el pilar fundamental en todo lo que somos, en toda nuestra educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A nuestros Docentes

Johnny Robles por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta investigación; al Ing. Juan Carlos Mendoza por su apoyo ofrecido en este trabajo; al Ing. Israel Morales por servirnos como tutor de la monografía y apoyarnos en su momento.

AGRADECIMIENTOS

“Honor a quien Honor merece”, este trabajo de meses, de mucha dedicación y de mucho esfuerzo es debido al apoyo incondicional de la persona que siempre está de nuestro lado, Dios, es la persona que nos dio energías, ánimos y entusiasmo para día con día seguir avanzando en nuestros estudios, se lo debo totalmente a él. Le agradezco también por haber puesto a personas que brindaron su apoyo incondicional para este largo camino.

Br. Carlos Eduardo Bustos Ortiz

Gracias DIOS por darme la oportunidad de vivir, culminar esta etapa de mi vida, al mismo tiempo, darle gracias por la sabiduría, fe, madurez y paciencia con la que afronte las dificultades presentadas durante mi proceso de formación, le agradezco a mi madre por su apoyo, confianza, recomendaciones y motivación para seguir adelante.

Br. Guilton Manuel De Falco Da Silva Rodríguez

RESUMEN DEL TEMA

El tema titulado "COMPARACIÓN DEL CURADO POR INMERSIÓN Y EL CURADO ACELERADO POR EBULLICIÓN A ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO" tiene como finalidad comparar ambos métodos de curado del concreto en base a su resistencia.

El tema se desarrollara en los siguientes capítulos:

- Capítulo 1: Marco Referencial

Acá abarcaremos toda información relevante para el entendimiento del trabajo monográfico.

- Capítulo 2: Ensayes para los Agregados y Aglomerantes del Concreto

En este capítulo detallaremos los ensayes que se realizaron para los agregados y el aglomerante.

- Capítulo 3: Proceso Para el Diseño de concreto

Se detallara el procedimiento a seguir en el proceso para el diseño del concreto mostrando procedimiento, tablas y formulas a utilizar.

- Capítulo 4: Proceso Comparativo

En este capítulo se establecen de qué manera compararemos ambos procedimientos en estudio.

- Capítulo 5: Desarrollo Ingenieril

Este capítulo nos mostrara los resultados obtenidos para cada ensaye de los agregados y aglomerante, así también como el diseño definitivo y la comparación de resistencias de los métodos en estudio.

- Capítulo 6: Conclusiones

Se hará referencia de manera breve los resultados y conclusiones definitivas de la investigación monográfica.

- Capítulo 7: Recomendaciones

Se establecerán recomendación para mejorar el procedimiento de estudio.

- Capítulo 8: Bibliografía

INDICE

	Pagina
Introducción	1
Antecedentes	2
Justificación	4
Objetivos	5
Objetivo General	5
Objetivo Especifico	5
CAPITULO 1: MARCO TEORICO	6
1.1. Cemento	7
1.1.1. Fabricación del Cementos Según Cemex Nicaragua	8
1.1.2. Características de los cementos fabricados en NIC.	10
1.1.3. Propiedades físico químicas del cemento	11
1.2. Grava	11
1.2.1. Aplicación	12
1.2.2. Obtención	12
1.3. ARENA	13
1.4. AGUA	13
1.5. CONCRETO	13
1.6. CURADO DEL CONCRETO	17
1.6.1. Objetivo fundamental del curado del concreto	17
1.6.2. Cuando y como curar del concreto	17
1.7. MECANICA DEL CURADO	18
1.8. CURADO POR INMERSION	19
1.9. CURADO ACELERADO	20
1.9.1. Uso y significado	22
1.9.2. Equipo	23
1.9.3. Procedimiento por el método de ebullición modificado	24
1.10. OTROS TIPOS DE CURADO	25
1.10.1. Curado mediante el uso de aspersores	25
1.10.2. Curado con arena, tierra y aserrín	26
1.10.3. Materiales Sellantes	26
1.11. COMPUESTOS DEL CURADO	27
1.12. SECUENCIA DEL CURADO Y DURACION DE LAS DIFERENTES ETAPAS	28
1.13. DURACION DEL CURADO	30
CAPITULO 2: ENSAYES PARA LOS AGREGADOS Y AGLOMERANTE DEL CONCRETO	31

CAPITULO 3: PROCESO PARA EL DISEÑO DE CONCRETO	34
3.1. METODO DE LA ACI 211	34
CAPITULO 4: PROCESO COMPARATIVO	41
4.1. Resistencia del concreto	41
4.1.1. Estimación de Resistencia (regresión lineal)	41
CAPITULO 5: DESARROLLO INGENIERIL	45
5.1. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES	45
5.1.1. Ubicación de las fuentes de los materiales	45
5.2. CALCULOS DE LOS ENSAYES PARA LOS AGREGADOS DEL CONCRETO	46
5.2.1. Pesos unitarios y porcentaje de Vacíos en agregados para concreto. ASTM C 29-97.	46
5.2.2. Determinación de la gravedad específica y porcentaje de Absorción del agregado fino. ASTM C-128	53
5.2.3. Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado GRUESO. ASTM C-127	54
5.2.4. Determinación del análisis granulométrico. ASTM C 136	55
5.3. INTERPRETACION DE RESULTADOS DE LOS ENSAYES PARA LOS AGREGADOS DEL CONCRETO	61
5.4. CALCULOS DE LOS ENSAYES PARA EL CEMENTO	63
5.4.1. Densidad del cemento Hidráulico. ASTM C 0188-95	63
5.4.2. Determinación de la consistencia normal del cemento Hidráulico ASTM C 197-86.	64
5.4.3. Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico. ASTM C 191-92.	65
5.5. INTERPRETACION DE RESULTADOS DE LOS ENSAYES PARA EL CEMENTO.	73
5.6. RESUMEN DE RESULTADOS	75
5.7. DISEÑO DE CONCRETO	77
5.8. AJUSTES DEL DISEÑO	82
5.8.1. Diseño Definitivo	85
5.8.2. Comportamiento del concreto de acuerdo a las cargas aplicadas en el ensaye de esfuerzo a la compresión.	88
5.9. RESULTADO DEL DISEÑO PARA LOS METODOS COMPARATIVOS	89
5.10. ESTIMACION DE RESISTENCIA	91
5.10.1. Estimación de resistencias a partir de resistencias del método ebullición modificado	91
5.10.2. Estimación de resistencias a partir de resistencias de concreto con 1 día de edad.	94

5.10.3.	Estimación de resistencias aceleradas a partir de resistencias de concreto con 1 día de edad.	97
5.11.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADO DEL PROCESO COMPARATIVO	99
5.11.1.	Comportamiento del concreto curado por el método ebullición modificado.	99
CAPITULO 6: CONCLUSIONES		102
CAPITULO 7: RECOMENDACIÓN		104
CAPITULO 8: BIBLIOGRAFIA		106
ANEXOS		

INTRODUCCION

Existen múltiples métodos para curar el concreto, desde una simple inmersión en agua hasta la utilización de vapor y de papel impermeable, cada uno de estos métodos tienen sus variantes que los diferencian en su aplicación, desarrollo y resultados, pero el fin de ellos es el mismo, que es garantizar las condiciones óptimas de humedad y temperaturas necesarias para que el concreto desarrolle su resistencia potencial (compresión y flexión).

La presente investigación titulada "COMPARACIÓN DEL CURADO POR INMERSIÓN Y EL CURADO ACELERADO POR EBULLICIÓN A ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO" tiene como fin determinar y comparar la resistencia a compresión que alcancen los especímenes curados por ambos métodos.

Dicha comparación se llevó a cabo para poder corroborar si el método acelerado de estudio puede predecir la resistencia de un concreto a los 28 días de edad o alcanzar una resistencia máxima en un ciclo de curado alrededor de las 3 horas y media como lo indica la norma ASTM C 684.

Para llevar a cabo esta investigación se diseñó un concreto de 3000 psi por el método de la ACI. Los materiales que se utilizaron para el diseño fueron de origen local que fueron previamente caracterizados con laboratorios específicos basados en las normas ASTM.

Al obtener el diseño definitivo se realizó el desarrollo comparativo reproduciendo el diseño, curando los especímenes por ambos métodos obteniendo de ellos datos de resistencias. Por método estadístico (método de regresión) se logró llegar a una ecuación capaz de predecir resistencias futuras.

ANTECEDENTES

El método más utilizado para curar especímenes de concreto y que se ha denominado como el curado tradicional es el método por inmersión debido a su sencillez ya que radica en sumergir en agua el concreto durante 28 días para que este alcance su resistencia máxima.

Pero la ASTM inicio evaluaciones con miras al desarrollo de un ensaye acelerado que permitiera acelerar el proceso de curado de los especímenes de concreto.

Estudios Previos de los ensayos Acelerados

Según T. N. Akroyd ensayó varios métodos acelerados y concluyó en que el método de "ebullición modificado" resulto el más eficiente y proporciona mejores resultados que los otros.

Por otra parte, Las investigaciones realizadas en el Instituto Central de Investigaciones de la Construcción han conducido a la conclusión de que el método que usa agua a 55°C, adoptado por el Comité Inglés de Ensayos Acelerados, proporciona resultados suficientemente dignos de confianza.

Investigaciones realizadas durante la construcción de la presa de Idukki en el Estado de Kezala condujeron a la adopción del método "ebullición modificado" recomendado por Malhotra y Zoldners

El método por retención del calor producido en la hidratación requiere un plazo de curado más largo. Los resultados son muy afectado por la temperatura del hormigón al finalizar el amasado; es poco lo que se aumenta la resistencia cuando se ensayan cementos de poco calor de hidratación.

A partir de los datos previos antes mencionados **KRISHNA IYER Y SUKESAN NAIR** realizaron el método de ebullición con los siguientes materiales:

Materiales y equipo utilizado

Cemento: Portland ordinario.

Árido fino: Arena de río.

Árido grueso: Granito machacado con 20 mm de tamaño mínimo.

Agua: La usada para beber, de la red ciudadana.

Estas fueron las conclusiones de su estudio

- a) La resistencia con el curado acelerado es, aproximadamente, el 25 a 35 % de la resistencia alcanzada según procedimiento normal a los 28 días.
- b) Para hormigones de los tipos 100 a 350, el valor r está en relación lineal con la resistencia normal a los 28 días, según la ecuación: $r = 0,2955 + 12 \times 10^{-5} a$.
- c) Cuando la resistencia obtenida con el curado acelerado se conoce, se puede predecir la resistencia normal a 28 días, con una certeza del 80 %.
La ecuación es:
 $R_{28 \text{ días}} = 2,068 R. \text{ acelerada} + 97,46$.

JUSTIFICACION

La finalidad del tema es comparar dos métodos de curado a especímenes de concreto , los cuales serán: el curado tradicional (inmersión) y el curado acelerado por medio del método de ebullición modificado, esta investigación experimental a partir de los resultados que se alcancen, nos permitirá poder establecer diferencias y criterios acerca de la capacidad de resistencia que mostraran ambos métodos, así como el efecto que pueda ocurrir uno con respecto al otro en su consistencia y propiedades del concreto respecto al factor tiempo ya que la diferencia de ambos métodos radicara que uno alcanzara su resistencia máxima en 28 días y el otro lo lograra a las 28 horas.

El método de ebullición es experimental y solo puede trabajarse en laboratorio debido a las condiciones que necesita el ensaye. Pero al elaborar este procedimiento podremos reducir tiempos en la obra ya que se podrá estimar la resistencia del concreto que se pretende colocar en una edificación.

OBJETIVOS

i. Objetivo General

Comparar la resistencia del concreto curado por inmersión y el curado acelerado por el método de ebullición modificado a especímenes de concreto hidráulico.

ii. Objetivo Especifico

- Caracterizar los materiales (grava y arena) con ensayos específicos de laboratorio basándonos en la norma ASTM.
- Diseñar el concreto por el método de la ACI con una resistencia a obtener de 3000 psi.
- Determinar la variación de resistencia a compresión del concreto, obtenido de los métodos por inmersión y ebullición modificada.

CAPITULO 1: MARCO TEORICO

El hormigón también denominado concreto, es la única roca fabricada por el hombre, y de la cual existen muchas clases, dependiendo del pegante, como en el caso del cemento Pórtland, que es el más barato y fácil de manejar y es el único que adquiere las características de la roca en cuanto a su resistencia a la compresión, duración, impermeabilidad, peso unitario, dureza y apariencia, entre otras.

El concreto como comúnmente se conoce en nuestro medio es un material de construcción que se diseña bajo unas normas específicas dependiendo del proyecto que se vaya a utilizar y con las características de economía, para un determinado fin. El concreto se hace a base de diseños, con trabajos de ingeniería y que por esta condición están sujetos a cambios, modificaciones y a optimizar tal producto. Para la elaboración de un buen concreto se deben tener en cuenta que en este proceso implica el diseño, elaboración, colocación, curado y protección y de los cuales depende si este es un concreto bueno o malo.

Debido a que todas las propiedades del concreto en estado endurecido dependen en mayor o menor grado de sus características en estado fresco (plástico), especialmente en lo que se refiere a los procesos de mezclado, transporte, colocación, compactación y terminado y en general las más importantes propiedades del concreto fresco, la forma de medir estas propiedades y los factores que los afectan. La manejabilidad del concreto determina la facilidad de colocación y la resistencia a la segregación que es una importante propiedad del concreto.

Por ejemplo, el Road Research Laboratory, de la Gran Bretaña, define la manejabilidad en términos de capacidad de compactación ya que al consolidar la mezcla dentro de una formaleta, hay que vencer la fricción interna que se presenta entre las distintas partículas de los materiales que lo componen y una fricción

externa o superficial entre el concreto y la superficie de la cimbra o del refuerzo, con el fin de extraer el aire naturalmente atrapado y lograr la mayor densidad posible. De esta manera, la manejabilidad queda definida como la cantidad de trabajo interno útil y necesario para producir una compactación completa, debido a que la fricción interna es una propiedad intrínseca de la mezcla y no depende de un tipo o sistema particular de construcción.

Otro término utilizado para caracterizar el estado plástico del concreto es la “consistencia” que aunque está relacionada con el concepto de manejabilidad, no es su sinónimo. En términos generales la consistencia se refiere a su estado de fluidez, es decir, qué tan dura (seca) o blanda (fluida) es una mezcla de concreto cuando se encuentra en estado plástico, por lo cual se dice que es el grado de humedad de la mezcla.

Los componentes del concreto son: agua, aire, cemento, grava y arena. Empezando se va a definir cada uno de estos elementos para tener una idea más clara de lo que es el concreto.

1.1 Cemento

Figura 1: Cemento Canal En el sentido general de la palabra el cemento se



puede definir como un material de construcción con propiedades adhesivas y cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto. Esta definición abarca una gran variedad de materiales de cementación.

El cemento Hidráulico GU es aquel tipo de cemento que puede ser utilizado en todo tipo de construcciones siempre y cuando estas no requieran las características especiales de otro tipo de cemento. Los usos de este tipo de cemento son principalmente en obras de albañilerías y en estructuras.

Para efectos de construcción, el significado del término cemento se restringe a materiales aglutinantes utilizados con piedras, arena, ladrillos, bloques de construcción, etc. Los principales componentes de este tipo de cemento son compuestos de cal, de modo que en construcción e ingeniería civil se trabaja con cementos calcáreos. Los concretos que se utilizan en la elaboración de concreto tienen la propiedad de fraguar y endurecer con el agua, en virtud de que se experimentan una reacción química con ella y, por lo tanto, se denominan cementos hidráulicos.

1.1.1. Fabricación del Cementos Según Cemex Nicaragua

Materia Prima

Las materias primas para la producción del cemento GU SON CALISAS Y MARGAS CALCARIAS que se encuentran en las minas cercanas a la fábrica de San Rafael del Sur. Managua, Nicaragua.

Extracción de materia prima

Se realiza la extracción a cielo abierto. En las minas se utiliza métodos de explosivos para las rocas más duras y luego con bulldozers se extrae el material más suave, todo material es transportado a la planta por camiones volquetes.

Trituración

En la planta se inicia el proceso de transformación con la trituración (reducción de tamaño) de las calizas y margas. Para ello se utilizan trituradores de martillos o ya sean por impacto producen la reducción de tamaño de las materias primas, luego esta materia se deposita en el almacén de triturado

Molienda de plasta

La planta de San Rafael es de proceso húmedo lo que significa que se agrega agua durante la molienda para facilitar la homogenización y transporte de la materia prima al horno. Las calizas y margas trituradas son reclamadas del almacén y se transportan por bandas hacia los molinos tubulares

Homogenización

La pasta producida en los molinos es transportada hacia las bolsas (pilas de concreto) para su debida homogenización la cual se realiza por un proceso mecánico y neumático, En las balsas se efectúan las correcciones necesarias para obtener los estándares establecidos en la calidad de la pasta antes de ingresarla al horno.

Clinkerizacion

Las pastas homogenizadas de la balsa es la que se alimenta a los hornos para su debida cocción, la pasta es alimentada por un extremo del horno hy por el otro se alimenta el combustible para la quema, la planta utiliza combustible Bunker y Coque aunque actualmente se están utilizando aceites usados y cascarillas de arroz. El material avanza contra corriente a los gases generados para poder iniciar el secado de la pasta. La siguiente fase es la Calcinación 1450°C para dar formación de Clinker, este es el principal componente del cemento y es el que aporta la resistencia física, química y de coloración.

Molienda final

Se realiza en los molinos tubulares en los cuales se mezcla el Clinker, yeso y la adición de puzolana (Toba) aquí se logra alcanzar la reducción de tamaño de las partículas y el resultado es el producto final cemento Gris.

Embase

El cemento producido por los molinos es transportado por roscas sin fin y elevadores de canjillones hacia los silos de concreto posteriormente se extrae de los silos para llevar el cemento a la maquinas ensacadoras para su empackado en papel kraft.

1.1.2. Características de los cementos fabricados en Nicaragua

Tabla 1 : Tipos de Cemento fabricados por Cemex Nicaragua

Cemento	Características
Tipo GU	<ul style="list-style-type: none">• Preparación de mezclas para concreto y morteros• Diferentes tipos de elementos prefabricados: Bloques, adoquines, postes, losas etc.• Estabilización de suelos• Solidificación de desechos• Acabados• Pega de ladrillos y mampostería
Canal PLUS 5000	<ul style="list-style-type: none">• Genera un ahorro del 20% del cemento utilizado• Cemento de alta resistencia• Aumenta la velocidad de construcción de obras lo que permite optimizar un capital de trabajo• Ideal en la fabricación de concreto pretensado• Alta resistencia a la erosión y desgastes en piezas de adoquines• Mayor durabilidad y rendimiento
Cemento Blanco Tolteca	<ul style="list-style-type: none">• Puede pigmentarse con facilidad• Posee gran versatilidad en usos estructurales, arquitectónicos, albañiles y acabados decorativos• Provee mayor reflectividad por lo tanto un ahorro de luminosidad y crea ambientes interiores mas frescos.

Información tomada de la página web:

www.cemexnicaragua.com/productos/servicios/portlandGU.aspx

1.1.3. Propiedades físico químicas del cemento

Tabla 2 : Propiedades Físicas y Químicas del Cemento

Características Químicas	Modulo Fundente Compuestos Secundarios Perdida por Calcinación Residuo Insoluble
Características Físicas	Superficie Especifica Tiempo de fraguado Falso Fraguado Estabilidad de Volumen Resistencia Mecánica Contenido de Aire Calor de Hidratación

1.2. Grava

Figura 2: Grava de 1/2 pulgada utilizada en la investigación



Los agregados gruesos son materiales inertes que mezclados con cemento portland en presencia de agua conforman el concreto u hormigón; estos agregados que tienen una resistencia propia que no afectan las propiedades y características del concreto, por el contrario, garantizan una adherencia suficiente.

El concreto está constituido en su mayor parte por un 70 - 80% en volumen de agregados que proporcionan resistencia mecánica, característica propia del concreto.

Se denominan grava a las rocas formada por clastos de tamaño comprendido entre 2 a 64 milímetros. Pueden ser producidas por el ser humano, en cuyo caso suele denominarse “piedra triturada”. Este material se origina por fragmentación de las distintas rocas de la corteza terrestre, ya sea en forma natural o artificial,

este último caso actúan los procesos de triturado utilizado en las respectivas plantas de árido.

1.2.1. Aplicación

La grava se usa como árido en la fabricación de hormigones, también como lastres y revestimientos, protector en cubiertas planas no transitables y como filtrante en soleras y drenajes.

1.2.2. Obtención

Como fuentes de abastecimientos se pueden distinguir las siguientes situaciones:

- **Banco de sedimentos:** Son los bancos construidos artificialmente para embarcar el material fino-grueso que arrastran los ríos.
- **Cauce de río:** corresponde a la extracción desde el lecho del río, en donde se encuentran material arrastrado por el escurrimiento de las aguas.
- **Pozos secos:** Zonas de antiguos rellenos aluviales en valles cercanos a ríos.
- **Canteras:** en la explotación de los mantos rocosos o formaciones geológicas, donde los materiales se extraen usualmente desde cerros medianos lo que se denomina tronadura o voladura (rotura mediante explosivos).

1.3. Arena

Figura 3: Arena Motastepe utilizada en la investigación



Los áridos finos susceptibles de ser utilizados en la fabricación de hormigones de alta resistencia son, casi con carácter exclusivo, los obtenidos por procedimientos naturales a partir de sus rocas de origen. Con dichos procedimientos las partículas de agregado fino presentan formas regulares, las cuales, como en el caso de las gravas, favorecen la unión con la pasta de cemento.

