



**Estudio Comparativo de Las Características Físico-Mecánicas, para el
Diseño de Concreto de 4000 PSI Mediante Ensayos de Laboratorios a
Diferentes Marcas de Cementos en el Distrito Central, Durante el Periodo
de Agosto a Diciembre del 2019**

*Comparative Study of the Physical-Mechanical Characteristics, for the Design of Concrete
of 4000 PSI Through Laboratory Tests to Different Brands of Cement in the Central District,
During the Period From August to December 2019*

Mejía Ventura, H. O., & Girón Núñez, M. G. (2021). Estudio Comparativo de las características físico-mecánicas, para El Diseño de concreto de 4000 PSI mediante ensayo de Laboratorios a diferentes marcas de cementos en el Distrito Central , durante el período de Agosto a Diciembre del 2019. Junio 2021 *Milímetro*, Volumen VII No. 1 Paginas 15-

Estudio Comparativo de Las características Físico-Mecánicas, para El diseño de Concreto de 4000 PSI Mediante Ensayo de Laboratorios a Diferentes Marcas de Cementos en el Distrito Central, Durante el Periodo de Agosto a Diciembre del 2019.

Comparative Study of the Physical-Mechanical Characteristics, for the Design of Concrete of 4000 PSI Through Laboratory Tests to Different Brands of Cement in the Central District, During the Period from August to December 2019

Max Enrique Girón Núñez¹

Héctor Orlando Mejía Ventura²

Resumen

En Honduras a través del tiempo se han ido consolidando cuatro empresas productoras de cemento portland tipo GU³ en el mercado, regulados por las normas técnicas Internacionales (ASTM)⁴, debido a la variedad de marcas se presenta la necesidad de conocer la marca de mejor calidad para el constructor respecto a las condiciones de la zona donde se desea realizar la construcción. El cemento tiene varios parámetros físicos-mecánicos que se encuentran normalizados en la norma ASTM C-1157 y NTC-121⁵, que son los siguientes: densidad, finura o superficie específica, consistencia normal, tiempo de fraguado, expansión del cemento por autoclave y por agujas de Le Chatelier⁶ y la resistencia a la compresión. El objetivo del presente trabajo consiste en caracterizar siete marcas de cementos tipo GU por medio de los ensayos de resistencias a la compresión con un diseño de 4000 PSI. Con los resultados obtenidos se realizaron los cálculos estadísticos respectivos con el fin de saber la confiabilidad de los datos de laboratorio y tener una visión más clara del comportamiento de los cementos

¹ Tegucigalpa, Honduras. Facultad de Ingeniería Civil Teléfono: (504) 2225 74 55. Email: milimetro@upi.edu.hn, <https://orcid.org/0000-0001-8110-7632>

² Tegucigalpa, Honduras. Facultad de Ingeniería Civil Teléfono: (504) 2225 74 55. Email: milimetro@upi.edu.hn, <https://orcid.org/0000-0001-5344-9272>.

³ GU: De uso general en construcción. Se emplean cuando no se requieren condiciones especiales. Este es el que se vende más en las ferreterías.

⁴ Un ASTM (American Society of Testing Materials) Es la Asociación Americana de Ensayos de Materiales.

⁵ El cemento en Honduras se rige por la Norma Técnica ASTM C-1157 – Especificación de desempeño para cemento hidráulico, actualizada en el año 2014. Esta norma describe seis tipos de cemento los cuales se clasifican por desempeño y donde el objetivo primordial es garantizar la durabilidad del concreto y la versatilidad de utilización en las obras, además de ser mucho más amigable con el medio ambiente.

La ASTM C-1157 permite las adiciones activas al cemento, las cuales pueden ser: puzolanas naturales y artificiales como las cenizas volantes o escorias de alto horno. Cada una le confiere diferentes características al cemento, pero en general, permiten que las mezclas sean más densas, más impermeables y que tengan mejores desempeños en estructuras sometidas a cargas exigentes en términos de durabilidad.

comercializados actualmente y poder establecer una comparación entre las diferentes marcas de cementos al igual que entre estos y la normativa vigente (ASTM-1157).

Palabras Clave: Características Físico-Mecánicas, Resistencia a la Compresión, Concreto, Cementos

Abstract

In Honduras over time, four companies that produce Portland cement type GU have been consolidated in the market, regulated by International technical standards (ASTM), due to the variety of brands there is a need to know the best quality brand to the builder regarding the conditions of the area where the construction is to be carried out. Cement has several physical-mechanical parameters that are standardized in the ASTM C-1157 and NTC-121 standards, which are the following: density, fineness or specific surface, normal consistency, setting time, expansion of the cement by autoclave and by Le Chatelier needles and compressive strength. The objective of this work is to characterize seven brands of GU-type cements by means of compressive strength tests with a 4000 PSI design. With the results obtained, the respective statistical calculations were carried out in order to know the reliability of the laboratory data and have a clearer vision of the behavior of the cements currently marketed and be able to establish a comparison between the different cement brands as well as between these and current regulations (ASTM-1157).

Key Words: Physical-Mechanical Characteristics, Compressive Strength, Concrete, Cements

1. Introducción

Actualmente en Honduras hay cuatro empresas dominantes en la industria cementera, que son: Cementos del Norte (CENOSA), Cementos Argos, *Ultracem* y *Wan Peng*, siendo esta dos últimas unas empresas muy recientes en comparación con las otras dos que tienen una larga trayectoria en el mercado nacional. Esta variedad de cementos en el mercado origina una gran variabilidad en las propiedades físico-mecánicas de los cementos producidos en el país. El cemento Portland tipo GU es el más utilizado en las obras de construcción en concreto a nivel nacional por su facilidad de compra en el mercado. El cemento que se utiliza en la construcción, debe tener ciertas propiedades que deben cumplir con los requisitos mínimos especificados en las normas, para que el desempeño del cemento sea satisfactorio. El uso de un cemento de mala calidad en estructuras de construcción puede causar la pérdida de la funcionalidad de la estructura o incluso la pérdida de vidas humanas. Por lo tanto, la calidad del cemento Portland se ha convertido en un factor importante y crítico. La presente investigación se limitara a la

determinación de las propiedades físico-mecánicas de las cuatro marcas de cementos comercializadas actualmente en Honduras, a partir de ensayos de laboratorio sobre el polvo de cemento mediante la densidad, finura y masa unitaria, en la pasta de cemento se determina la consistencia normal, tiempo de fraguado, estabilidad volumétrica mientras que la resistencia a la compresión, se realiza sobre concretos elaborados con los cementos estudiados, grava y arena que cumplan con las normas ASTM C33-07, para su posterior comparación con las especificaciones mínimas determinadas por la norma técnica ASTM C-1157. Para el desarrollo de este trabajo de grado se contó con el laboratorio de agregados y concretos para la ejecución de los ensayos, siendo los resultados obtenidos la base para el análisis de los resultados de esta investigación que será de ayuda para obtener las conclusiones del trabajo realizado.