Es un agregado fino de origen natural, que por sus características de forma favorece la unión con el cemento y a su vez con los agregados gruesos. La arena tiene un diámetro inferior a 4.76 mm y no menor de 0.074 mm, cuando la granulometría de las arenas es excesivamente fina, es decir, con módulos de finura menores a 3.00 exige una mayor cantidad de cemento y agua, y como consecuencia se obtiene un hormigón de consistencia “pegajosa”. Inadecuada para hormigones de alta resistencia

1.4. Agua

Es un componente del hormigón, en donde el cemento reacciona químicamente, dando la propiedad de fraguar para convertirse en un sólido único con los agregados; además de la propiedad de fraguar el agua también nos ayuda en el proceso de curado.

1.5. CONCRETO

El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada piedra machacada, pedrejón), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua.

Otros materiales cementantes (cementicos, cementosos) y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta. Generalmente los agregados (áridos) se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos pueden ser arena natural o artificial (manufacturadas) con partículas de hasta 9.5 mm (3/8 pulg.); agregados gruesos son las partículas retenidas en la malla 1.18 mm (tamiz no.16) y pueden llegar hasta 150 mm (6 pulg.). El tamaño máximo del agregado grueso comúnmente empleado es 19 mm o 25 mm (3/4 pulg. o 1 pulg.). Un agregado de tamaño intermedio cerca de 9.5 mm (3/8 pulg.) es, algunas veces, adicionado para mejorar la granulometría general del agregado.

La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado o aire incluido (intencionalmente incorporado). La pasta constituye aproximadamente del 25% hasta 40% del volumen total del concreto.

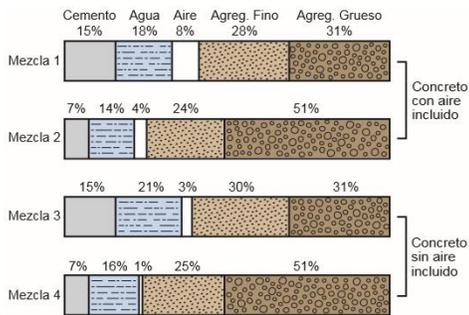


Figura 4: Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes.

La figura 4 muestra que el volumen absoluto del cemento está normalmente entre 7% y 15% y el volumen del agua está entre 14% y 21%. El contenido de aire atrapado varía del 4% hasta 8% del volumen.

Como los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75% del volumen total del concreto, su selección es muy importante. Los agregados deben componerse de partículas con resistencia mecánica adecuada y con resistencia a las condiciones de exposición y no deben contener materiales que puedan causar deterioro del concreto. La granulometría continua de tamaños de partículas es deseable para el uso eficiente de la pasta.

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre los dos. En un concreto adecuadamente confeccionado, cada y toda partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta, como se enseña en la Figura 5.

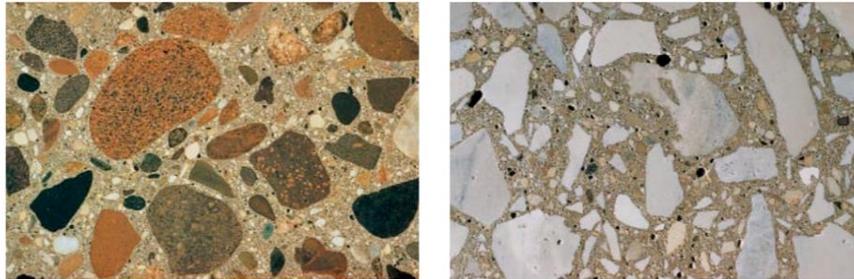
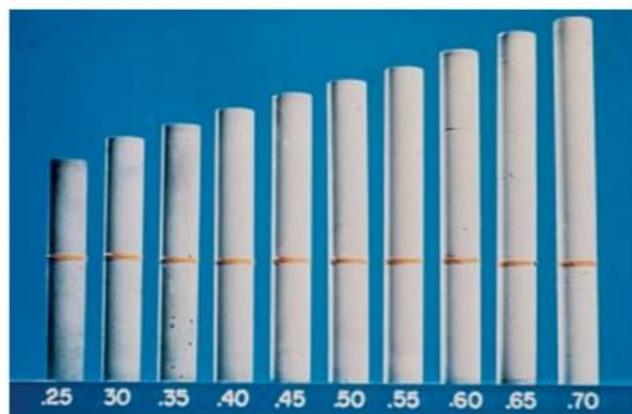


Figura 5: Sección transversal del concreto endurecido, confeccionado con grava redondeada de silicio (izquierda) y calcáreo triturado (derecha). La pasta de cemento y agua cubre completamente cada partícula de agregado y llena todos los espacios entre las partícula

Para cualquier grupo de materiales y condiciones de curado, la calidad del concreto endurecido es fuertemente influenciada por la cantidad de agua usada con relación a la cantidad de cemento (Fig. 6).

Cuando grandes cantidades de agua son innecesariamente empleadas, ellas diluyen la pasta de cemento (la cola o pegamento del concreto). Las ventajas de la disminución de la cantidad de agua son:

Figura 6 Diez cilindros de pasta de cemento con relaciones agua-cemento de 0.25 a 0.70. La faja indica que cada cilindro contiene la misma cantidad de cemento. El aumento del agua, diluye el efecto de la pasta de cemento, aumentando el volumen, reduciendo la masa volumétrica y disminuyendo la resistencia



- Aumento de la resistencia a compresión y de la resistencia a flexión
- Disminución de la permeabilidad, entonces disminución de la absorción y aumento de la estanquidad (hermeticidad)
- Aumento de la resistencia a la intemperie •Mejor unión entre concreto y armadura.
- Reducción de la contracción (retracción, encogimiento) y de la fisuración (agrietamiento, fisuramiento).
- Menores cambios de volumen causado por el humedecimiento y el secado.

Cuanta menos agua se usa, mejor es la calidad del concreto, si es que la mezcla se puede consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezcla (mezclado) resultan en mezclas más rígidas (secas); pero, con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser fácilmente colocadas. Por lo tanto, la consolidación por vibración permite una mejoría de la calidad del concreto.

Tanto las propiedades del concreto fresco (plástico) como del concreto endurecido se pueden cambiar con la adición al concreto de aditivos químicos, normalmente en la forma líquida, durante la dosificación. Los aditivos químicos comúnmente se emplean para:

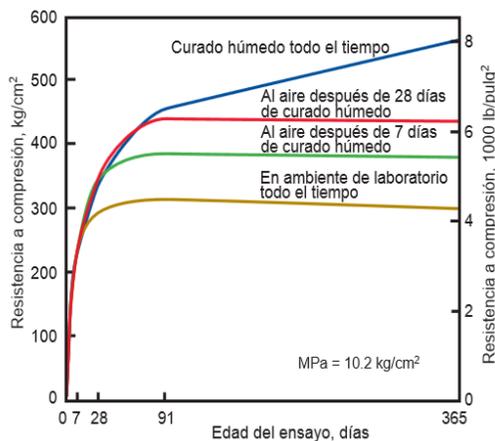
1. El ajuste del tiempo de fraguado o de endurecimiento,
2. La reducción de la demanda de agua.
3. El aumento de la trabajabilidad (manejabilidad, docilidad).
4. La inclusión intencional de aire.
5. El ajuste de otras propiedades del concreto fresco o endurecido.

Después de terminar el proporcionamiento, dosificación, colocación (hormigonado, puesta, colado), consolidación, acabamiento (terminación, acabado) y curado adecuados, el concreto se endurece, se transforma en un material no-combustible, durable, resistente a la abrasión e impermeable lo cual requiere poca o ninguna conservación (mantenimiento). Además, el concreto es un excelente material de construcción porque se lo puede moldear en una gran

variedad de formas, colores y texturas para ser utilizado en un número ilimitado de aplicaciones.

1.6. CURADO DEL CONCRETO

Figura 7 La resistencia del concreto aumenta con la edad, desde que haya adecuada humedad y temperatura favorable para la hidratación del cemento



El curado es el proceso por el cual se busca mantener saturado el concreto hasta que los espacios de cemento fresco, originalmente llenos de agua sean reemplazados por los productos de la hidratación del cemento. El curado pretende controlar el movimiento de temperatura y humedad hacia dentro y hacia afuera del concreto. Busca también, evitar la contracción de fragua hasta que el concreto alcance una resistencia mínima que le permita soportar los esfuerzos

inducidos por ésta.

1.6.1. Objetivo fundamental del curado del concreto

- Prevenir (o reaprovisionar) la pérdida de humedad del concreto.
- Mantener una temperatura favorable en el concreto durante un período definido.

1.6.2. Cuando y como curar del concreto

Los requerimientos de curado de las estructuras, el tipo de curado a aplicar y su extensión pueden variar dependiendo de muchos factores, entre los que pueden citarse: el tipo de elemento estructural (masivo, laminar). Los materiales que lo componen, en particular el tipo de cementante, las condiciones climáticas de la zona e incluso el microambiente que rodea la estructura, el tipo de estructura, las

condiciones de servicio, la durabilidad deseada y, por último, el grado de agresividad del medio que la rodea.

Según el ACI 308: “Se requiere establecer medidas de curado, para aportar o retener la humedad existente en el concreto, siempre que el desarrollo de las propiedades esperadas del concreto de la estructura puedan verse inaceptablemente retrasadas o impedidas debido por una insuficiencia en la cantidad de agua necesaria para la hidratación de los materiales cementosos y las adiciones”.

“Las medidas de curado se deben poner en práctica tan pronto como el concreto esté en riesgo de secarse prematuramente y cuando dicho secado deteriore el concreto o impida el desarrollo de las propiedades requeridas”. “El curado debe prolongarse hasta que el secado de la superficie del concreto no afecte el concreto y hasta que la hidratación del cementante haya progresado de tal manera que las propiedades deseadas para el concreto ya se han obtenido, o hasta que sea claro que las propiedades deseadas se seguirán desarrollando por sí mismas.”

1.7. MECANICA DEL CURADO

Desde que los componentes se unen mediante el proceso de mezclado hasta que adquiere sus propiedades definitivas, el concreto pasa por varias fases o etapas bien marcadas las cuales permiten diferenciar también los requerimientos de curado para cada una de ellas. Puede ser necesario, implementar los cuidados para evitar la evaporación prematura del agua de la mezcla desde el mismo momento de su transporte al sitio de colocación, durante la misma y continuarlos durante el fraguado y el desarrollo de resistencia. Para cada una de estas etapas puede ser necesario implementar medidas de curado distintas.

Esto nos permite llegar a una primera conclusión: No todas las estructuras se curan igual. Así que el curado de una estructura de concreto reforzado, en un lugar definido, bajo unas condiciones ambientales reinantes específicas, con el tipo de

material a emplear (tipo de cemento, relación agua/material cementante) y con unas especificaciones del proyectista en cuanto a resistencia (forma como debe evolucionar, nivel máximo a alcanzar) y durabilidad (vida útil requerida, grado de permeabilidad, resistencia al ingreso de sustancias dañinas, máxima amplitud de fisura) dadas, es una actividad que debe diseñarse. Incluso, si la estructura va a recibir un recubrimiento especial (pintura, recubrimiento epóxico) o se va a enchapar, puede ser necesario estudiar la conveniencia de usar curadores que dejen residuos sobre la superficie que impidan la adherencia de posteriores recubrimientos, o definir el método que se va a emplear para retirarlos.

Vale la pena citar aquí los diferentes métodos de curado existentes: Básicamente existen dos sistemas de curado que permiten mantener cierto nivel de humedad en el concreto.

- Aplicación continúa o frecuente de agua.
- Uso de materiales sellantes o de compuestos curadores líquidos para evitar la evaporación.

1.8. CURADO POR INMERSION

Es el método que produce los mejores resultados, pero presenta inconvenientes de tipo práctico, pues implica inundar o sumergir completamente el elemento de concreto. Este método es exclusivamente para especímenes de concreto que pueden ser de forma cilíndrica, prismática etc.

Al cumplir con los procedimientos del acondicionamiento de la muestra de concreto

ASTM C 0192 – 02, los especímenes de concreto son sumergidos en un tanque

Figura 8: Cilindros de concretos en inmersión



con agua permaneciendo sumergidos hasta que cumplan con el tiempo de curado, por lo general para pruebas de compresión se ensayan a los 7,14 y 28 días

Este método de prueba se realiza de acuerdo a las condiciones ambientales del lugar en el que se ejecutan las pruebas, sin embargo, hay que evitar la evaporación excesiva de agua.

1.9. CURADO ACELERADO

En 1993 la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) estableció un sub-comité con miras al desarrollo de un ensaye acelerado de resistencia para el concreto. Este sub-comité inicio un programa de ensayos en cooperación para evaluar los métodos más prometedores que se han usado en Canadá, Europa y otros países.

Después de revisar los diferentes métodos actualmente en uso el sub-comité selecciono los tres métodos, como los más prometedores para su evaluación:

1. Método de Agua Caliente:

Este Método satisface los requisitos de simplicidad y proporciona resultados dentro de las 26 horas, la ganancia en la resistencia de los cilindros sometidos a este método de curado acelerado es relativamente pequeña, su resistencia es baja no obstante que los cilindros se curan en 24 horas.

2. Método Ebullición Modificado

Gran aceptación por su relativa sencillez y corto ciclo de curado.

3. Fraguado Constante

Este curado presenta dificultad al determinar el tiempo de fraguado del concreto.

Cuadro 1: Características del fraguado constante

Procedimiento	Iniciación del curado	Duración del agua en ebullición	Iniciación del ensaye	Duración del ciclo
Fraguado Constante	Inmediatamente después que se haya alcanzado el fraguado inicial del concreto. Esto es de 6 a 8 horas.	16 hrs	1 hora después de terminar el ensaye	24 a 26 horas

Además de estos tres procedimientos de ensaye, se seleccionaron los siguientes para elaborar laboratorios específicos.

- a) Método agua hervida
- b) Método autógeno o autoclave: Este método parte del calor de hidratación del cemento sirve para curarlo ya que se retiene al colocar el cilindro en recipientes de poliuretano que lo aísla. El aumento de la temperatura acelera el endurecimiento del concreto.

A la fecha la Asociación Americana para pruebas y materiales (ASTM) mediante el comité 684 ha normalizado los siguientes procedimientos rápidos de ensayes de curado acelerado los cuales se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 3: Clasificación de los métodos acelerantes del concreto según ASTM C 684.

Procedimiento	Moldes	Origen de la resistencia por curado acelerado	Temperatura de Curado Acelerado °C	Inicio del tiempo del curado acelerado	Duración del Curado Acelerado	Duración del Ensayo
Procedimiento 1	Reutilizables o de uso simple	Calor de Hidratación	35	Inmediatamente después del vaciado	23.5h ± 30 min	24 h ± 30 min
Procedimiento 2	Reutilizables o de uso simple	Agua Hirviendo	Ebullición del Agua	23 h ± 30 min después del vaciado	3.5 h ± 30 min	28.5h ± 30 min
Procedimiento 3	Un solo uso	Calor de Hidratación	Temperatura inicial del concreto, incrementada por el calor de hidratación	Inmediatamente después del vaciado	48 h ± 30 min	49h ± 30 min
Procedimiento 4	Reutilizables	Presión y calor externos	150	Inmediatamente después del vaciado	5 h ± 30 min	5.25h ± 30 min

1.6.1. Uso y significado

Los métodos de resistencias aceleradas imponen un curado acelerado de las probetas. Esto se consigue acelerando la velocidad de hidratación del cemento que así endurece más rápidamente y alcanza una resistencia suficiente en un intervalo de tiempo más corto.

La resistencia obtenida por alguno de los métodos descritos anteriormente, puede ser usada para estimar la resistencia del concreto que resulte del ensayo convencional de 28 días.

La correlación que se obtenga entre la resistencia obtenida por un procedimiento de curado acelerado y la lograda por un curado convencional dependerá de los materiales utilizados en el concreto, de las proporciones utilizadas en la mezcla y del ensayo de curado acelerado.

El usuario debe escoger cual procedimiento debe utilizar sobre la base de su experiencia como de las condiciones para llevar a cabo el ensayo. Los

procedimientos referenciados resultan útiles si se disponen de cámaras de curado y equipos para medir la resistencia a la compresión dentro de los tiempos especificados por los ensayos.

Para el presente trabajo investigativo se aplicó el procedimiento dos que es el método de ebullición modificado que se caracteriza por temperatura de curado alrededor de los 100 °C con una duración de 3 ½ horas de curado acelerado para que este alcance su resistencia máxima.

1.9.1. Equipo

Figura 9: Plancha eléctrica



Se puede utilizar un tanque cualquiera con una configuración apropiada para contener cilindros de prueba. La disposición de los cilindros debe ser tal que provea una separación de al menos 50 mm entre sus caras y las paredes del tanque y de al menos 100 mm entre cilindros adyacentes. El nivel del agua en el tanque se debe mantener al menos 100 mm por encima de las caras superiores de los cilindros.

Para calentar el agua se puede hacer uso de máquinas eléctricas capaz de regular su temperatura.

1.9.2. Procedimiento Curado por el Método de ebullición modificado

- Se preparan los especímenes de acuerdo con la norma ASTM C31.
- Curado Inicial, se cubren los especímenes para prevenir la pérdida de humedad y se almacenan para que no presenten perturbaciones.

Nota: Estricta atención en la protección y almacenamiento de los especímenes durante este período inicial es necesaria para obtener resultados significativos por causa del corto periodo de curado total.

- Curado acelerado: En un tiempo de $23 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$ después del moldeado, se colocan los moldes de cubierta en el tanque de agua. Se mantiene la temperatura del agua durante el tiempo de inmersión y el período de curado de forma que el agua se mantenga en ebullición.

*Figura 10:
Especímenes
en Ebullición*



Nota: Adicionalmente a otras precauciones, se debe usar vestimenta apropiada, protección para los ojos, cara, manos y brazos para prevenir lesiones por repentinas fugas de vapor cuando se abre el contenedor o se sumergen los cilindros en el agua hirviendo. Se sugiere el uso de tenazas para mover lentamente los moldes en el agua para no producir salpicaduras.

Nota: En lugares confinados, la temperatura del agua puede ser mantenida por debajo del punto de ebullición para evitar excesiva evaporación. La temperatura a la cual el agua hierve varía a causa de las diferencias en la elevación sobre el nivel del mar. Diferencias en las resistencias causadas por diferencias en temperaturas no son consideradas significativas, pero la comparación de resultados entre áreas así afectadas debe ser soportada por correlaciones apropiadas e interpretadas con el conocimiento de las variaciones de temperatura. Durante el tiempo de curado se registra la temperatura del agua de forma continua o periódicamente.

- Después de un curado de $3.5 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$, se retiran los especímenes del agua hirviendo, se remueven los moldes y se dejan los especímenes a enfriar en un cuarto al menos durante una hora antes de ser ensayados.

Según el ensayo acelerado debe cumplir las siguientes condiciones:

1. Los resultados del ensayo deberán obtenerse dentro de las 24 a 28 horas desde que se prepare el hormigón y para finalizarlo debe exigir un mínimo de trabajo adicional.

2. La relación entre el valor acelerado y el del ensayo a 28 días deberá poder aplicarse a hormigones de un amplio rango de resistencias. Es de desear que la relación mencionada no aparezca influenciada por el uso de aditivos usados comúnmente.

1.10. OTROS TIPOS DE CURADO

1.10.1. Curado mediante el uso de aspersores

Figura 11: Losa curada con rociadores aspersores



Con este método se consiguen buenos resultados y es fácil de ejecutar. Tiene el inconveniente de que la intermitencia o la aplicación ocasional, pueden conducir a un curado deficiente. El agua para curado del concreto debe estar libre de contaminantes y materiales deletéreos. En general se puede usar agua potable, que cumpla la norma de agua de amasado para concreto (ASTM C-59.

El agua de curado no debe estar a una temperatura tal que cree al aplicarla un choque térmico al concreto, pues puede figurarlo. Se recomienda que el agua no esté a una temperatura inferior en 11°C a la temperatura de la masa del concreto. En caso de que se usen equipos para producir una niebla húmeda, como curado inicial.

Empleo de tejidos de fique o de otros materiales absorbentes

Estos tejidos mantienen la humedad en superficies tanto verticales como horizontales, pero deben ser humedecidos periódicamente, con el riesgo de que si no se mantiene el nivel de humedad el curado es deficiente. Además, presentan el problema de absorber eventualmente el agua útil del concreto. Deben traslaparse adecuadamente y con holgura y se debe colocar sobre sus extremos

arena o bolsas con tierra u otro material pesado que impida que el viento los desarregle y descobije las porciones del elemento de concreto

1.10.2. Curado con arena, tierra y aserrín

Figura 12: Losa curada con aserrín



Se emplea con algún éxito el curado mediante el cubrimiento del concreto con alguno de los citados materiales; los dos primeros son muy útiles cuando se presentan vientos fuertes. Tienen, además de los inconvenientes de los tejidos de fique, el problema de que pueden manchar el concreto o deteriorarlo como sucede con el aserrín proveniente de maderas

con alto contenido de ácido tánico.

1.10.3. Materiales Sellantes

Esta categoría incluye las láminas y los compuestos curadores líquidos que forman membrana.

a) Película de plástico

Son livianas y se extienden fácilmente en superficies horizontales; en elementos verticales es más complicada su utilización. La película de plástico debe tener un espesor mínimo de 0.1 mm. Se usan generalmente plásticos blancos, transparentes y negros. Los primeros reflejan los rayos del sol mientras protegen y son útiles, como los transparentes, en clima cálido. El plástico negro absorbe calor de los rayos del sol y calienta la pieza estructural, por tal razón es útil para generar un curado adecuado del concreto a bajas temperaturas o acelerar “gratis” resistencias aprovechando la radiación solar.

Cuando se precisa un excelente acabado del concreto, como en el caso del concreto arquitectónico “a la vista”, el empleo de películas plásticas para el curado

puede dar como resultado la aparición de manchas en el concreto debidas a la distribución no homogénea del agua y al movimiento de sustancias solubles en la superficie.

b) Papel impermeable

Su uso es similar al de las películas de plástico. Cuando se usa papel para cubrir placas debe proveerse cierta holgura para que sobresalga de las mismas; además; se hace necesario colocar en los bordes materiales pesados (arena, tablas, etc.) para evitar que el viento lo desplace.

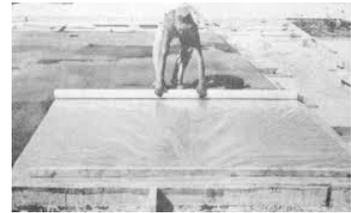


Figura 13: Losa curada con papel sellante

1.11. COMPUESTOS DEL CURADO

Los compuestos líquidos de curado que forman membrana deben cumplir las especificaciones de la Norma ASTM C 309-98. Entre las materias primas que normalmente se usan en la fabricación de compuestos de curado se pueden citar: ceras, resinas, caucho clorado y disolventes altamente volátiles. Dichos compuestos deben estar diseñados de tal manera que formen un sello poco tiempo después de haber sido aplicados; además, no deben reaccionar con la pasta de cemento.

Normalmente se le adiciona un pigmento (blanco, gris, rojo) a dichos compuestos de curado, con el fin de provocar la reflexión de los rayos solares; además, el pigmento hace visible el compuesto al operario, facilitándole el control de cubrimiento. Los compuestos que forman membrana normalmente se aplican con fumigadora manual o rociadores mecánicos. Se recomienda aplicarlos en dos capas, la segunda de las cuales debe aplicarse en dirección perpendicular a la primera para garantizar la uniformidad del sello. El momento óptimo para la aplicación de los compuestos líquidos es aquel en el cual se observa que ha desaparecido agua libre de la superficie del concreto, aunque sin demorar la

aplicación tanto que el compuesto sea absorbido por los poros superficiales del concreto.

1.12. SECUENCIA DEL CURADO Y DURACION DE LAS DIFERENTES ETAPAS

El ACI 308 R hace referencia a que, debido a las fases por las cuales atraviesa el concreto desde su confección hasta que la estructura alcanza las propiedades de diseño, deben diferenciarse tres tipos diferentes de acciones de curado en el tiempo. Las cuales se aplicarán en conjunto o selectivamente a una estructura dependiendo de las condiciones específicas del trabajo. Estas tres acciones de curado son:

- a) Curado inicial:** procedimiento implementado una vez el afinado o acabado del elemento que se ha terminado y que tiene por finalidad evitar la pérdida de humedad de la superficie. El curado inicial es aplicable a mezclas con muy poca exudación o que no exuden, o en el caso de ambientes que promuevan una gran evaporación del agua de la superficie del concreto, o cuando se da una combinación de estas dos circunstancias, el secado de la superficie (apariencia mate) puede empezar antes de que el concreto presente fraguado inicial y antes de que el afinado se haya completado. Se hace necesario entonces impedir aquí la pérdida de humedad del concreto mediante la aplicación de una niebla húmeda (aumenta la humedad relativa y disminuye la tasa de evaporación), la aplicación de retardadores de evaporación y el uso de elementos que modifiquen las condiciones climáticas en el sitio, tales como: sombra, barreras de viento y cerramientos.

- b) Curado intermedio:** procedimiento de curado a implementar cuando el afinado del concreto se termina pero aún no se ha presentado el fraguado final. Durante este período puede ser necesario disminuir la evaporación, pero el concreto no está aún en condiciones de recibir la aplicación directa de agua, ni de soportar el daño mecánico producido durante la instalación de cubiertas plásticas, lonas,

papel impermeable o algún otro material de protección. En estas condiciones la aplicación de membranas de curado, rociando un compuesto curador con fumigadora, es de gran utilidad para impedir la evaporación, mientras el concreto fragua y permite realizar medidas de curado complementarias.

- c) Curado final:** Medidas de curado que se llevan a cabo concluido el afinado del concreto, una vez éste ya ha presentado el fraguado final y ha comenzado el desarrollo de resistencia. Ejemplos de medidas de curado final son: aplicación de cubiertas húmedas, inundación, aplicación de riego de agua o de compuestos de curado.

El curado final debe empezar a aplicarse a medida que se va afinando cierta área de una losa, por ejemplo, ya que terminar de afinar para empezar a curar puede constituir una demora injustificada que se puede traducir en gran pérdida de agua del concreto en aquellas zonas afinadas más temprano. Al curar estructuras de alto riesgo de figuración en climas cálidos el curado con una membrana de curado puede hacerse simultáneamente con el afinado que hacen los equipos de pavimentación, luego que una vez el concreto alcance el fraguado final se puede complementar con la aplicación de telas humedecidas, sacos de arpillera húmedos o con el riego de agua sobre la superficie para que disminuya la temperatura del concreto.

Una vez descritas las tres acciones que constituyen un proceso de curado, se entiende la necesidad de planear concienzudamente el curado de una estructura importante y la relatividad de la frase: el mejor curador es el agua. El método de curado aplicable, entre los muchos disponibles, dependerá, según se ha visto, de que tan rápido se esté secando la superficie del concreto y de si ya se han presentado o no el fraguado inicial y final y que si las operaciones de afinado se han terminado o no. Esto implica que hay que conocer con cierta aproximación los tiempos de curado para el concreto en cuestión y bajo las condiciones climáticas particulares reinantes en la obra.

1.13. DURACION DEL CURADO

Siempre habrá discusión sobre qué tanto debe prolongarse el curado de una estructura. No existe una única respuesta para este interrogante. Los materiales ligantes han cambiado en los últimos años de una manera dramática, el uso extensivo de adiciones al cemento y al concreto se ha vuelto común, la finura de los cementos se ha incrementado para recuperar parte de la resistencia inicial que se pierde por el empleo de una gran cuantía de adición puzolánica. La fisuración del concreto ha aumentado también en la actualidad, probablemente por deficiencias en el curado, por la implementación de sistemas constructivos industrializados con muros muy esbeltos y sensibles a la evaporación del agua, así que la lucha para conseguir un concreto con un desarrollo de resistencia “normal” ha hecho que se mire de nuevo hacia el curado adecuado del concreto y se insista en las obras de que un buen concreto puede echarse a perder, definitivamente, debido a malas prácticas de curado.

Desde hace ya varias décadas se aconsejaba que un concreto de resistencia normal (21 a 35 Mpa a 28 días) se le diera un tiempo mínimo de curado 7 días. En cierta forma esto coincide con la especificación actual que dice que un concreto de resistencia normal debe curarse hasta que complete el 70% de la resistencia a compresión especificada. Por otra parte para un concreto de alta resistencia inicial se especifica que debe curarse 3 días y esto coincide, también, más o menos con la obtención para este tipo de concreto del 70% de resistencia a compresión. Sin embargo estas especificaciones parten de la convicción de que, en las condiciones de obra, la estructura curada como se especifica completará la hidratación del cemento y se alcanzará la resistencia especificada a los 28 días. Poco o nada se dice sobre las especificaciones de durabilidad y esto es grave. La desecación del concreto ocurre rápidamente y se concentra en sus primeros centímetros en un ambiente que favorezca la evaporación del agua.

CAPITULO 2: ENSAYES PARA LOS AGREGADOS Y AGLOMERANTE DEL CONCRETO

Tabla 4: Normas utilizadas en los ensayos tanto para los agregados y aglomerantes.

Norma	Descripción
Pesos Unitarios y Vacíos en agregados para concreto ASTM C 29-97.	Determinar la densidad total como el resultado de dividir la masa de un agregado en estado seco y el volumen que este ocupa.
Contenido de humedad ASTM C 566-84.	Determinar el porcentaje de humedad evaporable de una muestra de agregado por secado, ya sea la humedad superficial y la humedad en los poros del agregado.
Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino ASTM C 128	Determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino, la densidad relativa y la capacidad de absorción del agregado fino.
Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso ASTM C 127	Determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso, la densidad relativa y la capacidad de absorción del agregado grueso.
Determinación del análisis granulométrico ASTM C 136	Determinar la distribución por tamaño de las partículas de agregado fino y grueso mediante tamizados. Una muestra de agregado seco de masa conocida es separada en una serie de tamices colocados progresivamente desde el más pequeño al más grande para determinar su distribución por tamaño.

<p>Determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico ASTM C 197-86.</p>	<p>Determinar la cantidad en agua necesaria para obtener pastas de consistencia normal de cemento hidráulico.</p>
<p>Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico por el método de la aguja de vicat ASTM C 191-82.</p>	<p>Determinar el tiempo de fraguado de una pasta de cemento hidráulico usando la aguja de vicat.</p>
<p>Determinación de la gravedad específica del cemento ASTM 188-95</p>	<p>Determinar la relación entre el peso de un volumen dado de material a ciertas temperaturas, al peso de un volumen igual de agua a esa misma temperatura.</p>
<p>Determinación de la consistencia del concreto basándose en el asentamiento (Revenimiento). ASTM C 172-99</p>	<p>Determinar la consistencia del concreto en el laboratorio y/o en el terreno, basándose en el asentamiento.</p>
<p>Fabricación y curado de especímenes de concreto para ensayo ASTM C 31M-03A</p>	<p>Esta práctica proporciona requisitos estandarizados para fabricación, curado, protección y transporte de los especímenes de concreto para ensayo bajo condiciones de campo.</p>

<p>Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto ASTM C 31M-03A</p>	<p>La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado, la forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm² y con alguna frecuencia lb/pulg²(p.s.i).</p>
<p>Método de ensayo. Elaboración curado acelerado y ensayo a la compresión de especímenes de concreto. ASTM C 684</p>	<p>Los métodos de resistencias aceleradas imponen un curado acelerado de las probetas. Esto se consigue acelerando la velocidad de hidratación del cemento que así endurece más rápidamente y alcanza una resistencia suficiente en un intervalo de tiempo más corto.</p>

CAPITULO 3: PROCESO PARA EL DISEÑO DE CONCRETO

3.1. METODO DE LA ACI 211

Método de la ACI 211.1

El procedimiento descrito en ACI 211.1 detalla 2 métodos de proporcionar mezclas de concreto de peso normal y denso que son:

1. Basado en un peso estimado del concreto por volumen unitario.
2. Basado en el cálculo del volumen absoluto ocupado por los componentes del concreto

Los métodos descritos proporcionan una aproximación preliminar de las cantidades de materiales necesarios para elaborar la mezcla de concreto, que luego deben ser verificadas mediante mezclas de prueba en el laboratorio o en el campo y efectuar los ajustes que sean necesarios con el objetivo de lograr las características deseadas en el concreto fresco y endurecido.

La ACI 211.1 resume el procedimiento de diseño de mezclas de concreto, en 9 pasos que son:

1. Elección del revenimiento

Figura 21: Elección de revenimiento

Tipos de construcción	Revenimiento, cm.	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

"Figura tomada de PRÁCTICA PARA DOSIFICAR CONCRETO NORMAL, CONCRETO PESADO Y CONCRETO MASIVO" www.fic.imcyc.com.mx.

2. Elección del tamaño máximo de agregado

Por regla general, el tamaño máximo de agregado debe ser el mayor disponible económicamente y guardar relación con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo debe exceder de:

- 1/5 de la menor dimensión entre los costados de los moldes.
- 1/3 del espesor de las losas.
- 3/4 del espacio libre mínimo entre varillas de refuerzo individuales, paquetes de varillas

3. Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire

Figura 22: Elección del agua de mezclado

Revenimiento, cm	Agua, kg/m ³ concreto para TMG, mm							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
De 2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
De 7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
De 15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	---
Cantidad aprox. aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
De 2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
De 7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
De 15 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	---
Promedio recomendado de aire por incluir por exposición								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

"Figura tomada de PRÁCTICA PARA DOSIFICAR CONCRETO NORMAL, CONCRETO PESADO Y CONCRETO MASIVO" www.fic.imcyc.com.mx.

Esta figura proporciona la cantidad de agua (en kg/m³ de concreto) y el porcentaje de aire atrapado en función de las siguientes variables:

a) Tipo de concreto

- Sin aire incluido
- Con aire incluido (dependiendo si el nivel de exposición es bajo, medio o extremo)

b) Revenimiento

- De 1 a 2"
- De 3 a 4"
- De 6 a 7"

c) Tamaño máximo nominal del agregado

(Para 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2", 3" y 6")

Exposición moderada:

Implica servicio en climas donde es probable la congelación, pero en los que el concreto no estará expuesto continuamente a la humedad o a agua corriente durante largos periodos antes de la congelación, ni a agentes descongelantes u otros productos químicos agresivos. Como ejemplos pueden señalarse: vigas exteriores, columnas, muros, trabes o losas que no estén en contacto con el terreno húmedo y que estén ubicadas de manera que no reciban aplicaciones directas de sales descongelantes.

Exposición severa:

Cuando el concreto estará expuesto a productos químicos descongelantes u otros agentes agresivos, o bien, cuando el concreto pueda resultar altamente saturado por el contacto continuo con humedad o agua corriente antes de la congelación.

Ejemplos de lo anterior son: pavimentos, pisos de puentes, cunetas, desagües, aceras, revestimiento de canales, tanques exteriores para agua o resumideros.

Nota: Para obtener información sobre las condiciones relativas al contenido de aire, consultar los comités ACI 201, 301 y 302.

4. Selección de la relación agua- cemento

Se conoce como relación agua/cemento (A/C) a la razón existente entre el peso del agua con respecto al peso de cemento, es decir:

$$A/C = \text{Peso de agua} / \text{Peso de cemento}$$

Si se mantienen constantes las cantidades de agregado seco en una determinada proporción de concreto, se observa que a medida que La relación agua/cemento (A/C) se incrementa, esto conlleva una disminución en la resistencia del concreto. Por eso es importante tener un adecuado balance de dicha relación, de forma que permita que, para una determinada cantidad de cemento fija en la mezcla, se disponga de la suficiente cantidad de agua que permita una adecuada colocación del concreto y lograr la resistencia especificada (f^c).

Esfuerzo Promedio Requerido para menos de 15 registros

Figura 23: Esfuerzo Promedio Requerido

Esfuerzo a compresión especificado f^c , kgf/cm ²	Esfuerzo promedio requerido a compresión f^{cr} , kgf/cm ²
< 210	$f^c + 70$
210-350	$f^c + 84$
>350	$1.10f^c + 49$

Tabla 5.3.2.2: Esfuerzo promedio requerido a compresión cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar

"Figura tomada de Presentación. Diseño de mezcla de concreto por el método de la ACI 211

Una vez se determina el valor de f'_{cr} y si el concreto será con o sin inclusión de aire se procede a determinar la relación A/C de la tabla 5.3.4 (a) que se muestra a continuación:

Figura 24: Elección de la relación agua-cemento

Resistencia a la compresión a los 28 días Kg/cm ²	Relación agua / cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	--
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

"Figura tomada de PRÁCTICA PARA DOSIFICAR CONCRETO NORMAL, CONCRETO PESADO Y CONCRETO MASIVO" www.fic.imcyc.com.mx.

5. Cálculo del contenido de cemento

El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado dividido entre la relación A/C, no obstante, la especificación incluye un límite mínimo separado sobre el cemento, además de los requerimiento de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en el criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento.

$$C=A/(A/C)$$

Donde:

C = Cantidad de cemento por m³ de concreto

A = Cantidad de agua por m³ de concreto

A/C = Relación agua-cemento

6. Estimación del contenido de agregado grueso

En la tabla 5.3.6 se muestra el volumen de agregado, en m³, con base al peso volumétrico varillado seco (PVV), para un m³ de concreto. Este volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un m³ de concreto, multiplicándolo por el peso volumétrico varillado en seco por m³ de agregado grueso.

Figura 25: Estimación del agregado grueso

Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

"Figura tomada de PRÁCTICA PARA DOSIFICAR CONCRETO NORMAL, CONCRETO PESADO Y CONCRETO MASIVO" www.fic.imcyc.com.mx.

7. Estimación del contenido de agregado fino

Por el método de volumen absoluto

Un procedimiento más exacto para calcular la cantidad requerida de agregados finos, implica el empleo de volúmenes desplazados por los componentes (determinación de gravedades específicas). En este caso, el volumen total desplazado por los componentes conocidos (el agua, aire, cemento y agregado grueso) se resta del volumen unitario del concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen ocupado por cualquier componente en el concreto es igual a su peso dividido entre la densidad de ese material (siendo ésta el producto del peso unitario del agua por el peso específico del material).

Con las cantidades de cemento, agua y agregado grueso establecido y la cantidad aproximada de aire atrapado de 1% que se determinó en la tabla 5.3.3, el contenido de arena puede calcularse como sigue:

$$\text{Peso volumétrico} = \text{Peso}/\text{Volumen}$$

$$\text{Volumen} = \text{Peso}/\text{peso volumétrico}$$

$$\text{Gravedad específica} = \text{Peso volumétrico}/\text{Peso volumétrico del agua}$$

$$\text{Peso volumétrico} = \text{gravedad específica} \times \text{peso volumétrico del agua (1000 kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{Volumen} = \text{Peso}/(\text{gravedad específica} \times \text{peso volumétrico del agua})$$

8. Ajuste por humedad del agregado

- **Determinación de pesos húmedos**

$$\text{Agregado fino húmedo} = \text{Agregado fino seco} (1+\omega_{af})$$

$$\text{Agregado grueso húmedo} = \text{Agregado grueso seco} (1+\omega_{ag})$$

- **Determinación del agua a añadir**

$$\text{Agua a añadir} = \text{Agua neta de mezclado} - \text{Agua por humedad} + \text{agua por absorción}$$

$$\text{Agua a añadir} = \text{Agua neta de mezclado}$$

$$W_{\text{arena seca}} \times W_{\text{arena}} + W_{\text{arena seca}} \times \text{abs}_{\text{arena}}$$

$$W_{\text{grava seca}} \times W_{\text{grava}} + W_{\text{grava seca}} \times \text{abs}_{\text{grava}}$$

$$\text{Agua a añadir} = \text{Agua neta de mezclado}$$

$$W_{\text{arena seca}} (\omega_{\text{arena}} - \text{abs}_{\text{arena}})$$

$$W_{\text{grava seca}} (\omega_{\text{grava}} - \text{abs}_{\text{grava}})$$

9. Ajustes en las mezclas de prueba

Se estimara que el volumen necesario para una revoltura de prueba en el laboratorio, por tanto este volumen se multiplica por los valores de agua a ser añadida, cemento, agregado grueso y fino húmedo, para obtener los pesos requeridos para realizar la revoltura de prueba.

CAPITULO 4: PROCESO COMPARATIVO

Procedimiento para la investigación

Para el desarrollo de la investigación se llenaron 9 cilindros para comprobar el diseño propuesto, estos se curaron por inmersión y se ensayaron a los 7, 14 y 28 días.

Al obtener la resistencia a los 28 días se volvió a reproducir el diseño en 3 etapas de 9 muestras para realizar la comparación con el curado por “Método Ebullición Modificado”. 3 especímenes para el método de ebullición y 3 para el método de curado por inmersión y 3 para un concreto de un 1 día de edad. Estos se ensayaron de acuerdo a lo que ambos métodos especifican.

4.1. Resistencia del concreto

Obteniendo los datos de resistencias se comparan los métodos uno respecto al otro para verificar si hubo variación, también se detallara si sufrieron alguna alteración de características en sus propiedades.

4.1.1. Estimación de Resistencia (regresión lineal)

Para estimar la resistencia probable futura a la compresión de especímenes de concreto a partir de ensayos acelerados es necesario contar con varios ensayos. Un análisis de regresión de mínimos cuadrados puede ser usado para obtener la ecuación de la recta que relaciona las resistencias obtenidas por métodos

convencionales de curado con aquellas obtenidas a partir de ensayos de curado acelerado. Esta relación es aplicable solo para los materiales especificados y los procedimientos de ensayo utilizados. Para determinar la incertidumbre de la recta de regresión resultante, deben ser establecidas, para la recta, franjas o bandas de confianza. En consecuencia, una vez realizados nuevos ensayos de resistencia acelerada, se puede estimar el intervalo de confianza de resistencias futuras.

Se asume que la relación entre resistencias obtenidas por métodos de curado convencional, las cuales se denominaran como Y, y las halladas por métodos de curado acelerado, que se denominarán como X, es una línea recta que se representa por la siguiente ecuación:

$$Y = a + b x$$

Se considera que n par de valores (Xi, Yi) han sido obtenidos de ensayos de laboratorios donde Xi y Yi son respectivamente, las resistencias promedios de ensayos de curado acelerado y curado convencional. Los valores del intercepto a, y la pendiente b, de la línea recta son determinados usando el análisis de los mínimos cuadrados:

$$b = \frac{Sp\ xy}{Sp\ xx}$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

Donde:

$$Sp\ xx = \sum x^2 - \frac{\sum x^2}{n}$$

$$Sp\ xy = \sum XY - \frac{\sum X \times \sum Y}{n}$$

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

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n}$$

La desviación estándar residual, se, de la recta de ajuste es dada por la siguiente expresión:

$$Se = \sqrt{\frac{1}{n-2} \times \left(Sp yy - \frac{Sp xy^2}{Sxx} \right)}$$

Donde:

$$Sp yy = \left(\sum y - \bar{y} \right)^2$$

Para los Intervalos de confianza será estimado a partir de los niveles de confianza que arroje la gráfica, se escogerán los 3 valores más cercanos a la recta de regresión y se hará un promedio, este valor nos permitirá saber el rango de aceptación de los especímenes curados por el método acelerado.

$$Error Estandar = \frac{Se}{\sqrt{n}}$$

$$Margen de Error = Error estandar \times Z a/2$$

$$Intervalo de confianza = Margen de error \pm Promedio de resistencias$$

Donde

$Z_{\alpha/2}$ = Nivel de confianza

Tabla 11: Niveles de Confianza

Nivel de Confianza	Zα	Z$\alpha/2$
99%	2.33	2.58
95%	1.64	1.96
90%	1.28	1.64

CAPITULO 5: DESARROLLO INGENIERIL

5.1. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

5.1.1. Ubicación de las fuentes de los materiales

Para el trabajo monográfico se utilizaron los siguientes materiales descritos en la siguiente tabla.