En el primer capítulo se exponen los elementos que se usaron en la propuesta (antecedentes, planteamiento del problema, justificación y definición de los términos básicos) para dar una idea clara al objetivo planteado en este trabajo de grado. En el segundo capítulo se presentan los fundamentos teóricos en la cual se basa este proyecto tales como: tipos de cementos, composición química, características físicas y mecánicas (densidad, finura, calor de hidratación, tiempo de fraguado, estabilidad de volumen y resistencia a la compresión) del cemento normalizado según las normas técnicas Internacionales, específicamente en la ASTM C-1157. Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones, basados en los resultados obtenidos y el análisis de estos realizados durante el desarrollo de este trabajo de grado.

2. Justificación.

El cemento es el material producto del constante desarrollo de la humanidad, que hoy en día es el más usado en la industria de la construcción, por lo tanto es necesario actualizar el conocimiento de los diferentes cementos que se usan en el mercado actual, ya que los valores físico-mecánicos de la ficha técnica de las cementeras varían, siendo un ejemplo claro la cementera Cementos del Norte y Argos que especifican para sus cementos una resistencia a la compresión a los 28 días de 405 Kg/cm² y 322

Kg/cm², otra comparación podría ser el módulo de finura de Blaine⁷ de Cementos del Norte es 4000 cm²/gr y para Argos es 4185 cm²/gr, estas diferencias y otras más, se estudiarán en el comportamiento físico-mecánico en cada una de las cuatro marcas de cementos, con el fin de saber cómo varían estos valores entre ellas, teniendo en cuenta las tolerancias especificadas en las normas del cemento. La investigación estará fundamentada en los ensayos que se realicen en el laboratorio de materiales y con los equipos que allí se encuentran.

3. Objetivos.

3.1 Objetivo General.

Realizar un Estudio Comparativo de Las características físico-mecánicas, para el diseño de concreto de 4000 PSI mediante ensayos de laboratorios a diferentes marcas de cementos en el Distrito Central, durante el periodo de agosto a diciembre del 2019

3.2. Objetivos Específicos.

1. Definir una misma muestra de agregados finos y gruesos con los parámetros mínimos de calidad de la norma ASTM C – 33, para todas las pruebas.
2. Describir los resultados Físicos Mecánicos del concreto Fresco y seco según las normas ASTM C 143, C 1064, C 31 y C 39.
3. Procesar estadísticamente los resultados de cada ensayo físico mecánico, para saber la confiabilidad de los datos.

⁷ La **finura del cemento** influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. ... Aproximadamente del 85% al 95% de las partículas de **cemento** son menores de 45 micras. Inalterabilidad. La sanidad se refiere a la capacidad de una pasta endurecida para conservar su volumen después del fraguado.

4. MARCO CONTEXTUAL

Los cementos son conglomerantes hidráulicos, esto es, productos que mezclados con agua forman pastas que fraguan y endurecen, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto en el aire, como bajo agua. La clasificación de un cemento puede realizarse en función de:

- a. La naturaleza de sus componentes.
- b. Su categoría resistente.
- c. Por sus características especiales.

El cemento de Portland es el tipo de cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón o concreto. Fue inventado en 1824 en Inglaterra por el constructor Joseph Aspdin. El nombre se debe a la semejanza en su aspecto con las rocas encontradas en la isla de Portland, una isla del condado de Dorset.

El proceso de fabricación del cemento Portland comprende cuatro etapas principales:

1. Extracción y molienda de la materia prima.
2. Homogeneización de la materia prima.
3. Producción del clinker.
4. Molienda de cemento.

La extracción de estos minerales se hace en canteras, que preferiblemente deben estar próximas a la fábrica, con frecuencia los minerales ya tienen la composición deseada, sin embargo, en algunos casos es necesario agregar arcilla o calcáreo, o bien minerales de hierro, bauxita, u otros minerales residuales de fundiciones.

Para mejorar las características del producto final al Clinker se le agrega aproximadamente el 2 % de yeso y la mezcla es molida finamente. El polvo obtenido es el cemento preparado para su uso.

El cemento obtenido tiene una composición del tipo:

- a. 64% óxido de calcio

- b. 21% óxido de silicio
- c. 5.5% óxido de aluminio
- d. 4.5% óxido de hierro
- e. 2.4% óxido de magnesio
- f. 1.6% sulfatos
- g. 1% otros materiales, entre los cuales principalmente agua.

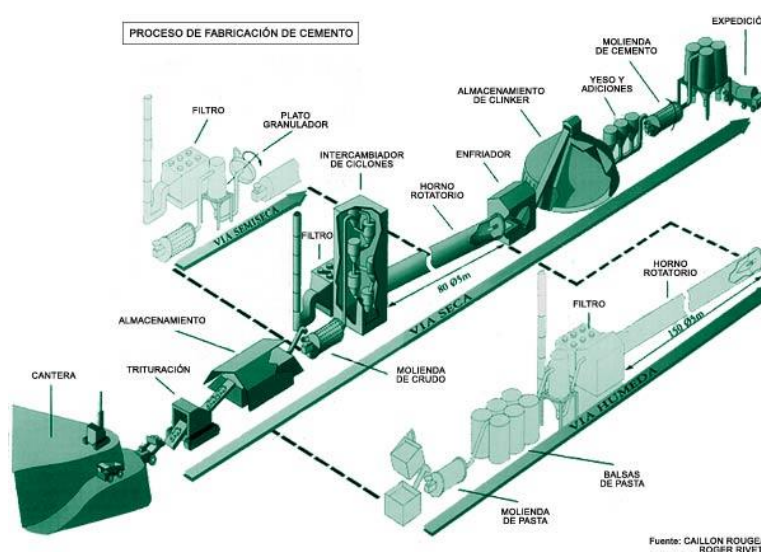


Figura No. 1 - Proceso de fabricación del cemento.