Tabla 12: Procedencia de los materiales

Material	Descripción
Grava	La grava a utilizar será de ½ pulgada clase “A” la cual se obtendrá en la empresa productos industriales de concreto (PROINCO).
Arena	La arena a utilizar será arena motastepe previamente cribada por la malla nº 4, basándonos en la norma ASTM C 128.
Cemento	El cemento a utilizar será cemento canal (tipo GU).
Agua	El agua a utilizar será agua potable.

5.2. CALCULOS DE LOS ENSAYES PARA LOS AGREGADOS DEL CONCRETO

Nota: De cada ensayo se efectuaron 3 repeticiones de tal manera que esto permitiera obtener con mayor precisión resultados más fiables.

5.2.1. Pesos unitarios y porcentaje de Vacíos en agregados para concreto. ASTM C 29-97.

Datos del Molde

➤ **ARENA**

h= 16.1 cm

d= 15.1 cm

Volumen = 0.0029 m³

➤ **Grava**

h= 22.03 cm

d= 20.28 cm

Volumen = 0.0071 m³

➤ **ARENA**

a) Peso Volumétrico Seco Suelto

Tabla 33: Determinación del peso volumétrico seco suelto de la arena, prueba 1.

Prueba 1			
N° de Ensaye	1	2	3
Peso del agregado Suelto (kg)	4.012	4.03	3.998
Peso del Molde (kg)	1.688	1.688	1.688
Volumen del Recipiente (m3)	0.0029	0.0029	0.0029
Pvss (kg/m3)	1383.45	1389.66	1378.62
Promedio PVSS (Kg/m3)	1383.91		

Tabla 14: Determinación del peso volumétrico seco suelto de la arena, prueba 2.

Prueba 2			
N° de Ensaye	1	2	3
Peso del agregado Suelto (kg)	4.114	4.134	4.114
Peso del Molde (kg)	1.688	1.688	1.688
Volumen del Recipiente (m3)	0.0029	0.0029	0.0029
Pvss (kg/m3)	1418.62	1425.52	1418.62
Promedio PVSS (Kg/m3)	1420.92		

Tabla 15: Determinación del peso volumétrico seco suelto de la arena, prueba 3.

Prueba 3			
N° de Ensaye	1	2	3
Peso del agregado Suelto (kg)	4.125	4.115	4.108
Peso del Molde (kg)	1.688	1.688	1.688
Volumen del Recipiente (m3)	0.0029	0.0029	0.0029
Pvss (kg/m3)	1422.41	1418.97	1416.55
Promedio PVSS (Kg/m3)	1419.31		

Tabla 16: Peso volumétrico seco suelto de la arena, promedio final.

Promedio Final	
PVSS (Kg/m3)	1408.05

b) Peso Volumétrico Seco Compacto

Tabla 17: Determinación del peso volumétrico seco compacto de la arena, prueba 1

Prueba 1			
N° de Ensaye	1	2	3
Peso del agregado Compacto (kg)	4.43	4.439	4.432
Peso del Molde (kg)	1.688	1.688	1.688
Volumen del Recipiente (m3)	0.0029	0.0029	0.0029
PVSC (kg/m3)	1527.59	1530.69	1528.28
Promedio PVSC (Kg/m3)	1528.85		

Tabla 18: Determinación del peso volumétrico seco compacto de la arena, prueba 2

Prueba 2			
N° de Ensaye	1	2	3
Peso del agregado Compacto (kg)	4.485	4.508	4.467
Peso del Molde (kg)	1.688	1.688	1.688
Volumen del Recipiente (m3)	0.0029	0.0029	0.0029
PVSC (kg/m3)	1546.55	1554.48	1540.34
Promedio PVSC (Kg/m3)	1547.13		

Tabla 19: Determinación del peso volumétrico seco compacto de la arena, prueba 3

Prueba 3			
N° de Ensaye	1	2	3
Peso del agregado Compacto (kg)	4.487	4.467	4.484
Peso del Molde (kg)	1.688	1.688	1.688
Volumen del Recipiente (m3)	0.0029	0.0029	0.0029
PVSC (kg/m3)	1547.24	1540.34	1546.21
Promedio PVSC (Kg/m3)	1544.60		

Tabla 20: Peso volumétrico seco compacto, promedio final

Promedio Final	
PVSC (kg/m3)	1540.19

c) Porcentaje de Vacío

Tabla 21: Determinación del porcentaje de Vacíos en la Arena

GE del Material	2.57
Densidad del agua	1000
PVSC(kg/m3)	1549.19
% Vacíos	39.72

➤ **GRAVA**

a) Peso Volumétrico Seco Suelto

Tabla 22: Determinación del peso volumétrico seco suelto de la grava, prueba 1

Prueba 1			
N° de Ensaye	1	2	3
Peso del agregado Suelto (kg)	10.679	10.721	10.819
Peso del Molde (kg)	3.734	3.734	3.734
Volumen del Recipiente (m3)	0.0071	0.0071	0.0071
Pvss (kg/m3)	1504.08	1510.00	1523.80
Promedio PVSS (Kg/m3)	1512.63		

Tabla 23: Determinación del peso volumétrico seco suelto de la grava, prueba 2

Prueba 2			
N° de Ensaye	1	2	3
Peso del agregado Suelto (kg)	10.69	10.693	10.778
Peso del Molde (kg)	3.734	3.734	3.734
Volumen del Recipiente (m3)	0.0071	0.0071	0.0071
Pvss (kg/m3)	1505.63	1506.06	1518.03
Promedio PVSS (Kg/m3)	1509.91		

Tabla 24: Determinación del peso volumétrico seco suelto de la grava, prueba 3

Prueba 3			
N° de Ensaye	1	2	3
Peso del agregado Suelto (kg)	10.737	10.82	10.746
Peso del Molde (kg)	3.734	3.734	3.734
Volumen del Recipiente (m3)	0.0071	0.0071	0.0071
Pvss (kg/m3)	1512.25	1523.94	1513.52
Promedio PVSS (Kg/m3)	1516.57		

Tabla 25: Peso volumétrico seco suelto de la grava, promedio final

Promedio Final	
PVSS (Kg/m3)	1513.04

b) Peso Volumétrico Seco Compacto

Tabla 26: Determinación del peso volumétrico seco compacto de la grava, prueba 1

Prueba 1			
N° de Ensaye	1	2	3
Peso del agregado Compacto (kg)	11.517	11.612	11.6
Peso del Molde (kg)	3.734	3.734	3.734
Volumen del Recipiente (m3)	0.0071	0.0071	0.0071
PVSC (kg/m3)	1622.11	1635.49	1633.80
Promedio PVSC (Kg/m3)	1630.47		

Tabla 27: Determinación del peso volumétrico seco compacto de la grava, prueba 2

Prueba 2			
N° de Ensaye	1	2	3
Peso del agregado Compacto (kg)	11.511	11.555	11.578
Peso del Molde (kg)	3.734	3.734	3.734
Volumen del Recipiente (m3)	0.0071	0.0071	0.0071
PVSC (kg/m3)	1621.27	1627.46	1630.70
Promedio PVSC (Kg/m3)	1626.48		

Tabla 28: Determinación del peso volumétrico seco compacto de la grava, prueba 3

Prueba 3			
N° de Ensaye	1	2	3
Peso del agregado Compacto (kg)	11.674	11.583	11.628
Peso del Molde (kg)	3.734	3.734	3.734
Volumen del Recipiente (m3)	0.0071	0.0071	0.0071
PVSC (kg/m3)	1644.23	1631.41	1637.75
Promedio PVSC (Kg/m3)	1637.79		

Tabla 29: Peso volumétrico seco compacto de la grava, promedio final

Promedio Final	
PVSC (kg/m3)	1631.58

c) Porcentaje de Vacío

Tabla 30: Determinación del porcentaje de vacíos de la grava

GE del Material	2.9
Densidad del agua	1000
PVSC	1630.47
% Vacíos	43.78

5.2.2. Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino. ASTM C-128

Tabla 31: Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción de la arena.

N° de Ensayes	1	2	3
Peso en Condición SSS (B) gr	500	500	500
Peso del Frasco (C) gr	183.1	185	185
Peso del Frasco más agua añadida (d) gr	983.2	983.3	980.3
Agua Añadida (w)	290.1	298.3	295.3
Capacidad del frasco (v) cm ³	500	500	500
Peso seco de la muestra (A) gr	481.8	487	476.9
Gravedad Especifica corriente gr/cm ³	2.30	2.41	2.33
Gravedad Especifica (SSS) gr/cm ³	2.38	2.48	2.44
Gravedad Especifica Aparente gr/cm ³	2.51	2.58	2.63
Promedio de GE Corriente	2.35		
Promedio de GE (SSS)	2.43		
Promedio de GE Aparente	2.57		
Porcentaje de Absorción	3.78	2.67	4.84
Promedio de Porcentaje de Absorción	3.76		

5.2.3. Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado GRUESO. ASTM C-127

Tabla 32: Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción de la grava

N° de Ensayes	1	2	3
Peso en Condición SSS (B) gr	2000	2000	2000
Peso de la muestra sumergida (C) gr	1293.5	1289.2	1284.8
Peso seco de la muestra (A) gr	1959.3	1966.71	1979.7
Gravedad Especifica corriente gr/cm ³	2.77	2.77	2.77
Gravedad Especifica (SSS) gr/cm ³	2.83	2.81	2.80
Gravedad Especifica Aparente gr/cm ³	2.94	2.90	2.85
Promedio de GE Corriente	2.77		
Promedio de GE (SSS)	2.82		
Promedio de GE Aparente	2.90		
Porcentaje de Absorción	2.08	1.69	1.03
Promedio de Porcentaje de Absorción	1.60		

5.2.4. Determinación del análisis granulométrico. ASTM C 136

➤ ARENA

Tabla 33: Análisis Granulométrico de la arena, prueba 1.

Peso antes de Lavar: 500 gr

Prueba 1				Peso Seco : 447.20 gr				
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	R.PARCIAL (GR)	% RET	%ACUM	% QUE PASA	REQUISITOS % QUE PASA		
						INFERIOR	SUPERIOR	
8	2.36	30.60	7	7	93	80	100	
16	1.18	72.50	16	23	77	50	85	
30	0.6	107.00	24	47	53	25	60	
50	0.355	114.40	26	73	27	10	30	
100	0.15	75.70	17	89	11	2	10	
P.100		47.00	11	100	0			
Total		447.20	100					
Calculo del Módulo de Finura						MF	Gruesa	2.5 a 3.5
MF=Σ % Acum / 100			239	2.39	Fina		1.5 a 2.5	
			100		Muy Fina		0.5 a 1.5	

Tabla 34: Análisis Granulométrico de la arena, prueba 2.

Peso antes de Lavar: 500 gr

Prueba 2				Peso Seco : 453.60 gr				
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	R.PARCIAL (GR)	% RET	%ACUM	% QUE PASA	REQUISITOS % QUE PASA		
						INFERIOR	SUPERIOR	
8	2.36	48.00	11	11	89	80	100	
16	1.18	84.80	19	30	70	50	85	
30	0.6	121.60	27	57	43	25	60	
50	0.355	101.00	22	79	21	10	30	
100	0.15	62.70	14	93	7	2	10	
P.100		35.50	8	100	0			
Total		453.60	100					
Calculo del Módulo de Finura						MF	Gruesa	2.5 a 3.5
MF= Σ % Acum / 100			269	2.69	Fina		1.5 a 2.5	
			100		Muy Fina		0.5 a 1.5	

Tabla 35: Análisis Granulométrico de la arena, prueba 3.

Peso antes de Lavar: 500 gr

Prueba 3				Peso Seco: 449.70gr			
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	R.PARCIAL (GR)	% RET	%ACUM	% QUE PASA	REQUISITOS % QUE PASA	
						INFERIOR	SUPERIOR
8	2.36	41.40	9	9	91	80	100
16	1.18	77.70	17	26	74	50	85
30	0.6	122.80	27	54	46	25	60
50	0.355	106.80	24	78	22	10	30
100	0.15	66.30	15	92	8	2	10
P.100		34.70	8	100	0		
Total		449.70	100				
Calculo del Módulo de Finura							
MF= Σ % Acum / 100			259	2.59	MF	Gruesa	2.5 a 3.5
			100			Fina	1.5 a 2.5
						Muy Fina	0.5 a 1.5

MF PROMEDIO	2.56
--------------------	-------------

➤ Curvas granulométricas

Grafico 1: Curva Granulométrica de la arena, prueba 1

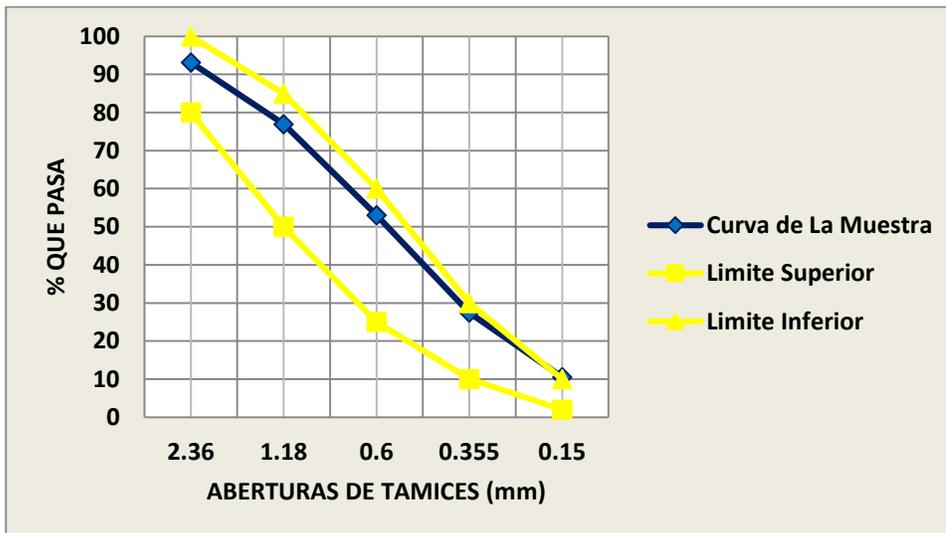


Grafico 2: Curva Granulométrica de la arena, prueba 2.

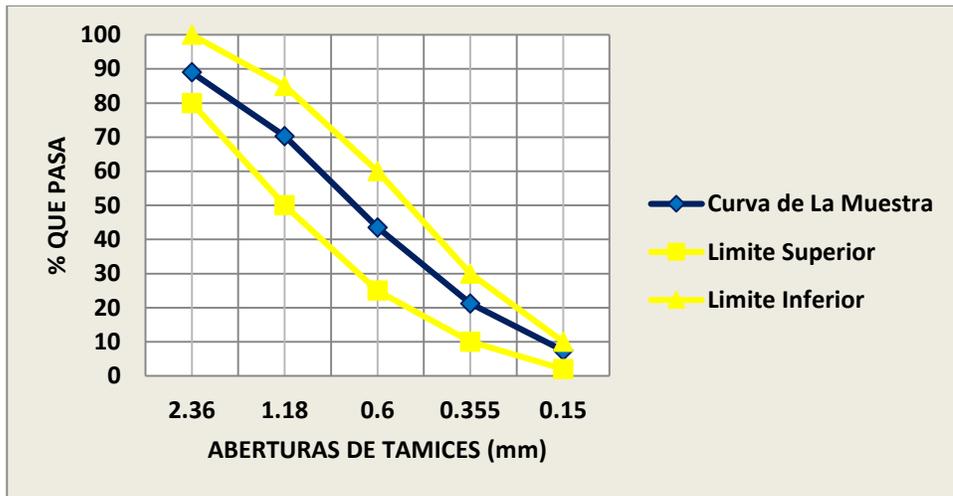
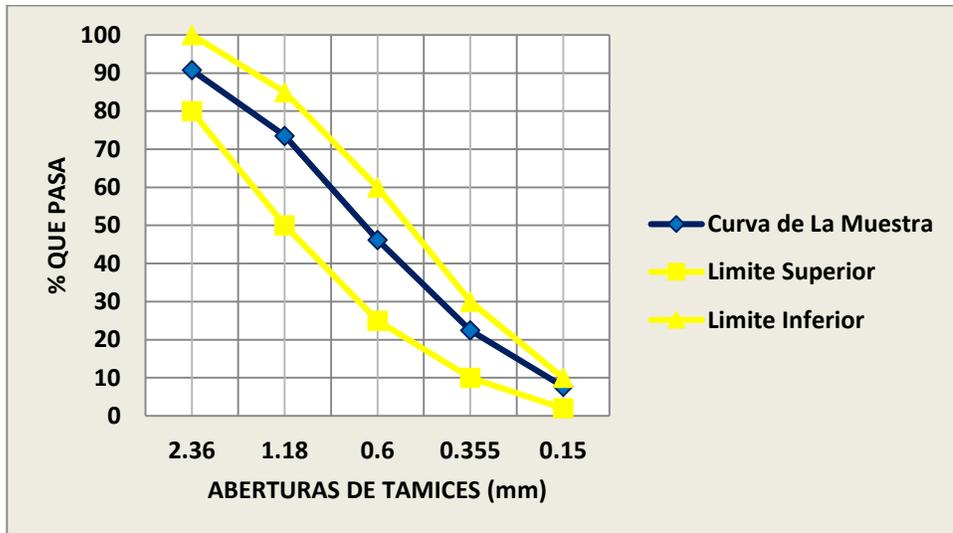


Grafico 3: Curva Granulométrica de la arena, prueba 3



➤ **GRAVA**

Tabla 36: Análisis Granulométrico de la grava, prueba 1.

Prueba 1				Peso Seco 14.26kg			
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	R.PARCIAL (kg)	% RET	%ACUM	% QUE PASA	REQUISITOS % QUE PASA	
						INFERIOR	SUPERIOR
3/4"	19.05	0	0	0	100	90	100
1/2 "	12.7	0.45	3	3	97		
3/8"	9.5	2.98	21	24	76	20	55
4	4.76	7.77	55	79	21	0	10
8	2.36	1.79	13	91	9	0	5
Pasa		1.28	9	100			
Total		14.26	100				

Tabla 37: Análisis Granulométrico de la grava, prueba 2

Prueba 2				Peso Seco 11.54kg			
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	R.PARCIAL (kg)	% RET	%ACUM	% QUE PASA	REQUISITOS % QUE PASA	
						INFERIOR	SUPERIOR
3/4"	19.05	0	0	0	100	90	100
1/2 "	12.7	0.47	4	4	96		
3/8"	9.5	2.99	26	30	70	20	55
4	4.76	6.17	53	83	17	0	10
8	2.36	1.22	11	94	6	0	5
Pasa		0.70	6	100			
Total		11.54	100				

Tabla 38: Análisis Granulométrico de la grava, prueba 3.

Prueba 3				Peso Seco : 11.99kg			
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	R.PARCIAL (kg)	% RET	%ACUM	% QUE PASA	REQUISITOS % QUE PASA	
						INFERIOR	SUPERIOR
3/4"	19.05	0	0	0	100	90	100
1/2 "	12.7	0.32	3	3	97		
3/8"	9.52	2.58	22	24	76	20	55
4	4.76	6.48	54	78	22	0	10
8	2.36	1.66	14	92	8	0	5
Pasa		0.95	8	100			
Total		11.99	100				

Tamaño Máximo Nominal: 1/2 pulgada

SEGUN:

ASTM C136-71, ASTM C 136-84, ASTM C33-90, ASTM 33-71

Las razones para determinar el tamaño máximo del agregado se debe a que estas propiedades afectan las proporciones relativas de los agregados, el cemento y el agua necesaria para elaborar un diseño de concreto, así como la manejabilidad, la porosidad y la contracción del mismo.

Para determinar el tamaño máximo de la grava se debe de cumplir al menos una de las dos siguientes condiciones

TAMAÑO MAXIMO DE 1/2"

1. Que el material pase el 100 % por la malla de 3/4" ,pero se retenga el 5% o menos en la malla de 1/2 "
2. Que el material pase el 100% por la malla de 1/2"

➤ Curvas Granulométricas

Grafico 4: Curva Granulométrica de la grava, prueba 1

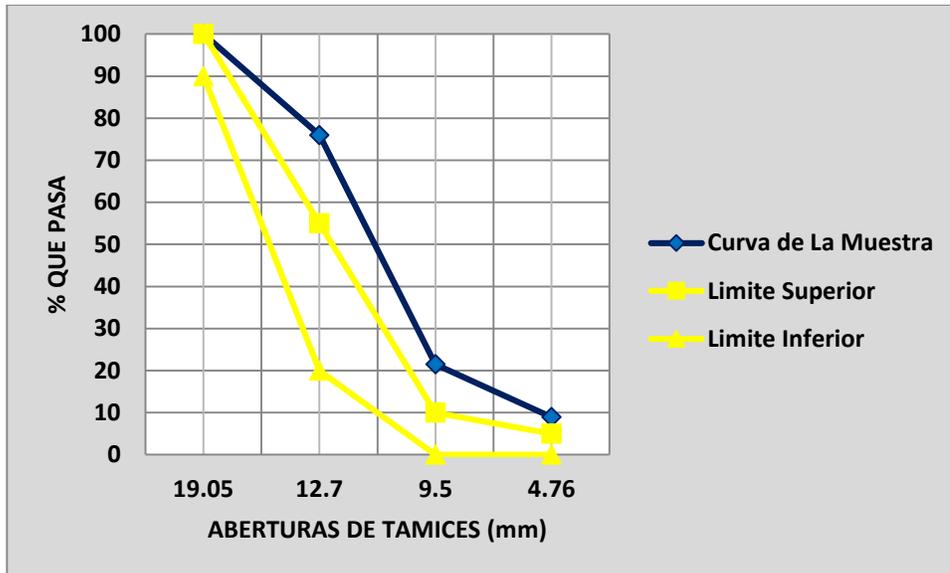


Grafico 5: Curva Granulométrica de la grava, prueba 2

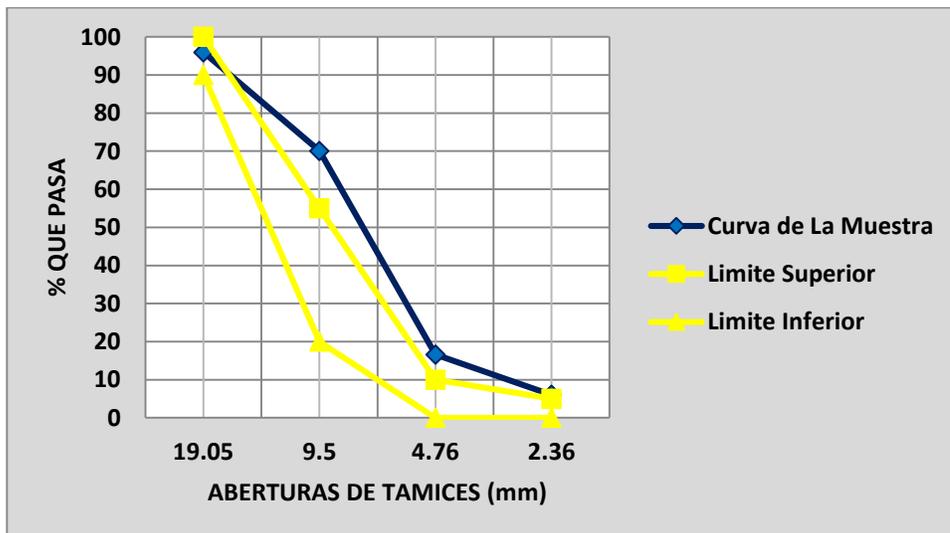
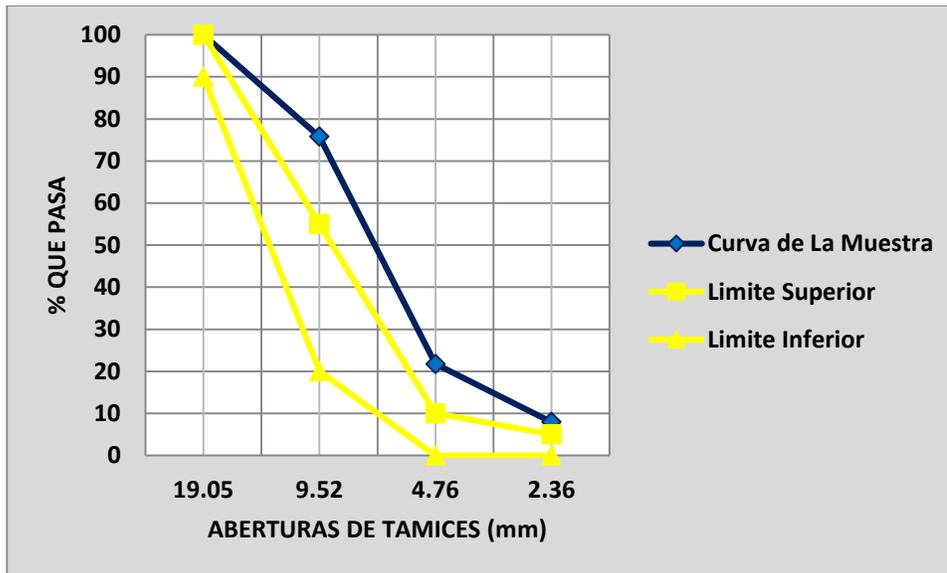


Grafico 6: Curva Granulométrica de la grava, prueba 3



5.3. INTERPRETACION DE LOS ENSAYES PARA AGREGADOS DEL CONCRETO.

Para el ensaye de pesos unitarios existe diferencia entre el peso del material suelto en el molde y el peso del material compacto en el molde, por lo tanto, el factor de aplicación de fuerza en el material si genera acomodamiento de las partículas que resultan en un valor mayor al del material que no sufre una aplicación de fuerza más que el de caída.

Es mayor el porcentaje de absorción de la arena con respecto a la grava, por lo tanto, la arena absorbe más cantidad de agua debido a los espaciamientos de sus partículas de tal manera incrementa el volumen de lechada.

Se logró determinar el valor del porcentaje de humedad de cada agregado para reconocer el peso volumétrico de cada uno, el análisis efectuado en laboratorio correspondió únicamente para el ajuste en el diseño del concreto.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos se puede concluir que:

- El módulo de finura para el agregado fino entra en el rango permisible entre 2.3 a 3.1 y nuestro resultado fue 2.56, por lo tanto, este agregado que fue analizado corresponde ser un agregado aplicable en su uso para la fabricación de concreto de calidad.
- El uso de este agregado fino debe comprender una dosificación específica en su relación con el cemento.
- Este agregado fino también presenta la calidad exigida para la fabricación de mortero, ya que cumple con todos los requerimientos de acuerdo con la norma ASTM C-144 según el análisis granulométrico aplicado al agregado.
- En la gráfica se puede observar que el porcentaje de agregado que pasa por el tamiz No. 100 no supera al límite superior, por ende, cumple con el requerimiento para la fabricación de mortero de calidad, según el NIC-2000, comprobando una vez más ser un material de calidad para la fabricación de mortero.
- Las condiciones de diseño para concreto estarán basadas en un tamaño máximo nominal o predominante del agregado grueso de $\frac{1}{2}$ ".
- Según tamaño nominal del agregado grueso analizado, este supera en parte los límites superiores, por lo tanto, no indica que el agregado sea de mala calidad, sino que es necesario tomar agregado más fino y mezclarlo con este para llevarlo a un estado más uniforme y cumpla con el requerimiento del agregado grueso para la fabricación y diseño de concreto de calidad.

Los requerimientos granulométricos de los agregados varían con la aplicación ya que generalmente las especificaciones que establecen estos requisitos se basan en la experiencia, no quiere esto decir que deba bastar el proporcionar granulometrías que caiga dentro de los límites especificados para que las cosas salgan bien por sí solas, aun dentro de los límites se debe buscar una optimización para lograr una mejor calidad del producto final. Los límites granulométricos solo regulan el trabajo.

5.4. CALCULOS DE LOS ENSAYES PARA EL CEMENTO

5.4.1. Densidad del cemento Hidráulico. ASTM C 0188-95

Cálculos del Ensayo

Tabla 39: Determinación de la gravedad específica del cemento

Prueba 1	
Peso del Cemento (gr)	64
Volumen Inicial	0.2
Volumen Final	20.6
Temperatura Inicial	28.92°C
Temperatura Final	28.90°C
GE cemento (gr/cm ³)	3.14
Prueba 2	
Peso del Cemento (gr)	64
Volumen Inicial	0.3
Volumen Final	20.7
Temperatura Inicial	28.96°C
Temperatura Final	28.98°C
GE cemento (gr/cm ³)	3.14
Prueba 3	
Peso del Cemento (gr)	64
Volumen Inicial	0.5
Volumen Final	20.8
Temperatura Inicial	28.96°C
Temperatura Final	28.94°C
GE cemento (gr/cm ³)	3.15
Promedio GE cemento	3.14

El peso específico del cemento portland tipo 1, oscila entre 3.1 a 3.2, cuando no se especifica el tipo de obra se puede Considerar un valor de **3.15**

5.4.2. Determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico ASTM C 197-86.

Calculo del Ensaye

Tabla 40: Determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico

Peso del CEMENTO (gr)	% de Agua	Cantidad de Agua (ml)	Penetración (mm)
650	26	169	4
650	28	182	8
650	28.5	185	9

**5.4.3. Determinación del tiempo de fraguado del cemento Hidraulico.
ASTM C 191-92.**

Datos:

- *Porcentaje de agua a utilizar : 28.5%*
- *Peso del cemento : 650 gr*
- *Volumen del agua : 185.5 ml*

Tabla 41: Registro de pares de Lectura: Tiempo-Penetración, Prueba 1

Prueba 1				
Lectura	Tiempo (min)	Penetración (mm)	T°	Observaciones
1	30	41	23	
2	45	40	22.9	
3	60	40	22.9	
4	75	39	22.9	
5	90	38	22.9	
6	105	25	22.9	
7	120	21	22.9	
8	135	16	22.8	
9	150	10	22.8	
10	165	5	23.5	
11	180	3	23.9	
12	195	1	23.9	
13	210	0	23.9	No se aprecia marca visible

Grafica 7: Tiempo de fraguado, Prueba 1

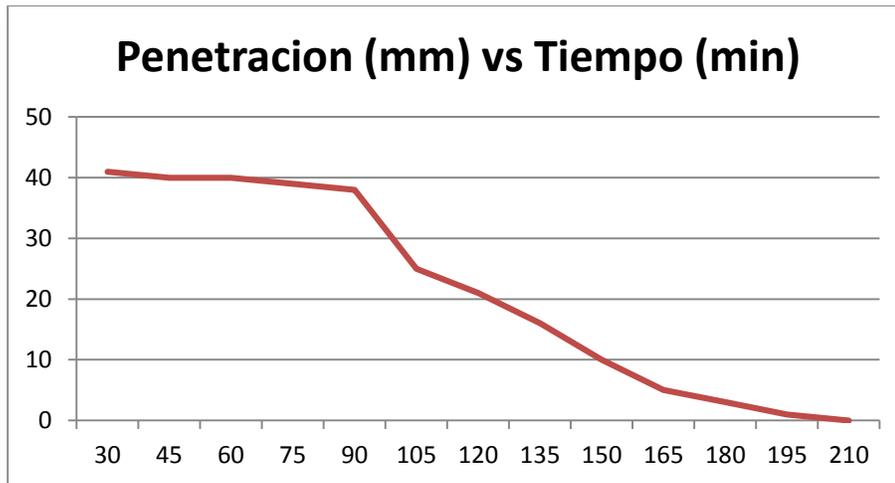


Tabla 42: Método de regresión lineal, Prueba 1

Prueba 1		Método de regresión Lineal $y = a+bx$			
Lectura	Tiempo (min) X	Penetración (mm) Y	X ²	Y ²	XY
1	30	41	900	1681	1230
2	45	40	2025	1600	1800
3	60	40	3600	1600	2400
4	75	39	5625	1521	2925
5	90	38	8100	1444	3420
6	105	25	11025	625	2625
7	120	21	14400	441	2520
8	135	16	18225	256	2160
9	150	10	22500	100	1500
10	165	5	27225	25	825
11	180	3	32400	9	540
12	195	1	38025	1	195
13	210	0	44100	0	0
Sumatoria	1560	279	228150	9303	22140

Tabla 43: Calculo de la media aritmética, Prueba 1

Media Aritmética	
x	120
y	21.46
Sp xy	-11340
Sp xx	40950

y = a+bx	
b	-0.28
a	54.69

Y1	46.38
Y2	42.23
Y3	37.89
Y4	33.69
Y5	29.49
Y6	25.29
Y7	21.09
Y8	16.89
Y9	12.69
Y10	8.49
Y11	4.29
Y12	0.09
Y13	-4.11

➤ **Calculo del tiempo de fraguado inicial**

Despejando x en la ecuación $Y = a + bx$ y sustituyendo Y la penetración permisible.

$$x = \frac{y - a}{b} = \frac{25 \text{ mm} - 54.69}{-0.28} = 106.04 \text{ min}$$

➤ **Calculo del tiempo de fraguado final**

Sustituyendo en Y la penetración permisible para el tiempo de fraguado final

$$x = \frac{y - a}{b} = \frac{0 \text{ mm} - 54.69}{-0.28} = 195.32 \text{ min} \cong 3.25 \text{ horas}$$

Grafica 8: *Fraguado del cemento hidráulico corregida, prueba 1*

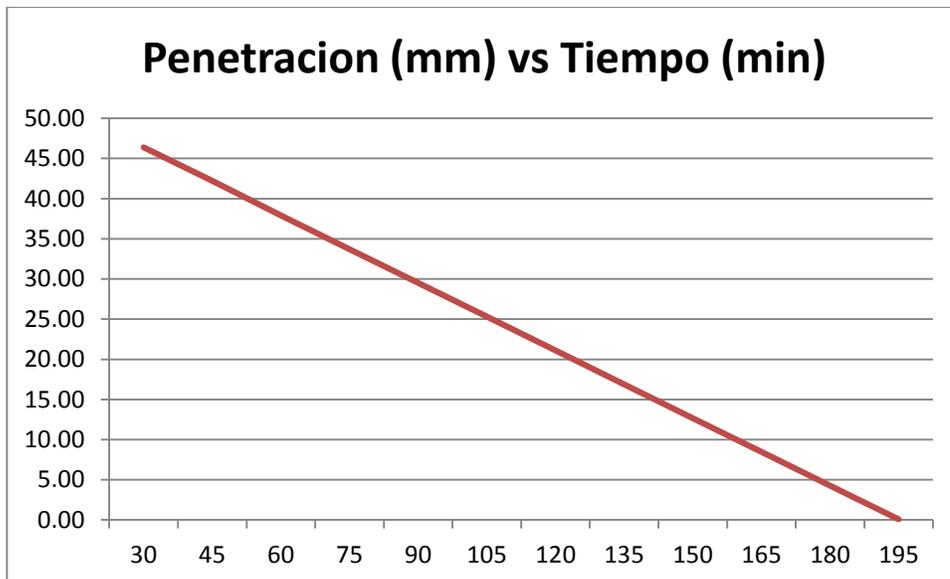


Tabla 44: Registro de pares de Lectura: Tiempo-Penetración, Prueba 2

Prueba 2				
Lectura	Tiempo (min)	Penetración (mm)	T°	Observaciones
1	30	40	23	
2	45	40	22.9	
3	60	39	22.8	
4	75	39	22.9	
5	90	38	23	
6	105	36	22.9	
7	120	32	22.8	
8	135	26	22.7	
9	150	16	23.3	
10	165	11	23.3	
11	180	2	23.2	
12	195	1	23.7	
13	210	0.5	22.4	
14	225	0	22.2	No se aprecia arca Visible

Grafica 9: Tiempo de fraguado, Prueba 2

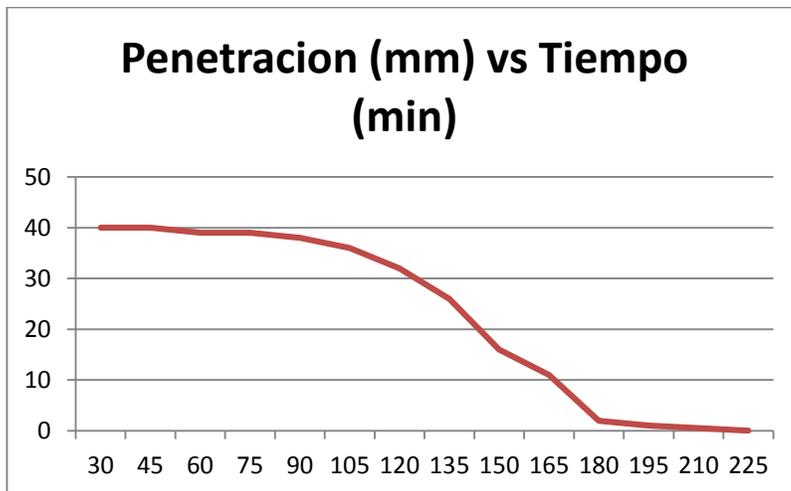


Tabla 45: Método de regresión lineal, Prueba 2

Prueba 2		Método de regresión Lineal $y = a+bx$			
Lectura	Tiempo (min)	Penetración (mm)	X ²	Y ²	XY
1	30	40	900	1600	1200
2	45	40	2025	1600	1800
3	60	39	3600	1521	2340
4	75	39	5625	1521	2925
5	90	38	8100	1444	3420
6	105	36	11025	1296	3780
7	120	32	14400	1024	3840
8	135	26	18225	676	3510
9	150	16	22500	256	2400
10	165	11	27225	121	1815
11	180	2	32400	4	360
12	195	1	38025	1	195
13	210	0.5	44100	0.25	105
14	225	0	50625	0	0
Sumatoria	1785	320.5	278775	11064.25	27690

Tabla 46: Calculo de la media aritmética, Prueba 2

Media Aritmética	
x	127.5
y	22.89
Sp xy	-13173.75
Sp xx	51187.5

y = a+bx	
b	-0.26
a	55.71

Y1	47.99
Y2	44.13
Y3	37.89
Y4	33.69
Y5	29.49
Y6	25.29
Y7	21.09
Y8	16.89
Y9	12.69
Y10	8.49
Y11	4.29
Y12	0.09
Y13	-4.11

➤ **Calculo del tiempo de fraguado inicial**

Despejando x en la ecuación $Y = a + bx$ y sustituyendo Y la penetración permisible.

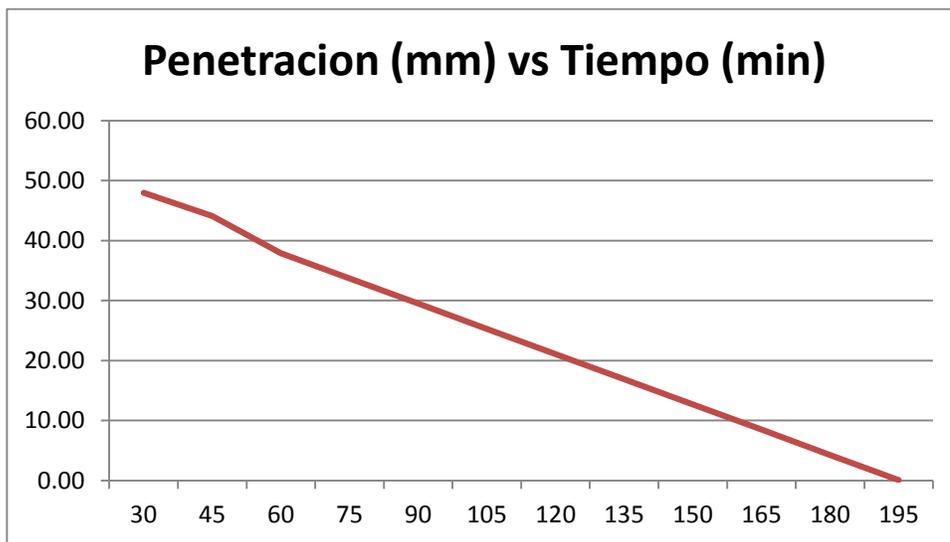
$$x = \frac{y - a}{b} = \frac{25 \text{ mm} - 55.71}{-0.26} = 118.11 \text{ min}$$

➤ **Calculo del tiempo de fraguado final**

Sustituyendo en Y la penetración permisible para el tiempo de fraguado final

$$x = \frac{y - a}{b} = \frac{0 \text{ mm} - 55.71}{-0.26} = 214.27 \text{ min} \cong 3.57 \text{ horas}$$

Grafica 10: Fraguado del cemento hidráulico corregida, prueba 2



5.5 INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS PARA EL CEMENTO

De acuerdo con los resultados obtenidos de los ensayos del cemento podemos decir que:

- La consistencia normal del cemento ensayado poseía valores dentro del rango permisible (20 a 30 %).
- La consistencia normal fue vital para la determinación del tiempo de fraguado.
- La consistencia normal no represento un índice de la calidad del cemento, sin embargo, brindo una idea del grado máximo que tolera de humedad.
- El tiempo de colocación y manipulación de la mezcla realizada con el cemento estudiado corresponde al tiempo más próximo según lo normado, por lo tanto, la aplicación o colocación de cualquier mezcla realizada con este cemento deberá ser el más apropiado.
- El tiempo de fraguado final será más acelerado que el especificado en normas, por lo tanto, es un cemento que fraguara de manera más acelerada y se podrá considerar el desencofrado en menor tiempo, sin embargo hay que cumplir con recomendaciones de desencofrado.

Nota: Véase anexo 4 Tabla de requerimiento físico para los cementos GU según NTON12006-11.

- Este cemento por ser tipo Portland no causo dificultades en su colocación y manejo.
- Estos tiempos de fraguado muestran un estimado del tiempo de manipulación.
- La gravedad específica de este cemento esta entre el rango normado, por lo tanto, se concluye que este cemento corresponde a un cemento que se encuentra fresco.
- La gravedad especifica de este cemento, representa la gravedad específica a utilizar en el diseño de una mezcla, siempre que se use en esta el cemento analizado.

- Existen muchos factores que pueden influir en el resultado de la gravedad específica, o el estado del cemento, uno de estos, la exposición del cemento a la intemperie, pero en nuestro caso tratamos de cumplir todas las condiciones mínimas establecidas en la norma ASTM 188-55.
- Los procedimientos empleados en laboratorio respecto a la temperatura que debe tener para la realización del ensaye, se cumplen, por lo tanto este factor no genera cambios en los resultados, debido a que se realizaron los ensayes en un área climatizada, con la temperatura normada (24°C a 27°C).
- Los valores máximos de resistencia se determinan a los 28 días de curado, por lo tanto, no se conoció de manera práctica estos valores debido a la falta de tiempo.