5. MARCO CONCEPTUAL O TEÓRICO

Cuando el cemento de Portland es mezclado con el agua, el producto se solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas. El endurecimiento inicial es producido por la reacción del agua, yeso y aluminato tricálcico, formando una estructura cristalina de calcio-aluminio-hidrato, estrigita y monosulfato. El sucesivo endurecimiento y el desarrollo de fuerzas internas de tensión derivan de la reacción más lenta del agua con el silicato de tricálcico formando una estructura amorfa llamada calcio-silicato-hidrato. En ambos casos, las estructuras que se forman

envuelven y fijan los granos de los materiales presentes en la mezcla. Una última reacción produce el gel de silicio (SiO_2). Las tres reacciones generan calor.

El conocimiento de la cantidad de calor liberado a medida que el cemento se hidrata puede ser útil para planear la construcción. En invierno, el calor de hidratación ayudara a proteger el concreto contra el daño provocado por temperaturas de congelación. Sin embargo, el calor puede ser en estructuras masivas, tales como presas, porque puede producir esfuerzos indeseables al enfriarse luego de endurecer. El cemento Portland tipo GU un poco más de la mitad de su calor total de hidratación en tres días.

Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua porque la velocidad determina el tiempo de fraguado y de endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda tiempo al transporte y colocación del concreto. Sin embargo, una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecimiento rápido. El yeso, que es adicionado en el molino de cemento durante la molienda del clinker, actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del cemento Portland. Otros factores que influyen en la velocidad de hidratación incluyen la finura de molienda, los aditivos, la cantidad de agua adicionada y la temperatura de los materiales en el momento del mezclado.

La hidrólisis y la hidratación son los factores importantes en el endurecimiento del cemento, ya que los productos que resultan de la hidratación tienen muy baja solubilidad en el agua. Si esto no fuera cierto, el concreto sería atacado rápidamente al contacto con el agua. El cemento es una sustancia particularmente sensible a la acción del agua y de la humedad, por lo tanto, para salvaguardar sus propiedades, se deben tener algunas precauciones muy importantes, entre otras: inmediatamente después de que el cemento se reciba en el área de las obras si es cemento a granel, deberá almacenarse en depósitos secos, diseñados a prueba de agua, adecuadamente ventilados y con instalaciones apropiadas para evitar la absorción de humedad. Si es cemento en sacos, deberá almacenarse sobre parrillas de madera o piso de tablas; no se apilará en hileras superpuestas de más de 14 sacos de altura para almacenamiento de 30 días, ni de más de 7 sacos de altura para almacenamientos hasta de 2 meses. Para evitar que el cemento envejezca indebidamente, después de llegar al área de las obras, el contratista deberá utilizarlo en la misma secuencia cronológica de su llegada. No se utilizará bolsa alguna de

cemento que tenga más de dos meses de almacenamiento en el área de las obras, salvo que nuevos ensayos demuestren que está en condiciones satisfactorias.

5.1. El Estado Del Arte de la Simulación del Cemento Portland Tipo GU.

5.1.1. Uso óptimo de la Puzolana Natural para la Resistencia Máxima Compresiva del Concreto.

Las puzolanas proveen una posibilidad económica de producción y mejorar las propiedades del concreto. Los efectos sobre el concreto varían con el tipo de puzolana y el volumen. En este apartado, fue investigado el efecto de la puzolana natural sobre las propiedades del concreto. Quince mezclas de concreto fueron producidas en tres series con mezclas de control. La eficiencia de la puzolana fue obtenida mediante el uso de las ecuaciones de esfuerzo de *Bolomey* y *Feret* con 28 días de curado del concreto. Este estudio nos muestra que las eficiencias obtenidas para cada ecuación de esfuerzo son similares y estos valores decrecen con el incremento de la tasa puzolana/cemento.

Tabla 1

Propiedades del Cemento y la Puzolana Natural

Descripción	Cemento	Puzolana Natural
Área específica de Blaine (cm ² /g)	3420	4350
Gravedad específica (g/cm ³)	3,15	2,25
Material insoluble (%)	0,39	47,8
Pérdida de encendido (%)	1,13	11
Actividad Puzolánica	--	92
SiO ₂ (%)	20,45	63,96
Al ₂ O ₃ (%)	5,3	12,5
Fe ₂ O ₃ (%)	2,65	4
CaO (%)	63,36	3,4
MgO (%)	2,99	2,45
K ₂ O (%)	0,64	--
SO ₃ (%)	3,29	0,2
C ₃ A	9,6	--
C ₃ S	51,6	--
C ₂ S	18,1	--
7-días esfuerzo compresivo (N/mm ²)	37,5	--
28-días esfuerzo compresivo (N/mm ²)	48,3	--

La norma para la prueba de la actividad del esfuerzo es ASTM C311. Como conclusiones de este estudio se encontró que existe un máximo de puzolana que se debe usar la optimizar la productividad y eficiencia para alcanzar el esfuerzo máximo. La tasa óptima de puzolana/cemento obtenida para el esfuerzo máximo es aproximadamente 0.28.

5.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Aquí se presenta la información que se encontró sobre los conceptos de los parámetros que se utilizan en la caracterización química, física y mecánicamente del cemento. Para que al momento de realizar el análisis de los resultados obtenidos en los respectivos ensayos se tengan los fundamentos necesarios para realizar las conclusiones del trabajo. También se indican los tipos de cemento que se utilizan en las obras. Además, se presentan las cantidades de los componentes principales que se encuentran especificados en la NTC-321 y los componentes secundarios que se generan en el proceso de fabricación y el rango establece la norma NTC-121.

También se profundiza en los ensayos físico-mecánicos (densidad, finura, calor de hidratación, tiempo de fraguado, estabilidad del volumen y resistencia a la compresión) y cómo influyen en la resistencia del cemento, se colocan los límites que deben cumplir las características física-mecánicas según la norma NTC-121.

5.2.1. Definición de Cemento

El cemento Portland se obtiene de la trituración, molienda, dosificación, calcinación y sinterización de mezclas homogéneas de caliza y arcilla, que producen un material conocido como clinker, constituido por silicatos y aluminatos de calcio anhidros, el cual se mezcla y muele con el yeso (Montoya Tobón, 2009). El cemento Portland es un conglomerante hidráulico que tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, experimentando una reacción química debido a la hidratación, por lo cual son llamados cementos hidráulicos (Sánchez de Guzmán, 2001). Cuando el cemento se dosifica y se mezcla apropiadamente con agua y áridos, se produce un mortero u hormigón, que conserva su trabajabilidad durante un tiempo logrando una buena resistencia y una estabilidad de volumen a largo plazo (Sánchez de Guzmán, 2001). La definición anterior incluye un gran número de materiales diferentes entre sí, que tienen en común su adhesividad. Así se tienen cementos inorgánicos y orgánicos.