5.6 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Tabla 47: Resultados de los ensayos a los agregados finos y gruesos

Interpretación de Resultados			
Ensayes para los agregados finos y gruesos			
Ensaye	Resultados		Imagen de Referencia
Pesos volumétricos y % de vacíos ASTM C29-97	Arena		
	PVSS	PVSC	
	1408.05 kg/m ³	1540.19 kg/m ³	
	% Vacíos	% Vacíos	
	45.21	39.72	
	Grava		
	PVSS	PVSC	
1513.04 kg/m ³	1631.58 kg/m ³		
% Vacíos	% Vacíos		
47.83	43.78		
Determinación de la Gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino ASTM C 128	Arena		
	Ge	% Absorción	
	2.57 gr/cm ³	3.76	
	Grava		
Ge	% Absorción		
2.90 gr/cm ³	1.60		
Determinación del análisis granulométrico ASTM C 136	Arena		
	MF	2.56	
	Grava		
TMN	½ pulgada		
Contenido de humedad ASTM C 566-84.	Arena		
	CH	11.78%	
	Grava		
CH	0.01%		

Tabla 48: Resultados de los ensayos al cemento

Interpretación de Resultados			
Ensayes para el cemento			
Ensaye	Resultados	Imagen de Referencia	Comentario
Determinación de la gravedad específica del cemento ASTM 188-95	Ge 3.14 gr/cm ³		El peso específico del cemento portland tipo 1, oscila entre 3.1 a 3.2, cuando no se especifica el tipo de obra se puede considerar un valor de 3.15
Determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico ASTM C 197-86	Contenido de Agua 185 ml		El porcentaje determinado para obtener la consistencia normal fue de 28.5% entrando en el rango del cemento normal. (20 a 30 %)
	Consistencia 28.5%		
Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico por el método de la aguja de vicat. ASTM C 191-82..	Tiempo de fraguado Inicial 118 minutos		
	Tiempo de fraguado Final 214.27 min = 3.57 horas		
			<i>Según la NTON12006-11 el tiempo mínimo de fraguado para cemento de tipo GU debe ser mayor a 45 min y su fraguado final debe ser no mayor a 420 min.</i>

5.7 DISEÑO DE CONCRETO

Tabla 49: Tabla de Características de los agregados para el diseño de concreto

MATERIAL	PVSS kg/m ³	PVSC kg/m ³	Ge gr/cm ³	% Abs	M.F	T. Max.	T. Nom. Max.
CEMENTO			3.15				
ARENA	1,408.05	1,540.19	2.57	3.76	2.56		
GRAVA	1,513.04	1,631.58	2.90	1.60		1/2"	1/2"

γ Agua = 1,000.00 Kg/Mt3

Diseño

1. Elección del Revenimiento : 1 a 4 pulgada
2. Elección del tamaño nominal : ½ pulgada
3. Estimación de agua de mezclado y contenido de Aire

Contenido de agua: 216 lts

Contenido de aire: 2.5%

4. Elección R A/C

Calculo del esfuerzo promedio requerido

F'c: 210 kg/cm²

F'cr: 210 kg/cm² + 84 kg/cm² = 294 kg/cm²

Elección de R A/C: 0.552

Resistencia kg/cm ²	R a/c
350	0.48
294	0.552
210	0.68

5. Contenido de cemento

$$W_c = \frac{\text{Contenido de agua}}{R A/C} = \frac{216 \text{ lts}}{0.552} = 391.30 \text{ kg}$$

6. Estimación del contenido del agregado grueso

T. Max. N.	M. F	w.grava
1/2"	2.6	0.57
1/2"	2.56	0.574
1/2"	2.40	0.59

$$W_g = 0.574 \times \text{PVSC GRAVA} = 0.574 \times 1631.58 = 936.52 \text{ kg}$$

7. Estimación del agregado Fino

$$\text{Volumen} \frac{\text{Peso (kg)}}{G_e \times \gamma \text{ Agua}}$$

$$\text{Vol. Arena} = 1 - \text{Vol. grava} - \text{Vol. agua} - \text{Vol. cemento} - \text{Vol. aire}$$

$$\text{Vol. Arena} = 1 - 0.3229 + 0.216 + 0.1242 + 0.0250 = 0.3118$$

$$\begin{aligned} W. \text{ Arena} &= \text{Vol. arena} \times G_e \text{ arena} \times \gamma \text{ agua} = 0.3118 \times 2.57 \times 1000 \\ &= 801.42 \text{ kg} \end{aligned}$$

8. Pesos de materiales para 1 m³

Materiales	Pesos para 1 m ³ (kg)	Vol. absolutos
Cemento	391.3	0.1242
Arena	801.42	0.3118
Grava	936.53	0.3229
Agua	216	0.216
Aire	2.5	0.025
Total		1.000

9. Cantidad de bolsas de cemento para 1m³

$$\# \text{ bolsas} = \frac{w \text{ cemento}}{w \text{ bolsa de cemento}} = \frac{391.30 \text{ kg}}{42.5 \text{ kg}} = 9.21 \text{ bolsas} \cong 10 \text{ bolsas}$$

10. Calculo de proporciones

Proporción en peso

$$\text{Proporcion} = \frac{W \text{ de los materiales}}{W \text{ cemento}}$$

Proporción	
Cemento	1
Arena	2.05
Grava	2.39
Agua	23.45lt

11. Ajustes y primera mezcla

Tabla 50: Primera mezcla del diseño de concreto

Materiales	Pesos para 1 m ³ (kg)	Pesos para 0.02m ³ (kg)	Corrección por Abs.	Corrección por Humedad (kg)	Corrección de Mezclado
Cemento	391.3	7.826			
Arena	801.42	16.028		16.958	
Grava	936.53	18.731		18.753	
Agua	216	4.32	5.22		3.44

Nota: El peso para un volumen de 0.02 m³ equivale al peso para 3 moldes de 12 x 6 pulgadas con un 20% de desperdicio de mezclado.

Corrección Por absorción

Agua corregida por abs.

$$= \text{Agua de diseño} + \left(Wg \times \frac{\%abs}{100} \right) + \left(WA \times \frac{\%abs}{100} \right)$$

Corrección del peso de los agregados por Humedad

Pesos Corregidos = Peso del agregado + (Peso del agregado x %Humedad)

Calculo de agua de mezclado

$$\text{Agua de mezclado.} = \text{Agua corregida} - \left(Wg \times \frac{\%Hum}{100} \right) + \left(WA \times \frac{\%Hum}{100} \right)$$

Tabla 51: Resultados del ensaye de compresión de los primeros 3 especímenes

Edad	7 días	Ruptura	26/06/2016	Observaciones
No. de cilindro	Peso (kg)	Resistencia (PSI)	%	Resistencia por debajo del 70%
1	13.391	1280	42.67	Agua añadida 1 lt
2	13.425	1537	51.23	Agua de mezclado
3	13.342	1838	61.27	total 4.44 lts
Promedio	13.39	1551.67	51.72	Revenimiento 1.75 plg

Al obtener los primeros resultados se comenzó ajustar el diseño hasta obtener el diseño definitivo

5.8. AJUSTES DEL DISEÑO

Diseño – Ajuste 1

Nota 1: Por método prueba y error se le añadió un 5.09% al cemento para verificar su comportamiento, manteniendo la R a/c.

Nota 2: Al ver poca presencia de grava en el primer diseño se procedió aumentar la grava a un factor 1.6 de peso respecto a la arena.

Nota 3: Se incrementó la grava y el cemento para verificar cuanta resistencia puede ganar los especímenes.

Materiales	Pesos para 1 m3 (kg)	Pesos para 0.02m3 (kg)	Corrección por Abs.(kg)	Corrección por Hum.(kg)	Corrección de agua
Cemento	412.13	8.2426			
Arena	681.87	13.637		Material Seco	
Grava	1090.99	21.820		Material Seco	
Agua	228	4.56	5.42		5.42

Edad	7 días	Ruptura	06/07/2016	Observaciones
No.de cilindro	Peso (kg)	Resistencia (PSI)	%	
1	13.126	1789	59.63	Resistencia baja no cumple con lo que establece la norma
2	12.938	1785	59.50	Concreto ensayado a los 7 días debe estar cercano a un 70%
3	13.121	2071	69.03	
Promedio	13.06	1881.67	62.72	Revenimiento 4 pulgadas

Proporción	
Cemento	1
Arena	1.65
Grava	2.64
Agua	24.75

$$\# \text{ bolsas} = \frac{w \text{ cemento}}{w \text{ bolsa de cemento}} = \frac{412.13 \text{ kg}}{42.5 \text{ kg}} = 9.76 \text{ bolsas} \cong 10 \text{ bolsas}$$

Diseño – Ajuste 2

Nota 1: Por método prueba y error se le añadió un 4.25% al cemento para verificar su comportamiento, manteniendo la R a/c.

Nota 2: Al aumentar el volumen de lechada el peso de los agregados se redujeron.

Materiales	Pesos para 1 m3 (kg)	Pesos para 0.02m3 (kg)	Corrección por Abs.(kg)	Corrección por Hum.(kg)	Corrección de agua
Cemento	430.43	8.6086			
Arena	665.115	13.302		Material Seco	
Grava	1064.18	21.284		Material Seco	
Agua	237.59	4.7518	5.59		5.59

Edad	7 días	Ruptura	21/07/2016	Observaciones
No. de cilindro	Peso (kg)	Resistencia (PSI)	%	
1	13.099	2718	90.60	Resistencia muy encima del 70% Agua añadida 5.152 l
2	12.866	2609.73	86.99	Muestra ligeramente seca
3	13.322	2283.69	76.12	
Promedio	13.10	2537.14	84.57	Revenimiento 1.5 pulgadas

Proporción	
Cemento	1
Arena	1.54
Grava	2.47
Agua	25.79

$$\# \text{ bolsas} = \frac{w \text{ cemento}}{w \text{ bolsa de cemento}} = \frac{430.43 \text{ kg}}{42.5 \text{ kg}} = 10.18 \text{ bolsas} \cong 11 \text{ bolsas}$$

Diseño – ajuste 3

Nota 1: Por método prueba y error se le redujo un 1.5 % al cemento para verificar su comportamiento, manteniendo la R a/c.

Nota 2: Al disminuir el volumen de lechada el peso de los agregados se aumentaron.

Materiales	Pesos para 1 m3 (kg)	Pesos para 0.02m3 (kg)	Corrección por Abs.(kg)	Corrección por Hum.(kg)	Corrección de agua
Cemento	424	8.48			
Arena	671.059	13.421		Material Seco	
Grava	1073.694	21.474		Material Seco	
Agua	234.048	4.681	5.53		5.53

Edad	7 días	Ruptura	29/07/2016	Observaciones
No. de cilindro	Peso (kg)	Resistencia (PSI)	%	
1	13.404	2697	89.90	Resistencia un poco encima del 70% Agua añadida 4.759 lt Muestra ligeramente seca
2	13.074	2282	76.07	
3	13.175	1962	65.40	
Promedio	13.22	2313.67	77.12	Revenimiento 1.75 pulgadas

Proporción	
Cemento	1
Arena	1.58
Grava	2.53
Agua	25.41

$$\# \text{ bolsas} = \frac{w \text{ cemento}}{w \text{ bolsa de cemento}} = \frac{424 \text{ kg}}{42.5 \text{ kg}} = 9.97 \text{ bolsas} \cong 10 \text{ bolsas}$$

5.8.1. Diseño Definitivo

Diseño Definitivo

Nota 1: Se mantuvo el diseño anterior manteniendo su R A/C

Nota 2: Se le añadió toda el agua para verificar el comportamiento de la muestra y que el revenimiento tomara valores más altos.

Nota 3: Este diseño fue el definitivo a espera de sus resultados.

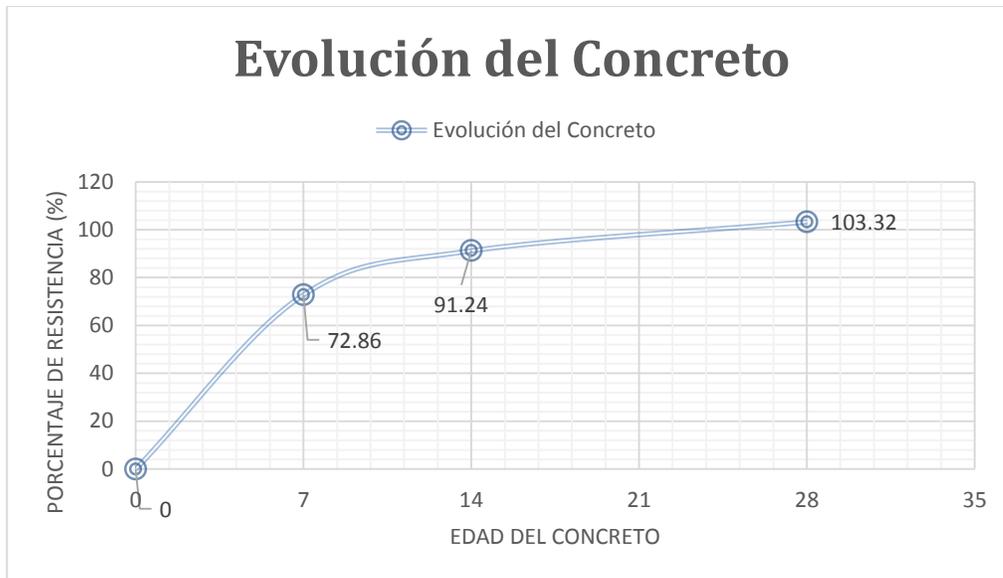
Materiales	Pesos para 1 m3 (kg)	Pesos para 0.02m3 (kg)	Corrección por Abs.(kg)	Corrección por Hum.(kg)	Corrección de agua
Cemento	424	8.48			
Arena	671.059	13.421		15.000	
Grava	1073.694	21.474		21.687	
Agua	234.048	4.681	5.53		3.95

Proporción	
Cemento	1
Arena	1.58
Grava	2.53
Agua	25.41

$$\# \text{ bolsas} = \frac{w_{\text{cemento}}}{w_{\text{bolsa de cemento}}} = \frac{424 \text{ kg}}{42.5 \text{ kg}} = 9.97 \text{ bolsas} \cong 10 \text{ bolsas}$$

Tabla 52: Resultados de ensayos de compresión al diseño definitivo

Edad	7 días	Ruptura	05/08/2016	Observaciones
No. de cilindro	Peso (kg)	Resistencia (PSI)	%	Resistencia en el rango aceptable Agua añadida 3.95lt
1	12.968	2134	71.13	Muestra con consistencia pastosa % Humedad grava 0.01% y arena 11.78%
2	13.042	2232	74.40	
3	13.316	2191	73.03	
Promedio	13.11	2185.67	72.86	Revenimiento 3.65 pulgada
Edad	14 días	Ruptura	12/08/2016	Observaciones
No. de cilindro	Peso (kg)	Resistencia (PSI)	%	Resistencia en el rango aceptable Agua añadida 3.95lt
4	13.265	2938	97.93	Muestra con consistencia pastosa % Humedad grava 0.01% y arena 11.78%
5	13.289	2767	92.23	
6	13.314	2507	83.57	
Promedio	13.289	2737.33	91.24	Revenimiento 3.65 pulgada
Edad	28 días	Ruptura	19/08/2016	Observaciones
No. de cilindro	Peso (kg)	Resistencia (PSI)	%	Resistencia en el rango aceptable Agua añadida 3.95lt
7	13.004	3087.25	102.91	Muestra con consistencia pastosa % Humedad grava 0.01% y arena 11.78%
8	13.163	3128	104.27	
9	12.977	3083.8	102.79	
Promedio	13.048	3099.68	103.32	Revenimiento 3.65 pulgada



Grafica 11: Evolución del concreto definitivo

Los resultados obtenidos para la fabricación y diseño de la mezcla representan ser los resultados confiables debido a que los datos como PVSS, PVSC, gravedad específica, porcentaje de absorción y porcentaje de humedad utilizados para el diseño, corresponden a los datos determinados en ensayos anteriores de los materiales empleados para la fabricación de la mezcla.

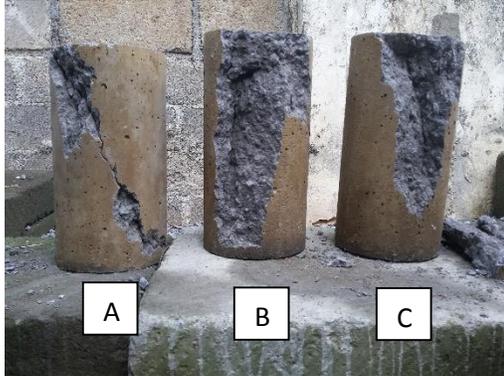
El concreto fabricado está diseñado haciendo uso de distintas tablas experimentales correspondiente al ACI.

El concreto diseñado presenta una manejabilidad plástica, debido a los resultados obtenidos en la prueba de revenimiento donde este alcanzo un revenimiento entre 3" a 4".

El concreto fue diseñado para una resistencia a la compresión de 3000PSI a los 28 días (tiempo de curado donde alcanza su resistencia máxima).

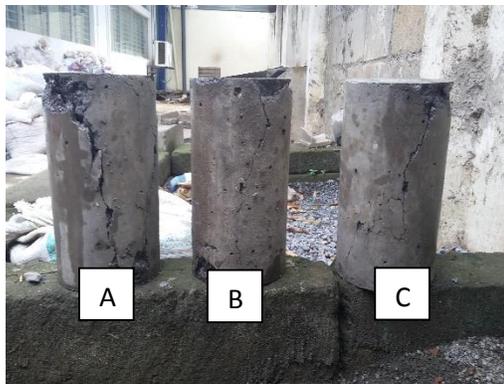
5.8.2. Comportamiento del concreto de acuerdo a las cargas aplicadas en el ensayo de esfuerzo a la compresión.

Figura 26: Comportamiento del concreto ensayado a los 7 días de edad



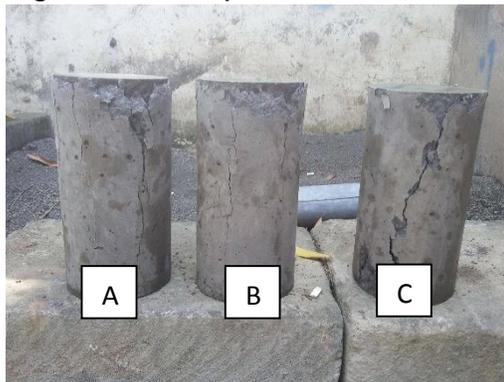
Según lo que se puede observar el concreto sufrió diferentes fallas: La primera falla (cilindro A) ocurre cuando existe un cabeceo irregular. Para el cilindro B y C ocurre cuando se presenta una aplicación de carga convexa y/o por deficiencia de materias de cabeceo.

Figura 27: Comportamiento del concreto ensayado a los 14 días de edad



Para estos especímenes ensayados a los 14 días las fallas ocurrieron cuando existe un cabeceo irregular.

Figura 28: Comportamiento del concreto ensayado a los 28 días de edad



En los especímenes ensayados a los 28 días se pueden observar 2 tipos de falla la primera (A y B) ocurre cuando existe un cabeceo irregular y una pobre compactación. En el cilindro C se da por un cabeceo irregular

Nota: Existen otros tipos de fallas del concreto producto de la manipulación del concreto, véase anexo V.

5.9 RESULTADO DEL DISEÑO PARA LOS METODOS COMPARATIVOS

Nota: Se llenaron alrededor de 24 muestras en 3 etapas de 9, distribuidas de la siguiente manera 3 para el curado a los 28 días, 3 curado con un día de edad y 3 para curado por el método de ebullición modificado, esto con el fin de realizar el proceso comparativo de resistencias y estimación de resistencia mediante el método de regresión.

Nota: El porcentaje que arrojo los resultados de resistencias es respecto al diseño del concreto de 3000 psi.

Tabla 53: Ensayes de resistencia a la compresión a especímenes con 28 días de edad

Edad 28 días				Observaciones
No. de cilindro	Peso (kg)	Resistencia (PSI)	%	
1	13.125	2965.25	98.84	Se llenaron en 3 etapas de 3 En las fechas siguientes 19/09/16 ruptura 09/09/16 09/09/16 ruptura 30/09/16 23/09/16 ruptura 14/10/16 Porcentaje de Humedad 11.67%
2	13.729	3101.707	103.39	
3	13.603	3173.07	105.77	
4	13.175	3073.241	102.44	
5	12.595	2938.03	97.93	
6	12.712	2968.249	98.94	
7	13.015	3064.129	102.14	
8	13.326	3137.348	104.58	
9	13.645	3212.451	107.08	
Promedio	13.214	3070.39	102.35	Revenimiento 3.8 pulgada

Tabla 54: Ensayes de resistencia a la compresión a especímenes con 1 día de edad.