Los cementos inorgánicos más importantes son aquellos productos naturales o artificiales, que tienen como constituyentes principales los compuestos de calcio, que tienen la propiedad de que al mezclarlos con el agua, forman masas plásticas que a medida que pasa el tiempo se van endureciendo y aumentando su resistencia a la compresión. Normalmente la masa plástica se realiza al mezclar el cemento con agua y el endurecimiento se produce por reacción química de los componentes del cemento con el agua (hidrólisis) y por la absorción de agua formando los productos de hidratación. Un tipo de cemento hidráulico inorgánico es el geo polímero que se basa en la polimerización de minerales (*Davidovits, Davidovits y James 1999*).

El término se refiere más específicamente a cementos alumino-silicato activados por álcalis, también llamados de cementos zeolíticos o polisialato. Se han usado en los concretos de alta resistencia inicial y en la estabilización de desechos. Estos cementos no contienen polímeros orgánicos o plásticos. Los cementos orgánicos están basados en los polímeros y debido a su alto coste su uso es muy limitado en comparación con los inorgánicos. Generalmente se usan como adhesivos tipo, los pegamentos y colas. Sin embargo, se están empezando a desarrollar, principalmente en los Estados Unidos, usos a gran escala como ligantes de agregados, por ejemplo, como material de endurecimiento rápido para carreteras dañadas y cubiertas de puentes. Dentro de este tipo de cementos puede citarse al metil metacrilato, que es un monómero que endurece “in situ” por polimerización.

5.2.2. *Proceso de Fabricación del Cemento*

5.2.2.1. *Uso del Cemento*

EL Cemento se utiliza básicamente en la construcción para elaborar estructuras duraderas ya que en combinación con la arena, la grava (piedra fracturada en tamaños que varían sus diámetros no mayores de 1½”) y el agua, forman una roca artificial con la forma preestablecida por el constructor, y con varillas de acero de refuerzo, se pueden construir grandes edificaciones, carreteras, puentes, casas de habitación etc.

Los sub-productos del cemento son variados y con diferentes usos en la ingeniería de la construcción, y se cuentan desde el bloque, vigas prefabricadas de concreto, losas prefabricadas, hasta artesanías como maceteras figuras decorativas, estatuas etc.

5.2.2.2. Clasificación de los Cementos

Los cementos Portland se han clasificado en varios tipos según la composición química que está muy ligada a las propiedades físico-mecánicas; además, con el uso de las adiciones de ceniza volante, puzolanas naturales o escoria de alto horno, se pueden obtener diferentes características cuando este se hidrata. La norma NTC 30 ha clasificado los cementos Portland de la siguiente manera:

A. Cemento Portland Tipo 1

Se destina a obras de hormigón en general, y que no estén en contacto con sulfatos ni cloruros. (Álvarez, 2007).

B. Cemento Portland Tipo 1 M

Es usado en cualquier obra de hormigón, al que no se le exigen propiedades especiales, con resistencias superiores al cemento Tipo 1.

C. Cemento Portland Tipo 2

Es apropiado para obras de hormigón expuestas a la acción moderada de sulfatos y cuando se requiera moderado calor de hidratación. En el proceso de fabricación se reduce el C_3A , C_3S y se aumenta el C_2S y C_4AF .

D. Cemento Portland Tipo 3

Se usa en estructuras que necesitan un desencofrado rápido, y que requieren altas resistencias iniciales. Los componentes son similares al tipo I, con mayor finura y por consiguiente mayor contenido de C_3S , pero sin adiciones.

E. Cemento Portland Tipo 4

Para aquellas obras que requieren, bajo calor de hidratación como los concretos masivos. En el proceso de fabricación se reducen los contenidos de C_3A , C_3S y se

aumenta el C_2S , este tipo de cemento es poco usado ya que el calor se puede controlar más fácilmente con la incorporación de adiciones (cemento-ICPC, 1995).

F. Cemento Portland tipo 5

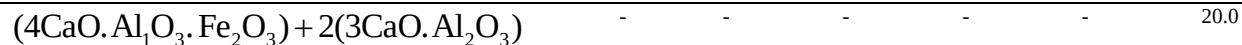
Ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos, álcalis y cloruros. En su fabricación se reduce al máximo el C_3A y se aumenta el C_4AF , (cemento-ICPC, 1995).

5.2.3. Composición química de los tipos de cemento

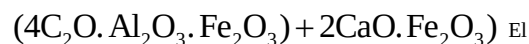
El cemento Portland posee una composición química variable que son una combinación de compuestos de carácter ácido y básico que se presentan como óxidos comprendidos entre ciertos límites, de acuerdo a la norma NTC – 321, que, según el tipo de cemento, se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 3
Requisitos Químicos del Cemento Portland.

Composición	Tipo 1	Tipo 1 M	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4 ^a	Tipo 5 ^a
Dioxido de silicio (SiO_2), mín. %	-	-	21.0	-	-	-
Óxido de aluminio (Al_2O_3), máx. %	-	-	6.0	-	-	-
Óxido de hierro (Fe_2O_3), máx. %	-	-	6.0	-	6.5	-
Óxido de magnesio (MgO), máx. %	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Trióxido de azufre (SO_3), máx. %	3.5	3.5	-	4.5	-	-
Pérdida al fuego, máx. %	-	5.0	4.0	4.0	3.5	4.0
Residuo insoluble, máx. %	-	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Silicio tricálcico ($3CaO.SiO_2$) ^b , máx. %	-	-	-	-	35.0	-
Silicato dicálcico ($3CaO.SiO_2$) ^b , mín. %	-	-	-	-	40.0	-
Aluminato tricálcico ($3CaO.Al_2O_3$) ^b , máx. %	-	-	8.0	1.5	7.0	5.0
($3CaO.SiO_2$) + ($3CaO.Al_2O_3$), máx. %	-	-	58.0	-	-	-
Ferri-aluminato tetracálcico más el doble de aluminato tricálcico						



,o solución sólida



que es aplicable, máx. %

Fuente: NTC – 321.