Edad 1 Día				Observaciones
No. de cilindro	Peso (kg)	Resistencia (PSI)	%	
1	12.486	885.77	29.53	Se llenaron en 3 etapas de 3 En las fechas siguientes 19/09/16 ruptura 20/09/16 09/09/16 ruptura 10/09/16 23/09/16 ruptura 24/10/16 Porcentaje de Humedad 11.67
2	13.274	875.77	29.19	
3	13.151	852.47	28.42	
4	13.822	895.96	29.87	
5	13.792	854.32	28.48	
6	12.724	926.03	30.87	
7	13.906	918.23	30.61	
8	13.717	904.08	30.14	
9	12.796	866.618	28.89	
Promedio	13.296	886.58	29.55	Revenimiento 3.8 pulgada

Tabla 55: Ensayes de resistencia a la compresión a especímenes curado por el método de ebullición Modificado

T. de Fraguado	3 horas y 30 min	Ebullición modificado	Observaciones	
No. de cilindro	Peso (kg)	Resistencia (PSI)	%	
1	12.822	877.44	29.25	Se llenaron en 3 etapas de 3 En las fechas siguientes 19/09/16 ruptura 20/09/16 09/09/16 ruptura 10/09/16 23/09/16 ruptura 24/10/16 Porcentaje de Humedad 11.67
2	12.792	889.10	29.64	
3	12.784	917.40	30.58	
4	12.900	900.93	30.03	
5	12.740	893.05	29.77	
6	12.683	921.52	30.72	
7	12.574	881.52	29.38	
8	12.406	901.77	30.06	
9	12.621	884.68	29.49	
Promedio	12.70	896.38	29.88	Revenimiento 3.80 pulgada
Temperatura	100°C	Procedimiento comparativo		

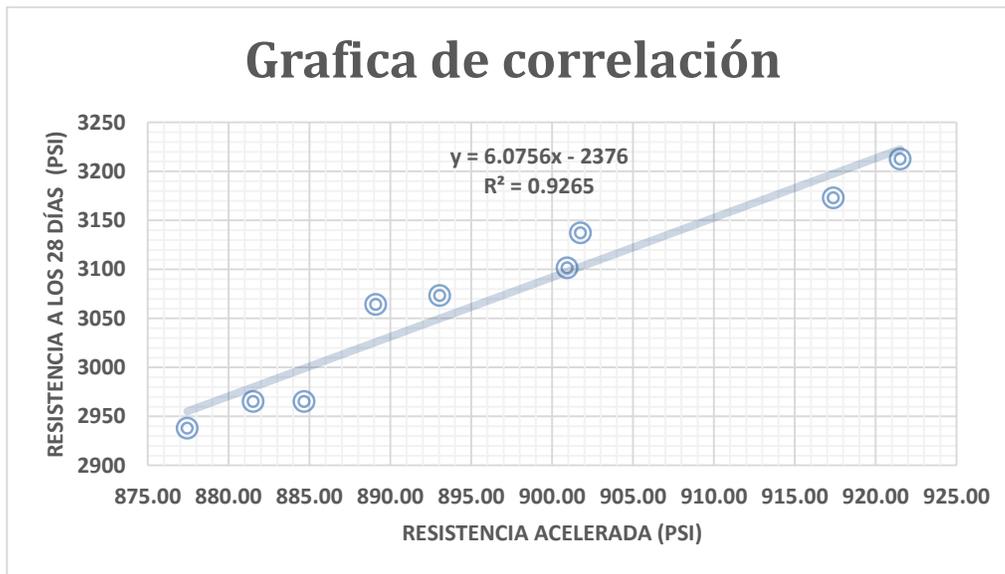
5.10. ESTIMACIÓN DE RESISTENCIAS

5.10.1. Estimación de resistencias a partir de resistencias del método ebullición modificado

Tabla 56: Método de regresión para la estimación futura de resistencia conociendo datos de resistencias aceleradas.

ACELERADA VS 28 DÍAS		Método de regresión Lineal $y = a+bx$			
Lectura	Acelerada (p.s.i) X	R. a 28 días Y	X ²	Y ²	XY
1	877.44	2938.03	769900.9536	8632020.281	2577945.043
2	881.52	2965.25	777077.5104	8792707.563	2613927.18
*3	884.68	2965.249	782658.7024	8792701.632	2623296.485
4	889.10	3064.129	790498.81	9388886.529	2724317.094
5	893.05	3073.241	797545.4469	9444810.244	2744570.168
*6	900.93	3101.707	811674.8649	9620586.314	2794420.888
7	901.77	3137.348	813189.1329	9842952.473	2829166.306
8	917.40	3173.07	841622.76	10068373.22	2910974.418
*9	921.52	3212.451	849199.1104	10319841.43	2960337.846
Sumatoria	8067.41	27630.475	7233367.292	84902879.69	24778955.43

Grafica 12: Grafica de correlación entre resistencia a los 28 días y resistencia aceleradas.



Media Aritmética	
x	896.379
y	3070.053
Sp xy	11568.66724
Sp xx	1904.108472
SP yy	75863.16231

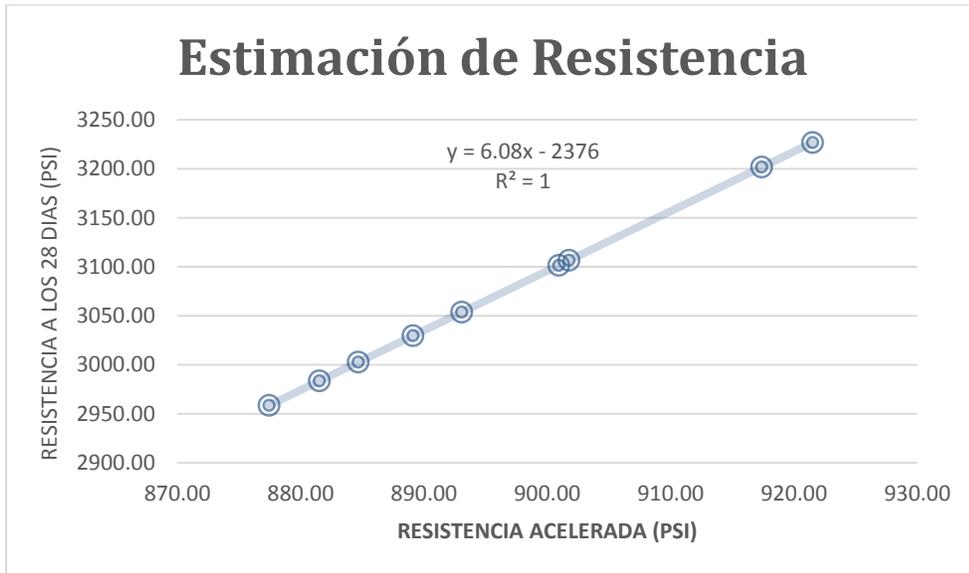
y = a+bx	
b	6.08
a	-2376.02

Y1	2958.82
Y2	2983.62
Y3	3002.83
Y4	3029.71
Y5	3053.75
Y6	3101.63
Y7	3106.74
Y8	3201.77
Y9	3226.82

Grafica de correlación corregida por el Método de regresión Lineal con la ecuación siguiente:

$$R_{28 DIAS} = -2376.02 + 6.08R_{Acelerada}$$

Grafica 13: Grafica corregida para la estimación de resistencia a partir de resistencia aceleradas.



Estimación Futura		
Nivel de Confianza	93%	
ERROR	0.7	
Z a/2	1.81	
Desviación Estándar	28.22	
Error estándar	9.407	
Margen de error	17.03	
Promedio de datos aceptables	3093.135667	
Intervalos de confianza	positivo	Negativo
	3110.16	3076.110

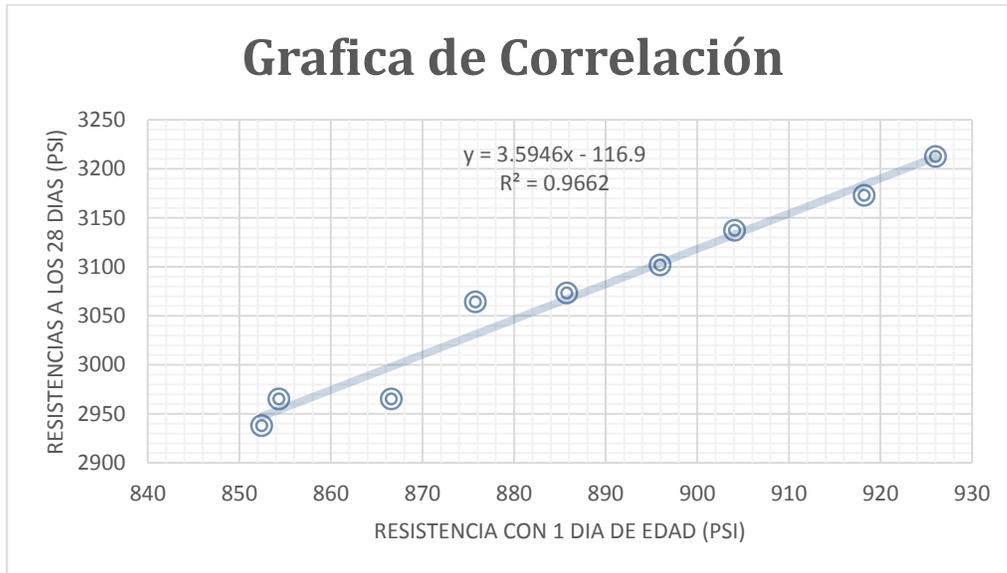
5.10.2. Estimación de resistencias a partir de resistencias de concreto con 1 día de edad.

Se realizó esta estimación de resistencia debido a que con el método de ebullición modificado se obtuvo una variación mínima del 0.33% con respecto a los especímenes con un día de edad. Cabe recalcar que se ensayaron especímenes con un día de edad porque surgió la incógnita que si era posible que el método de ebullición alteraría los datos de resistencia ya que el método duraría 3 horas y media.

Tabla 57: Método de regresión para la estimación futura de resistencia conociendo datos de resistencias de concreto con un día de edad.

1 DIA VS 28 DÍAS		Método de regresión Lineal $y = a+bx$			
Lectura	1 Día X	R. a 28 días Y	X ²	Y ²	XY
1	852.47	2938.03	726705.1009	8632020.281	2504582.434
2	854.32	2965.25	729862.6624	8792707.563	2533272.38
3	866.618	2965.249	751026.7579	8792701.632	2569738.158
4	875.77	3064.129	766973.0929	9388886.529	2683472.254
5	885.77	3073.241	784588.4929	9444810.244	2722184.681
*6	895.96	3101.707	802744.3216	9620586.314	2779005.404
*7	904.08	3137.348	817360.6464	9842952.473	2836413.58
8	918.23	3173.07	843146.3329	10068373.22	2913608.066
*9	926.03	3212.451	857531.5609	10319841.43	2974826
Σ	7979.25	27630.475	7079938.969	84902879.69	24517102.96

Grafica 14: Grafica de correlación entre resistencia a los 28 días y resistencia de concreto con un día de edad.



Media Aritmética	
x	886.583
y	3070.053
Sp xy	20390.46909
Sp xx	5672.452657
Sp yy	75863.16231

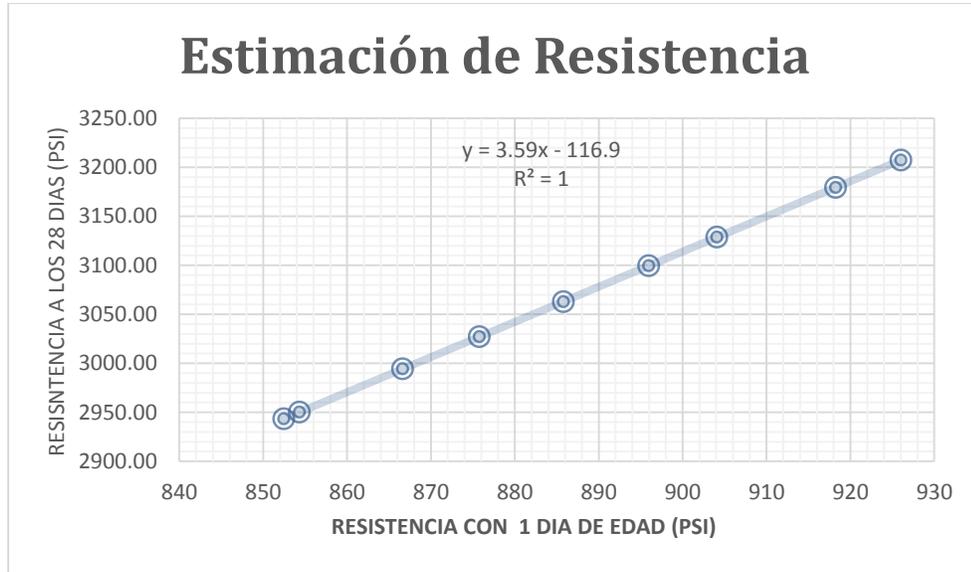
$y = a+bx$	
b	3.59
a	-116.90

Y1	2943.47
Y2	2950.11
Y3	2994.26
Y4	3027.11
Y5	3063.01
Y6	3099.60
Y7	3128.75
Y8	3179.55
Y9	3207.55

Grafica de correlación corregida por el Método de regresión Lineal con la ecuación siguiente:

$$R_{28 DIAS} = -116.90 + 3.59R_{concreto 1 dia de edad}$$

Grafica 15: Grafica corregida para la estimación de resistencia a partir de resistencia de concreto con un día de edad.



Estimación Futura		
Nivel de Confianza	97%	
ERROR	0.3	
Z a/2	2.21	
Desviación Estándar	19.148	
Error estándar	6.383	
Margen de error	14.11	
Promedio de datos aceptables (*)	3150.502	
Intervalos de confianza	Positivo	Negativo
	3164.61	3136.396

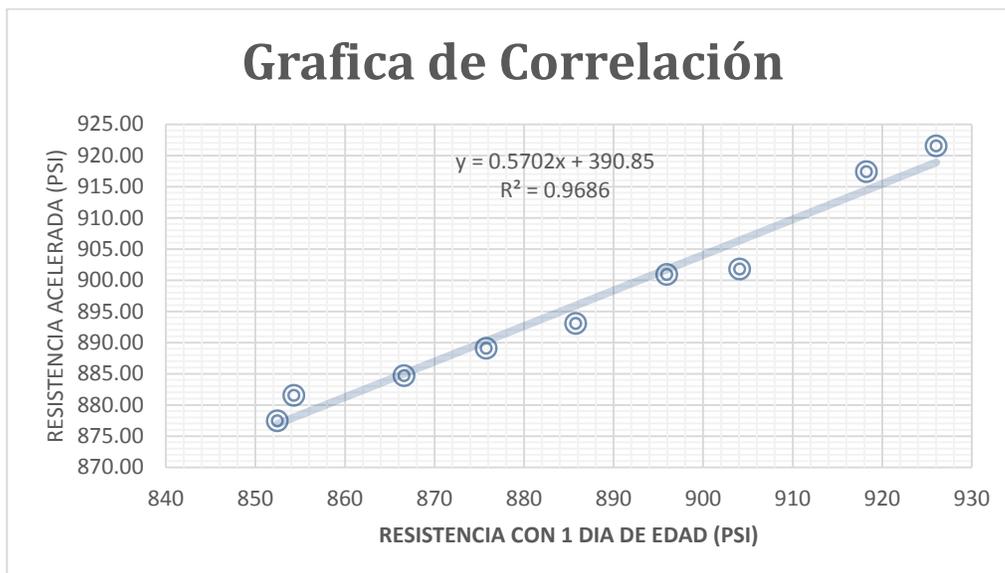
5.10.3 Estimación de resistencias aceleradas a partir de resistencia de concreto con 1 día de edad.

Debido a la poca variación que se obtuvo de la resistencia de ambos métodos con el fin de tener una ecuación de estimación que relacione a ambos métodos.

Tabla 58: Método de regresión para la estimación futura de resistencia acelerada conociendo datos de resistencias de concreto con un día de edad.

1 DIA VS 28 DÍAS		Método de regresión Lineal $y = a+bx$			
Lectura	1 Día X	Acelerada Y	X ²	Y ²	XY
1	852.47	877.44	726705.1009	769900.9536	747991.2768
2	854.32	881.52	729862.6624	777077.5104	753100.1664
3	866.618	884.68	751026.7579	782658.7024	766679.6122
4	875.77	889.10	766973.0929	790498.81	778647.107
*5	885.77	893.05	784588.4929	797545.4469	791040.4416
*6	895.96	900.93	802744.3216	811674.8649	807197.2428
*7	904.08	901.77	817360.6464	813189.1329	815272.2216
8	918.23	917.40	843146.3329	841622.76	842384.202
9	926.03	921.52	857531.5609	849199.1104	853355.1656
Σ	7979.25	8067.414	7079938.969	7233367.292	7155667.436

Grafica 16: Grafica de correlación entre resistencia de concreto con un día de edad y resistencia de concreto con un día de edad



Media Aritmética	
x	886.583
y	896.379
Sp xy	3234.433279
Sp xx	5672.452657
Sp yy	1904.108473

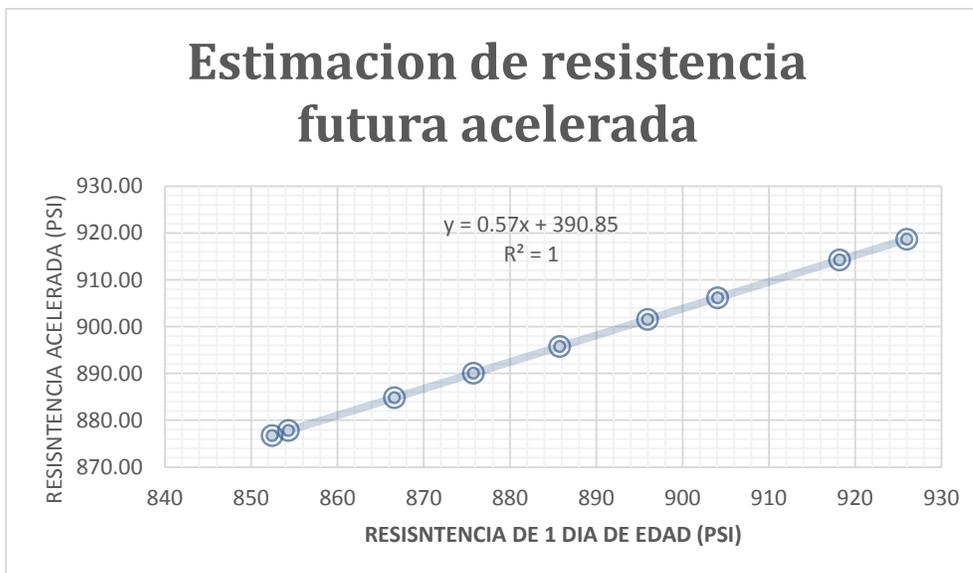
Y1	876.76
Y2	877.81
Y3	884.82
Y4	890.04
Y5	895.74
Y6	901.55
Y7	906.18
Y8	914.24
Y9	918.69

y = a+bx	
b	0.57
a	390.85

Grafica de correlación corregida por el Método de regresión Lineal con la ecuación siguiente:

$$R_{Acelerada} = 390.85 + 0.57R_{concreto\ 1\ dia\ de\ edad}$$

Grafica 17: Grafica corregida para la estimación de resistencia acelerada a partir de resistencia de concreto con un día de edad.



Estimación Futura		
Nivel de Confianza	97%	
ERROR	0.3	
Z a/2	2.245	
Desviación Estándar	2.92	
Error estándar	0.973	
Margen de error	2.19	
Promedio de datos aceptables (*)	898.58	
Intervalos de confianza	positivo	Negativo
	900.77	896.400

5.11 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL PROCESO COMPARATIVOS

Según el método de regresión (mínimo cuadrado) nos dieron como resultados 3 ecuaciones para estimar la resistencia futura de resistencias aceleradas a partir de resistencias a los 28 días y resistencia a 1 día de edad, cabe recalcar que estas ecuaciones nada más serán utilizadas para estimar resistencia de concreto con las mismas características de los agregados y cemento. Los valores de confianza que nos da cada comparación serán los límites de aceptación del concreto a diseñar.

Se muestran también las gráficas de correlación que muestran el comportamiento que tendrán el concreto.

5.11.1 Comportamiento del concreto curado por el método ebullición modificado.



Al terminar el proceso de curado del método acelerado del concreto hubo un cambio en sus características físicas, esta diferencia fue que presentaba partículas blancas que se desprendían de él y manchas en la parte superior del espécimen.

Figura 29: Especímenes curados por el método de ebullición modificado

Durante la ejecución de método de curado por ebullición, exactamente durante el tiempo de refrescamiento o reposo a como lo indica el método (1 hora después de



transcurrida las 3.5 horas de ebullición). Se logró observar la presencia de polvo blanco debido a la desintegración de la superficie del concreto.

Al fenómeno antes mencionado se le denomina pulverización o entizado.

La pulverización puede ser producto de múltiples factores, entre ellos están:

- Ejecución de algún tipo de operación mientras el agua de exudación está aún presente en el concreto.
- Cambios bruscos de temperatura
- Inadecuada ventilación en espacios cerrados
- Inadecuada protección del concreto fresco recién vaciado, de la lluvia, de la nieve y de los vientos secos

En el caso de nuestro ensaye, la pulverización fue producto de la elevada temperatura del agua (100°C). Obviamente el cambio brusco de temperatura de los cilindros con respecto al agua se vio reflejada, es importante mencionar que solo la presencia de entizado no afecta en la resistencia del concreto debido a que es una afectación meramente superficial, a diferencia de la combinación del agrietamiento, desprendimientos, pulverización y segregación del mismo, estas irregularidades en combinación si producen el declive de la resistencia.



Como los resultado de resistencia lo indican los especímenes curados por ebullición no tuvo una variación relevante con respecto a los especímenes con 1 día de edad alcanzando un incremento de un 0.33 %

El método obtuvo un 29.55 % de resistencia con respecto al diseño de 3000 psi.

Figura 30: Concreto curado por el método de ebullición pasando la prueba de resistencia

CAPITULO 6: CONCLUSIONES

1. Se caracterizaron los materiales para el diseño de concreto obteniendo como resultado.

MATERIAL	PVSS	PVSC	Ge	% Abs	M.F	T. Max.	T. Nom. Max.
CEMENTO			3.15				
ARENA	1,408.05	1,540.19	2.57	3.76	2.56		
GRAVA	1,513.04	1,631.58	2.90	1.60		1/2"	1/2"

2. Haciendo el uso del método de la ACI se obtuvo un concreto que alcanzo una resistencia máxima a los 28 días de 103.32% diseñado para 3000 psi.
3. La comparación de la resistencia obtenida mediante el curado por ebullición respecto al curado por inmersión fue del 29.88%.
4. El método curado por ebullición nos proporciona una estimación de resistencia a la compresión a especímenes de concreto fabricado con materiales que cumplan con características específicas.
5. Conociendo la resistencia acelerada por el método de ebullición se puede predecir con un nivel de confiabilidad de 93% la resistencia del curado a los 28 días utilizando la fórmula siguiente:

$$R_{28 DIAS} = -2376.02 + 6.08R_{Acelerada}$$

6. Al notar que no existía una variación relevante entre los datos de resistencia por el método de ebullición modificado y el concreto de 1 día de edad. Se realizó una regresión lineal para estimar la resistencia futura del concreto con las resistencias de 1 día de edad dando la siguiente ecuación

$$R_{28 DIAS} = -116.90 + 3.59R_{concreto 1 dia de edad}$$

7. Se obtuvo un incremento de resistencia 0.33% curado por ebullición respecto al concreto de 1 día de edad pero para conocer la variación de una manera estadística se realizó regresión lineal obteniendo la siguiente ecuación :

$$R_{Acelerada} = 390.85 + 0.57R_{concreto\ 1\ dia\ de\ edad}$$

8. Las ecuaciones de predicción de resistencia antes mencionadas, son válidas solamente para concretos fabricados con materiales cuyas características sean idénticas a los materiales utilizados en este trabajo monográfico.
9. El método de curado por ebullición no puede aplicarse en obra debido a ciertas condiciones tales como: calentar agua, mantener la temperatura del agua constante, evitar la pérdida de agua.