5.2.4. Componentes Principales del Cemento

La composición química de las materias primas utilizadas en la fabricación del cemento Portland son, óxido de calcio (CaO) aportada por la cal, el dióxido de Silicio (SiO_2) que se encuentra en la arcilla junto con el óxido de aluminio (Al_2O_3) y el óxido de hierro (Fe_2O_3), y la adición del regulador del fraguado que es el yeso que contiene trióxido de azufre (SO_3). En la etapa de sinterización durante la fabricación del clinker, se producen los componentes principales o potenciales que constituyen el 95% del clinker y se les denomina por el nombre mineral, debido a las impurezas de las materias primas de tal forma que al silicato tricálcico se le conoce como alita (C_3S), al silicato dicálcico se le denomina belita (C_2S), el ferrito aluminato tetracálcico (C_4AF) es la ferrita y celita al aluminato tricálcico (C_3A). Estos compuestos presentan unas propiedades que repercuten en el cemento del que forman parte tal como se expone a continuación.

a. Silicato Tricálcico o Alita (C_3S):

Su composición química es la combinación de dos óxidos $3\text{C}_a\text{O} \cdot \text{SiO}_2$, este constituyente del cemento Portland controla las resistencias iniciales y el endurecimiento, debido a esto presenta un moderado calor de hidratación de 120 cal/gr (Luna Ortiz, 2010). Además, este es el compuesto que libera la mayor cantidad de CaO (Aguilar Mundaca, 2007). La hidratación de este compuesto se desarrolla a una velocidad de 2 cal/gr/hr. La hidratación del C_3S cuando es baja, produce un silicato de calcio de baja basicidad y tiene como producto final $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ (gel de tobermorita). Al realizar el proceso de hidratación con una cantidad limitada de agua, el C_3S sufre hidrólisis y en consecuencia hace que la

liberación inicial del hidróxido de calcio dentro de una mezcla influya en la capa exterior aproximadamente de $0.01\ \mu\text{m}$ de espesor del hidrato de silicato de calcio (Neville, 1988).

Además, un cemento que contenga más del 60% C_3S tendrá un endurecimiento muy rápido con altas resistencias iniciales que permitirá, en igualdad de condiciones, un desencofrado más rápido en la obra. (Neville, 1988).

b. Silicato Dicálcico o Belita (C_2S):

La composición del óxido es 2CaOSiO_2 , este compuesto libera bajo calor de hidratación $60\ \text{cal/gr}$, con una velocidad intrínseca de reacción de $1\ \text{cal/gr/hr}$ siendo lenta su hidratación y endurecimiento, por lo que el aumento en la resistencia se adquiere después de la primera semana aproximadamente. La belita se sabe que tiene tres o quizás cuatro formas cristalinas: la $\alpha\text{-C}_2\text{S}$, se presenta a altas temperaturas, y se invierte en la forma β a una temperatura de 1450°C , esta forma experimenta una transformación $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ a menos de 650°C , ya que esta es la más estable, $[\beta - \gamma]$ en esta transformación se produce un aumento del 10% de volumen aproximadamente, el cual es la causa de desintegración del Clinker, no obstante, este cambio se puede evitar, estabilizando la belita β mediante la inclusión de otros iones dentro de su red y con un enfriamiento rápido.

c. Aluminato Tricálcico o Celita (C_3A):

Este material intersticial a menudo se encuentra en forma de láminas planas y su composición del óxido es $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$. La reacción del C_3A puro con agua es muy violenta y lleva a un inmediato endurecimiento de la pasta, acompañada de un alto calor de hidratación de $207\ \text{cal/gr}$ con una velocidad promedio de desprendimiento de calor de $3\ \text{cal/gr/hr}$. Para retrasar el fraguado del C_3A se emplea la cantidad de yeso necesario que se agrega al Clinker en una cantidad máxima del 2.5%, cuando el contenido de C_3A es menor al 5%, y del 3% cuando el contenido de C_3A exceder al 5%. También un aumento en la finura eleva la cantidad de yeso requerida para propiciar un efecto retardante adecuado, puesto que en cementos más finos existe más C_3A libre para una hidratación temprana (Neville, 1988).

El C_3A facilita la combinación de cal y sílice; debido a esto es de vital importancia en la fabricación del cemento (Neville, 1988). En resumen; el C_3A reacciona muy rápidamente con el agua, genera mucho calor, fragua rápidamente y contribuye poco con la resistencia inicial. Un contenido alto de C_3A

en el Clinker da lugar a pastas, morteros y concretos de baja resistencia al ataque por sulfatos y otros agentes agresivos.

d. Ferrito Aluminato Tetracálcico o Ferrita (C_4AF):

Se encuentra del 5 – 15% en el cemento, la composición del óxido es $4CaOFe_2O_3Al_2O_3$ este compuesto actúa como fundente, y de esta forma reduce la temperatura de cocción del clinker. A mayor cantidad C_4AF en el cemento lo hace mas más vulnerable al ataque químico por sulfatos (Aguilar Mundaca, 2007). El C_4AF se caracteriza por una velocidad de hidratación lenta, con moderado calor de hidratación (100 cal/gr), siendo la velocidad promedio de desprendimiento de 1 cal/gr/hr, además contribuye poco con la resistencia temprana y a edades avanzadas (cemento-ICPC, 1995).

5.2.5. Componentes Menores o Secundarios del Cemento

Los componentes secundarios en el cemento Portland son los óxidos de sodio (Na_2O), óxido de potasio (K_2O), cal libre (CaO), óxido de magnesio (MgO), trióxido de azufre (SO_3), óxido de titanio (TiO_2) y óxido de manganeso (Mn_2O_3), que generalmente no sobrepasan de un ligero porcentaje del peso de cemento. Se ha podido determinar que la durabilidad del mortero o del concreto se puede ver afectada por la presencia de los componentes menores en el clinker. De los compuestos secundarios, los que revisten mayor importancia puesto que son desfavorables para el cemento son:

a. Álcalis ($Na_2O + K_2O$):