CAPITULO 7: RECOMENDACIONES

ENSAYES

- Se recomienda calibrar los moldes a utilizar en el ensaye de Pesos volumétricos en el caso que estos no estén estandarizados.
- En el caso de promediar el número de ensayos se recomienda descartar los valores que estén muy alejados ya que estos provocarían alteraciones de los resultados reales.
- Homogenizar el material antes de cada ensaye para evitar irregularidades en el caso de su graduación.
- En los ensayos correspondientes a los aglomerantes tener cuidado en controlar las temperaturas
- Se recomienda utilizar los resultados obtenidos en los ensayos previos al diseño.

CURADO POR INMERSION

- Sumergir los especímenes de concreto en agua que se encuentre completamente limpia y de igual forma tratar que el tanque de curado este también limpio.
- Mantener la temperatura del agua (24°C a 27°C) haciendo uso de un estabilizador de temperatura (termostato).
- Evitar los contactos entre los especímenes.
- Procurar que el espécimen este completamente sumergido en el agua.

CURADO POR EL METODO DE EBULLICION MODIFICADO

- Utilizar un equipo que sea capaz de mantener temperatura.
- Evitar la pérdida de vapor del recipiente metálico cubriéndolo con cualquier material no absorbente.
- Procurar que los especímenes de concreto tengan una separación uno con otro al momento de ser sumergido.
- Mantener el nivel del agua en ebullición al menos 10 cm de la parte superior del cilindro.

ESTIMACIÓN DE RESISTENCIA

- Para proyectos o investigaciones futuras que incumban la comparación de especímenes de concreto se recomienda tomar en cuenta los datos de intervalo de confianza de la investigación para establecer un rango de aceptación de la resistencia del concreto.
- En caso que los especímenes de concreto estén alejados a los intervalos de confianza se recomienda realizar más especímenes para comprobar que estos nuevos valores puedan estar en los intervalos necesarios, de no ser así ajustar el diseño de concreto y realizar una nueva grafica de regresión.
- De acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda mantener el uso del curado por inmersión ya que el curado por ebullición no alcanzo a obtener datos de resistencia relevantes.
- Se recomienda aplicar el método acelerado con otro tipo de cemento diferente al de uso general, debido a la variación de tiempo de reacción de componentes y reactivos.
- Se recomienda no realizar el ensaye acelerado por el método de ebullición en obra ya que este el método consiste en estimar resistencia.
- Se recomienda no utilizar el método de ebullición en obra ya que los datos que se obtendrán no estarán muy distantes de los datos obtenidos de los datos de inmersión.

CAPITULO 8: BIBLIOGRAFIA

- ✓ ACI Committee 308 R “Guide to Curing Concrete”, American Concrete Institute, Detroit, 2001.
- ✓ ASTM C-309, “Specifications for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete”, V 04.02, ASTM, Philadelphia, 1988.
- ✓ ASTM C192/C192 M- 15 Practica normalizada para preparación y curado de especímenes de concreto para ensayo en laboratorio.
- ✓ Diego Sánchez de Guzmán, Tecnología del concreto y del mortero
- ✓ Guía de laboratorio de materiales de construcción UNI.
- ✓ Información técnica-Tecnología i-T6, Curado del hormigón.
- ✓ IMCYM (Instituto Mexicano del Concreto y del cemento).Criterio general del diseño de mezclas de concreto por el método de la ACI,
- ✓ NMX-C083-0NNCC-2002, Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto Método de prueba.
- ✓ Norma INV E-412-07, Ensayo de fabricación, curado acelerado y resistencia a la compresión a especímenes de concreto.
- ✓ PCA (Portland Cement Association).
- ✓ R. Lyman Ott, Micheal T. Longnecker ,An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis.
- ✓ R. KRISHNA IYER y N. SUKESAN NAIR, Ensayos Acelerados del Hormigón
- ✓ SIKA ISSN-0122-0594, Guía Técnica acerca del curado del concreto.
- ✓ www.cemexnicaragua.com/productosservicios/portlandGU.aspx

ANEXOS

I. GALERÍA DE FOTOS



Gravedad Específica de la arena



Peso volumetrico de la grava



Analisis granulometrico de la arena



Mezcla de Concreto



Prueba de Revenimiento



Prueba de Resistencia a la compresion



Especimenes durante el curado por ebullicion



Especimenes luego del curado por ebullicion o en etapa de enfriamiento



Especimnes luego de la prueba de resistencia a la compresion

II. MÉTODO PARA ACELERAR EL CURADO DEL CONCRETO

Procedimiento	Moldes	Origen de la resistencia por curado acelerado	Temperatura de Curado Acelerado °C	Inicio del tiempo del curado acelerado	Duración del Curado Acelerado	Duración del Ensayo
Procedimiento 1	Reutilizables o de uso simple	Calor de Hidratación	35	Inmediatamente después del vaciado	23.5h ± 30 min	24 h ± 30 min
Procedimiento 2	Reutilizables o de uso simple	Agua Hirviendo	Ebullición del Agua	23 h ± 30 min después del vaciado	3.5 h ± 30 min	28.5h ± 30 min
Procedimiento 3	Un solo uso	Calor de Hidratación	Temperatura inicial del concreto, incrementada por el calor de hidratación	Inmediatamente después del vaciado	48 h ± 30 min	49h ± 30 min
Procedimiento 4	Reutilizables	Presión y calor externos	150	Inmediatamente después del vaciado	5 h ± 30 min	5.25h ± 30 min

III. PROCEDIMIENTO PARA CADA MÉTODO DE CUARADO ACELERADO

Procedimiento 1 – Método del agua caliente:

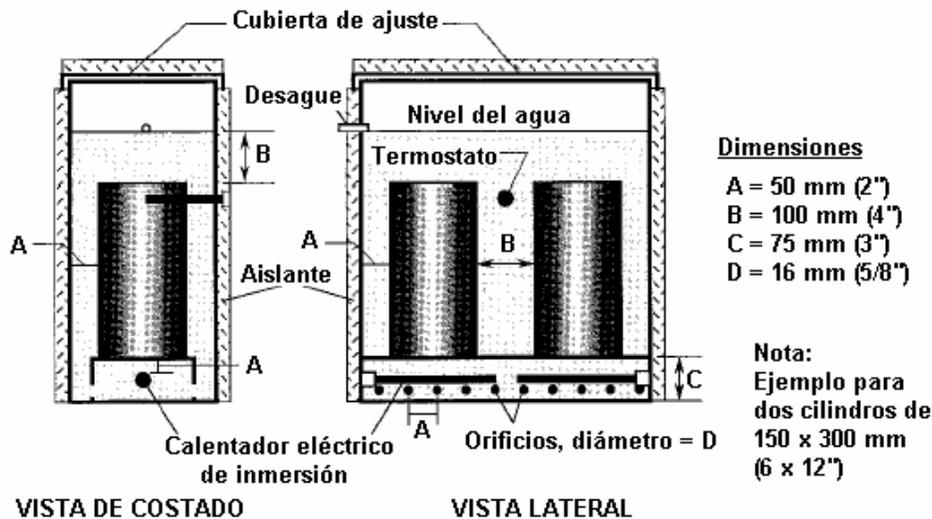


Figura tomada de la norma INV-412 Diseño sugerido para un tanque de curado para los procedimientos 1 y 2

Procedimiento del Ensayo

- Se moldean los especímenes tal como lo establece la norma ASTM C31/C 31M *“Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field”*.
- Si es necesario se cubre la parte superior de los especímenes con una placa rígida para prevenir la pérdida del mortero en el baño de agua.
- Inmediatamente después del moldeado se colocan los especímenes de concreto en el tanque de curado (Nota 5). Se mantiene el agua durante el tiempo de inmersión y del período de curado a una temperatura de $35^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$.

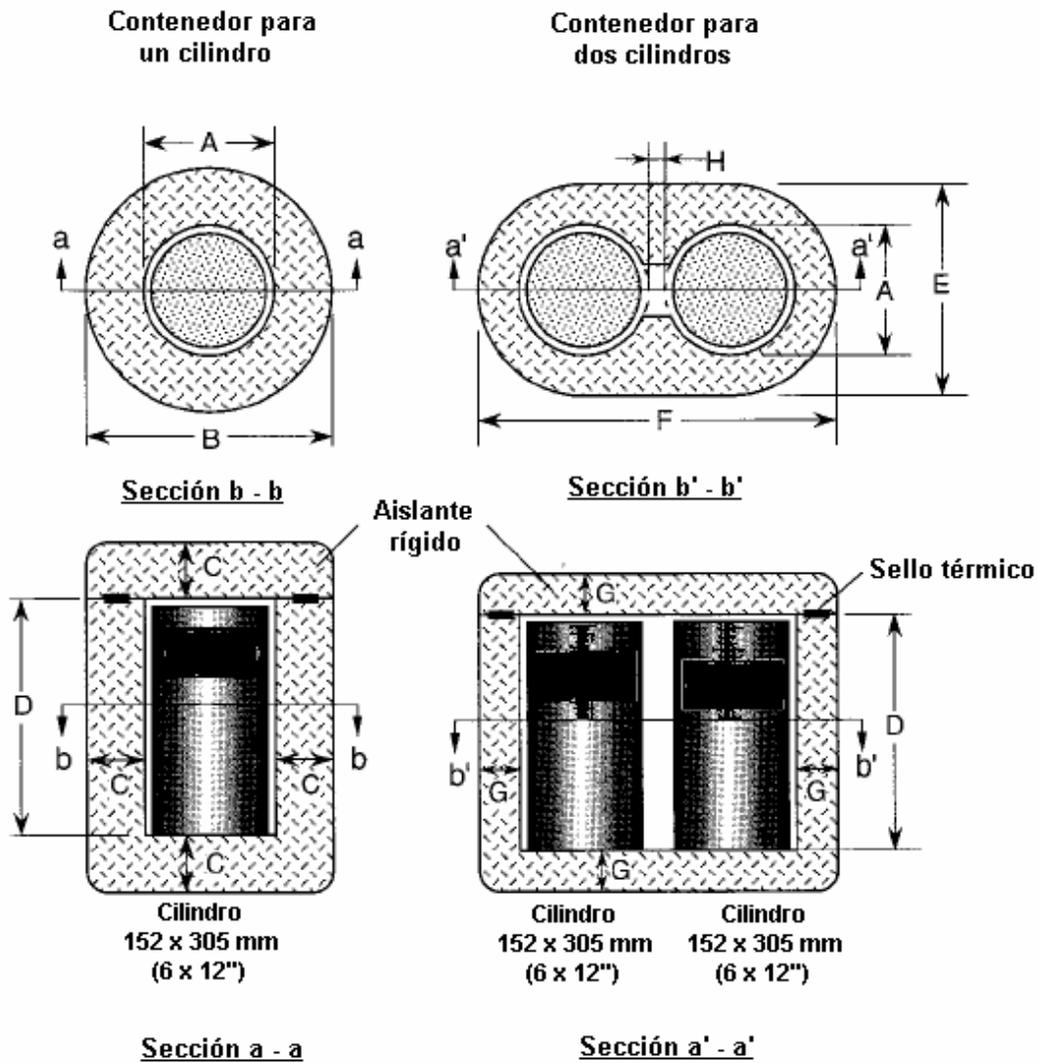
Nota: *Si* los especímenes son fundidos en moldes que cumplen los requerimientos de 4.2.1, ellos pueden ser almacenados horizontalmente, de lo contrario se almacena verticalmente en el tanque de curado.

- Durante el tiempo de curado se registra la temperatura del agua de forma continua o periódicamente.
- Después de un tiempo de curado de $23.5 \text{ h} \pm 30 \text{ min}$, se retiran los especímenes del tanque y se remueven de los moldes.
- Se ensayan los especímenes en un tiempo de $24 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$.

NOTA

No se refleja el procedimiento numero 2 ya que este fue el utilizado en la investigación (Método de ebullición)

Procedimiento 3 – Método de Autoclave



Dimensiones

$A = 162$ a 165 mm ($6 \frac{3}{8}$ " a $6 \frac{1}{2}$ ")	$E = 290$ a 293 mm ($11 \frac{3}{8}$ " a $11 \frac{1}{2}$ ")
$B = 314$ a 317 mm ($12 \frac{3}{8}$ " a $12 \frac{1}{2}$ ")	$F = 464$ a 483 mm ($18 \frac{1}{4}$ " a 19 ")
$C = 76$ mm (3")	$G = 64$ mm (2 $\frac{1}{2}$ ")
$D = 311$ mm (12 $\frac{1}{4}$ ")	$H = 13$ a 25 mm ($\frac{1}{2}$ " a 1 ")

Figura tomada de la norma INV-412 Metodo de autoclave para 2 especimenes de concreto.

Inmediatamente después del moldeo, se cubre el molde con una placa metálica o una

Procedimiento del Ensayo

- Inmediatamente después del moldeado, se cubre el molde con una placa metálica o una capa de sellado hermético y se cubre con una bolsa de trabajo pesado de la cual se debe expeler el aire atrapado antes de su cierre. Alternativamente puede ser usada una capa plástica que sea impermeable. La capa plástica debe ser lo suficientemente fuerte para resistir punzonamientos y permitir la colocación y remoción del espécimen de autoclave.
- Se reinician las medidas en el termómetro de máxima y mínima y una vez insertado el espécimen en el contenedor se asegura su tapa.
- Se registra el tiempo de moldeado con una precisión de 15 min y la temperatura de las mezclas frescas de concreto en el molde afuera del contenedor de curado.
- Se almacena el contenedor de curado durante doce horas en un sitio no sujeto a perturbaciones o a luz directa, a una temperatura, preferiblemente, de $21^{\circ} \pm 6^{\circ}\text{C}$.
- A las $48 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$ después de moldeado el espécimen se retira del contenedor, se remueve el molde y se lleva al cuarto de almacenamiento por 30 min.
- Se registran las temperaturas máximas y mínimas en el contenedor indicadas por el termómetro.

Nota La comparación de temperaturas máximas y mínimas registradas por el termómetro en el concreto fresco, proveen una indicación de un curado anormal o interrumpido lo cual puede causar resultados de resistencias altas o bajas.

- Se refrentan y se prueban los especímenes en concordancia con lo indicado en 9.1.3, excepto que el ensayo se debe hacer en un tiempo de $49 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$.

Nota

Algunas entidades al usar este procedimiento han establecido por conveniencia una relación entre los resultados obtenidos a las 24, 72 y 96 h con aquellos obtenidos por un curado húmedo convencional. Sin embargo a las 24 h, la relación es menos satisfactoria de aquellas obtenidas por un curado acelerado en el autoclave para 48, 72, o 96 h. Cuando el período de curado es otro al especificado en 9.3.3, la duración del ensayo debe ser la del período de curado más una hora. Una tolerancia de ± 15 min debe ser aplicada.

Procedimiento 4 – Método de Presión y Temperatura.

Para los aparatos de curado descritos en el apéndice A, los moldes son cilindros de 75 mm x 150 mm. Se sellan los moldes con sus tapones de base antes de ser llenados con el concreto.

El procedimiento 4 se limita a concretos que contienen un agregado de tamaño máximo 25mm.

Se vierte el concreto en moldes en dos capas iguales y se golpea con una barra cada capa diez veces. Se nivela el extremo superior del concreto con una herramienta especial (ver Figura A.3) para lograr una superficie en el concreto que reciba un tapón metálico que transmite una presión de 10.3 ± 0.2 MPa al concreto en el molde.

Curado:

- Inmediatamente después del moldeado, se cubre cada molde con un tapón de metal para sellar el concreto dentro del molde durante el proceso de curado.
- Se almacenan los moldes verticalmente y se colocan ellos en el aparato de carga descrito en la Sección 4.3.3. Se aplica y se mantiene una presión de 10.3 ± 0.2 MPa en el concreto con los moldes.

- Se activa el calentador especificado en 4.2.2 elevando la temperatura del espécimen a $150 \pm 3^\circ \text{C}$ en un tiempo de 30 ± 5 minutos. El período de curado comienza cuando el calentador es activado.
- El período de curado dura $5 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$. Durante las primeras tres horas se mantiene la temperatura del espécimen en $150 \pm 3^\circ \text{C}$. Después de tres horas se apaga el calentador y se mantiene la presión en $10.3 \pm 0.2 \text{ MPa}$ por el restante período de curado.
- Al finalizar el período de curado, se libera la presión, se remueven los moldes del aparato de curado y se extraen los especímenes de los moldes.

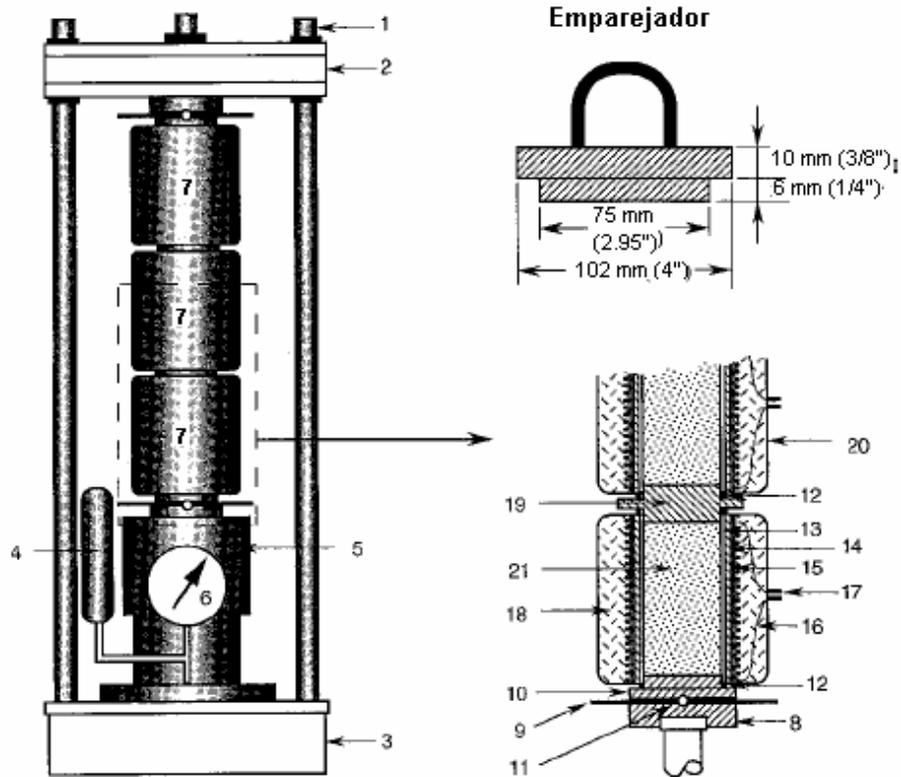
Nota Precaución: El uso de altas temperaturas y presiones impone la necesidad de medidas de seguridad para prevenir heridas en los ojos como resultado de escapes súbitos de vapor una vez removidos los tapones de los moldes. Adicionalmente otras precauciones como protección de ojos, cara y manos son necesarias mientras se remueven los especímenes de los moldes. Se sugiere que los tapones sean removidos en otra dirección a la del operador.

Nota Forros plásticos de polipropileno pueden ser usados dentro de los moldes para facilitar la extracción del concreto curado de los moldes.

Refrentado y ensayo:

Normalmente los especímenes no necesitan ser refrentados para el ensayo por cuanto los tapones metálicos producen superficies planas de contacto. Si las superficies de los extremos no cumplen con los requerimientos establecidos, se refrentan.

Se prueba la resistencia de los especímenes 15 min después de haber sido removidos de los moldes. Si el refrentado es requerido, el ensayo de los especímenes se realizará 30 min después del refrentado.



Estructura de carga con el contenedor de muestras

Contenedor de muestras

Nomenclatura

- | | | |
|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1. Barras de conexión | 8. Cabezal del disco de soporte | 15. Aislante de alambre |
| 2. Cabezal del equipo | 9. Pantalla térmica | 16. Alambre de calefacción |
| 3. Base | 10. Cubierta y émbolo | 17. Conector eléctrico |
| 4. Acumulador | 11. Esfera de carga | 18. Aislante de fibra de vidrio |
| 5. Gato hidráulico | 12. Anillo-O | 19. Émbolo |
| 6. Medidor de presión | 13. Revestimiento plástico | 20. Revestimiento del contenedor |
| 7. Contenedor de muestras | 14. Molde cilíndrico | 21. Espécimen de concreto |

Figura tomada de la norma INV-412 Esquema del aparato de alta presión y temperatura

IV. Tabla de requerimiento físico para los cementos GU según NTON12006-11.

Requerimientos Mínimos	NTON12006-11
Fraguado Inicial	Mínimo, 45 min.
Fraguado Final	Máximo, 420 min
Expansión (contracción)	0.80%
Resistencia a la compresión	
3 días	Min, 36 %
7 días	Min, 61%
28 días	Min, 101.5%

Información tomada de la página web:

www.cemexnicaragua.com/productos/servicios/portlandGU.aspx

V. Tipos de fallas del concreto