Estos pueden reaccionar con algunos agregados ocasionando la desintegración del concreto (Luna Ortiz, 2010), dicha reacción ocurre entre el sodio y el potasio del cemento con los agregados silíceos opalinos (cemento-ICPC, 1995), además afecta la rapidez con que el cemento adquiere resistencia. El efecto del contenido de álcali se ha investigado bastante en la tecnología actual de la fabricación del cemento y esto ha influenciado a una cantidad creciente de sulfatos alcalinos en los cementos portland, ya que estos dan altas resistencias iniciales, en otras investigaciones se ha encontrado que los álcalis del clinker influye en la velocidad de hidratación del cemento portland, y la cantidad de yeso para el retraso del fraguado se ve afectado, siendo directamente proporcional, a gran cantidad de álcalis se requiere más cantidad de yeso (Lawrence, *Physicochemical and Mechanical Properties of Portland Cements*, 2003). El efecto de las adiciones en los álcalis respecto a las propiedades reológicas de la pasta del cemento, ha

demostrado que los valores de viscosidad plástica no se ven afectadas, pero los valores del límite de elasticidad eran más altos para los cementos con mayor contenido de álcali que para los cementos de bajo contenido de álcali (Lawrence, *The Constituion and Specification of Portland Cements*, 2003). La presencia de sulfatos alcalinos en el clinker también puede afectar la exudación de las pastas de cemento. La exudación cuando parte del agua de mezclado sube a la superficie del concreto recién colocado como resultado de la sedimentación de las partículas del cemento. Tanto la tasa de exudación como la capacidad de exudación de las pastas de cemento disminuyeron con el aumento de las cantidades de álcalis solubles en el agua (Older, 2003). También los álcalis afectan la reacción del C_3A del cemento, por lo tanto, si es mayor el K_2O que se encuentra ligado a una red cristalina, mayor es la reactividad, mientras que la concentración y la solubilidad será más rápida, por otro lado, si tiene la cantidad de potasio necesaria en forma de sulfato, influye en la reducción de la fluidez. A diferencia con el K_2O , la influencia del Na_2O en la red cristalina reduce la acción del C_3A , afectando a la velocidad de hidratación del aluminato o la demanda de agua (Lawrence, *Physicochemical and Mechanical Propierties of Portland Cements*, 2003). Algunas arcillas pueden tener cierta cantidad de álcalis, que es conveniente eliminar por volatilización, si no se elimina totalmente, durante el proceso de cocción, se puede combinar con el CO_2 atmosférico, y se transformar en carbonatos (Hidalgo, 2009).

b. Cal Libre u Oxido de Calcio (CaO):

Su abreviatura es “C”, la presencia de este indica una calcinación incompleta en el horno o un enfriamiento ineficiente que conlleva al rompimiento del C_3S , por otra parte, la cal libre en niveles elevados ocasiona expansión del cemento después del fraguado final, por lo tanto, debe ser limitado alrededor del 60 al 69 por ciento de la masa, ya que si supera este parámetro no tendría la suficiente solidez. En estado natural reacciona inmediatamente con el agua y no tiene consecuencias en estado plástico, y si esta es calcinada, su área superficial es reducida y gran parte de la reacción con el agua tiene lugar después del endurecimiento (cemento-ICPC, 1995).

La preocupación por fijar un límite máximo y otro mínimo al contenido de cal de los cementos data, de los tiempos de Le Chatelier. De estos límites el de más interés es el máximo, pues un cemento, es tanto mejor cuanto más próximo se esté de él, teniendo en cuenta que, si se sobrepasa, será expansivo y podrá dar lugar a grietas y fisuraciones en las obras en que se emplee. El máximo contenido de cal en el

clinker se determina bajo las hipótesis de que toda la sílice esta combinada en forma de C_3S se ha combinado todo el Fe_2O_3 y la cantidad de Al_2O_3 que le corresponda para dar C_4AF y el exceso de Al_2O_3 se combina formando el C_3A (Álvarez, 2007). La cal libre afecta principalmente la resistencia del cemento en especial por la falta de solidez, estabilidad volumétrica y posibles agrietamientos, de acuerdo con investigaciones el problema es que a los dos días la resistencia disminuye, y esto toma mayor importancia a los 28 días en adelante. Para evitar esto la cal libre en el cemento portland debe ser limitada para evitar la expansión, que puede ocurrir durante el endurecimiento. (Lawrence, *The Constitution and Specification of Portland Cements*, 2003). Kuhl designa con el nombre de cal de saturación a la cantidad de cal que teóricamente fijan los componentes ácidos, cuando el sistema se enfría tan lentamente que alcanza el equilibrio químico correspondiente a la temperatura ordinaria, es decir, la saturación de cal da por supuesto que el enfriamiento del clinker se ha realizado tan lentamente, desde la temperatura de clinkerización que se llega a alcanzar el equilibrio químico correspondiente a la temperatura ambiente. Como el enfriamiento del clinker dista mucho de ser lento no se alcanzan las condiciones de equilibrio y las fórmulas de saturación de cal no se ajustan a la realidad (Álvarez, 2007).

c. Óxido de Magnesio (MgO):

Es un componente minoritario del cemento en especial del Portland, este procede del carbonato de magnesio que puede estar mezclado con la caliza. Al enfriarse el Clinker lentamente el carbonato de magnesio se transforma en periclase, y esta al hidratarse aumenta considerablemente su volumen cuando el cemento ya está endurecido, por lo que se generan unas tensiones internas que fisuran la estructura. Es por esto que la proporción de óxido de magnesio se limita como máximo al 5%, ya que en caso contrario sería un problema (Hidalgo, 2009).

Este es un factor determinante en la calidad del cemento portland. Cuando la cantidad de MgO es superior al 5% en el clinker, el cemento puede ser expansivo. Este fenómeno se debe a que el MgO en pequeña proporción dentro del sistema SiO_2 - CaO - Al_2O_3 no reacciona durante la clinkerización, quedándose como tal MgO. Este óxido de magnesio reacciona con el agua con un importante retraso, incluso de meses, con respecto al fraguado y al endurecimiento (Goma, 1979). Contrariamente a la cal libre, el MgO libre (Periclase) reacciona muy lentamente con agua, de manera que las consecuencias expansivas de esa reacción se manifiestan varios años después de la terminación de la construcción. Por esta razón, se han estudiado las reacciones de este componente a partir de ensayos acelerados, hechos a

temperaturas elevadas. Las experiencias de ese tipo de ensayos han limitado el contenido total de MgO, dentro del intervalo de un 4-6%, este valor máximo puede diferir de un país a otro. Sin embargo, sólo la MgO libre, puede causar problemas y su influencia en la expansión depende de varios factores como, por ejemplo, el tamaño de los cristales y su distribución en las fases del clinker (Álvarez, 2007).

d. Trióxido de Azufre (SO_3):

Este procede de los combustibles que se adicionan en el proceso de cocción, estos combustibles pueden ser ricos en azufre, y al producirse la combustión se puede escapar en forma de gas, de las zonas del horno que se encuentran a alta temperatura, mientras que en las zonas del horno que están a una temperatura más baja, dan lugar a sulfato de calcio (Hidalgo, 2009). El trióxido de azufre del cemento procede del yeso añadido al clinker. Su insuficiencia da lugar al fraguado relámpago, ya que en tales circunstancias no es posible contener la disolución e hidratación de los aluminatos tricálcicos que son los primeros en reaccionar con el agua de amasado después de la disolución de los álcalis (Carrillo, 1996) El trióxido de azufre (SO_3) del cemento influye en el desarrollo de la resistencia. Igualmente, no es posible elaborar una fórmula general válida para el contenido de yeso óptimo en el cemento. Para cada cemento es necesario determinar la cantidad óptima de yeso para ajustar el comportamiento y desarrollo de la resistencia, teniendo en cuenta la composición química, el contenido de azufre, álcali y sulfato, en las fases del clinker y su contenido de iones extraños, junto con la finura y tamaño de partícula del cemento, y tipo de la adición de sulfato de calcio, etc. (Lawrence, Physicochemical and Mechanical Properties of Portland Cements, 2003). Sin embargo, y con el fin de proporcionar una protección suficiente contra la expansión anormal que podría resultar de la utilización de cantidades excesivas de yeso, se coloca un límite de SO_3 al contenido de cemento portland. Según las encuestas publicadas por CEMBUREAU⁸, el límite en diversas normas nacionales oscila desde 2.5 hasta 5.0% de SO_3 , dependiendo de la finura del cemento.

⁸ CEMBUREAU: Es la Asociación Europea del Cemento.

5.2.6. Características Físicas y Mecánicas de los Tipos de Cemento

Las propiedades físicas y mecánicas del cemento se pueden determinar a través de ensayos sobre el cemento puro, pasta de cemento o el mortero. Estas pruebas se realizan en los laboratorios de las fábricas de cemento para asegurarse de que este posea la calidad deseada y de que está dentro de los requisitos de las normas del país. Sin embargo, es conveniente que un comprador o un laboratorio hagan las pruebas de aceptación o, lo que es más frecuente, examinar las propiedades del cemento que se va a usar para alguna aplicación especial (Neville, 1988).

Los ensayos sobre los cementos se deben realizar para la evaluación de las propiedades del cemento y no del concreto. Las especificaciones del cemento limitan las propiedades de acuerdo con el tipo de cemento. Durante la fabricación, se monitorean continuamente la composición química y las siguientes propiedades del cemento (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004):

1. Densidad

La densidad del cemento se define como el peso de cemento por unidad de volumen de los sólidos o partículas, excluyéndose el aire entre las partículas. Se expresa en gramos por centímetro cúbico o en Kg/m^3 (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004). Pese a que son similares no se debe confundir los parámetros de densidad y peso volumétrico, debido a que la densidad hace referencia a la masa por unidad de volumen de la partícula aislada, mientras que el peso volumétrico hace referencia a la masa por unidad de volumen del conjunto de partículas y espacios vacíos entre partículas, la cual está en función de la forma de la partícula, la densidad de esta y el acomodamiento de las partículas. Este valor varía entre 3.10 g/cm^3 y 3.15 g/cm^3 , para los cementos sin adiciones como es el caso de los cementos tipo II, III, IV y V este valor es inferior a 3.10 g/cm^3 para el cemento adicionado tipo I dependiendo del tipo de adición y el porcentaje de sustitución del clinker. Cuando contiene otras adicciones para obtener los cementos adicionados, que son de menor densidad a la del clinker puro, este valor desciende notablemente e igualmente ocurre para los cementos meteorizados. La densidad del cemento no determina su calidad, pero analizado junto con la superficie específica se puede deducir si contiene o no adiciones. Para el proporcionamiento de la mezcla, puede ser más útil expresar la densidad como densidad relativa, también llamada gravedad específica. La densidad relativa es un número adimensional determinado por la división de la densidad del cemento por

la densidad del agua a 4°C, la cual es 1.0 g/cm³, 1000 Kg/m³ o 62.4 lb/pies³ (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004). La densidad del cemento es indispensable para el diseño de mezclas de concreto, además, es un indicador de que tan adicionado es el cemento. La determinación de la densidad de cemento, se realiza por medio del frasco de Le Chatelier, cuyo método se describe en la norma NTC 221.

2. Densidad Aparente o Masa Unitaria Suelta del Cemento

La densidad aparente del cemento se define como el peso de las partículas de cemento más el aire entre las partículas por unidad de volumen. La densidad aparente del cemento puede variar considerablemente, dependiendo de cómo se usa y almacena el cemento. Si el cemento Portland está muy suelto, puede pesar sólo 830 Kg/m³ (524 lb/pies³), mientras que cuando se consolida el cemento a través de vibración, el mismo cemento puede pesar 1650 Kg/m³ (1034 lb/pies³) (Toler 1963). Por esta razón, las buenas prácticas indican que se debe medir el cemento en masa y no en volumen (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004). La dosificación del cemento generalmente se realiza por peso, pero en obras que tienen un tamaño muy pequeño la dosificación del cemento se realiza por unidad de volumen, por tanto, si se utilizan dos cementos con una diferencia considerable en su peso volumétrico, se modificará la relación a/c, puesto que entre mayor sea el peso volumétrico de un cemento, menor será la relación a/c. Por tanto, se propone tener en cuenta este parámetro para cuando la dosificación del cemento se realiza volumétricamente, es decir en obras menores, ya que la metodología que se propone para hallar este valor es sencilla y de fácil aplicación.

3. Tamaño y Distribución de las Partículas del Cemento y su Influencia en la Resistencia

Este parámetro está unido a la resistencia y al proceso de hidratación del cemento, ya que tiene gran incidencia en la velocidad de las reacciones químicas durante el fraguado y posterior endurecimiento del cemento (Sánchez de Guzmán, 2001). La hidratación del cemento es muy lenta, por lo tanto, si el grano de cemento es muy grueso, su hidratación total puede llegar a tardar muchos años, e incluso puede que nunca se hidrate completamente, (Sánchez de Guzmán, 2001), por tanto, su rendimiento no será el máximo, debido a que el núcleo del grano permanecerá inerte. Cuando el cemento es muy fino la velocidad de hidratación es muy rápida, siendo mayor su contribución a las resistencias iniciales, además, una mayor área de hidratación puede retener mejor el agua produciendo una menor exudación

que un cemento grueso. El cemento compuesto por granos finos, presentan una alta retracción y calor de hidratación, los cuales son perjudiciales para la durabilidad debido a la fisuración que se puede presentar por estos dos efectos (Gonzáles de la Cotería S, Adiciones Minerales del Cemento Portland, 1992).

Además, un cemento más fino es susceptible al deterioro ante las condiciones ambientales durante periodos de almacenamiento largos (Sánchez de Guzmán, 2001). Por lo tanto, una mayor molienda de las partículas de Clinker representara un mayor costo. La finura del cemento proporciona información acerca de la cantidad adiciones de que posee el cemento, ya que las adiciones más comúnmente utilizadas como la escoria de alto horno o la ceniza volante son más finas que el clinker, por lo tanto, un cemento adicionado posee una mayor finura que un cemento compuesto únicamente por clinker y yeso. También, un aumento en la finura eleva la cantidad de yeso requerida para obtener un efecto retardante adecuado, puesto que en cementos más finos existe más C_3A libre para una hidratación temprana. El contenido de agua de una pasta de consistencia normal es mayor en un cemento fino, pero un incremento en la finura del cemento mejora levemente la trabajabilidad de una mezcla de concreto (Neville, 1988). La finura del cemento nos dice que tanta impureza posee, ya que a medida que el cemento tiene más impureza menor será la resistencia del concreto realizado con dicho cemento, el porcentaje máximo de impurezas admitido en el cemento es de 0.5. La finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación, a mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia se manifiestan principalmente durante los primeros siete días (López, 2003). La determinación de la finura del cemento se puede realizar por varios métodos, los cuales pueden ser directos, como el tamizado en seco o el tamizado por vía húmeda a través de los tamices de 75 y 44 micras respectivamente. También se usan los métodos indirectos como el turbidímetro de Wagner y el permeabilímetro de Blaine, este último es el más utilizado en Colombia, cuyo procedimiento se describe en la norma NTC (Sánchez de Guzmán, 2001). El ensayo de permeabilidad al aire con el equipo de Blaine mide la superficie específica de las partículas de cemento por unidad de masa. Cementos con partículas más finas tienen mayor superficie específica en metros cuadrados por kilogramo de cemento, o en centímetros cuadrados por gramo. A excepción de la AASHTO M - 85, la mayoría de las normas de cemento no tienen un límite máximo para la finura, sólo el mínimo. Sin embargo, no se ha podido determinar una buena granulometría del cemento y la pregunta que se hacen los investigadores es, ¿deben ser todas las partículas del mismo tamaño o deberán tener una distribución tal que puedan formar una masa más

densa?, los datos sobre la influencia del tamaño de las partículas en la velocidad de penetración del agua son algo confusos (Neville, 1988).

4. Calor de Hidratación y su Influencia en la Resistencia

La hidratación del cemento Portland es la capacidad para reaccionar en presencia del agua, formando nuevas fases solidas llamadas hidratos, que presentan un comportamiento estable frente al agua. El calor de hidratación de los cementos, se expresa en cal/gr, este se obtiene midiendo la diferencia entre el calor desprendido en un calorímetro por la disolución de un cemento anhidro en una solución de ácido fuerte y del mismo cemento hidratado en la pasta pura, en un plazo convenido. El calor total es producido por la aportación de los calores parciales de cada uno de los componentes del clinker.

Los calores de hidratación de los principales compuestos del clinker son, $C_3S = 120$ cal/g, $C_2S = 62$ cal/g, $C_3A = 207$ cal/g, $C_4AF = 100$ cal/g (Goma, 1979). El primer compuesto en reaccionar con el agua es el aluminato tricálcico (C_3A) que, en presencia de yeso, forma pequeñas agujas de etringita (sulfoaluminato de calcio) alrededor del grano de cemento. Posteriormente a este proceso se inicia el fraguado de la pasta de cemento (Suarez Sidalgo, 2010). Los siguientes compuestos en reaccionar son la, alita (C_3S) y la belita (C_2S), cuyas reacciones se presentan al finalizar el fraguado de la pasta, estas reacciones son importantes, para el desarrollo resistente y durable de un hormigón o mortero. La hidratación de la alita y la belita producen silicatos cálcicos hidratados, representado por la abreviatura C-S-H, denominada como geles de silicoaluminatos o gel de tobermorita gel. La tobermorita es la responsable del endurecimiento y resistencia mecánica en la pasta de cemento, constituyendo entre el 50% al 60% del volumen de los sólidos en la pasta de cemento completamente hidratada (Suarez Sidalgo, 2010). La hidratación de los silicatos también produce hidróxido cálcico o pórtlandita (CH), este producto no contribuye al desarrollo de resistencias mecánicas en la pasta de cemento, pero le confiere a la pasta de cemento la alcalinidad necesaria para proteger el acero de refuerzo embebido en el concreto, la pórtlandita ocupa entre un 20% a 25% del volumen total de los sólidos en la pasta de cemento hidratado (Suarez Sidalgo, 2010). Por tanto, se puede decir que hasta los 3 días de edad, el desarrollo de resistencias se debe a la hidratación del C_3S y C_3A ; hasta los 7 días, prácticamente por el aumento de la hidratación del C_3S ; hasta los 28 días, el incremento se debe principalmente al C_3S , con

pequeña contribución del C_2S , y después de los 28 días el incremento se debe a la hidratación del C_2S (Sánchez de Guzmán, 2001).

La relación agua/cemento, finura del cemento y temperatura de curado también son factores que intervienen. Un aumento de la finura, del contenido de cemento y de la temperatura de curado aumenta el calor de hidratación. El cemento Portland puede liberar calor por muchos años, siendo la tasa de generación de calor mayor en las edades tempranas. Se genera una gran cantidad de calor en los tres primeros días, con la mayor tasa de liberación de calor normalmente ocurriendo a lo largo de las primeras 24 horas (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004). Si este calor no se disipa rápidamente, puede ocurrir un aumento considerable de la temperatura del concreto. Este aumento de temperatura puede ser indeseable, pues después del endurecimiento, el enfriamiento no uniforme de la masa de concreto hasta la temperatura ambiente puede crear tensiones de tracción (esfuerzos de tensión) indeseables. Por otro lado, el aumento de la temperatura en el concreto causado por el calor de hidratación es frecuentemente beneficioso en clima frío, pues ayuda a mantener las temperaturas favorables para el curado (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004). Los materiales pueden ser seleccionados para minimizar o maximizar el calor de hidratación, dependiendo en la necesidad. Cementos con mayor contenido de silicato tricálcico y aluminato tricálcico, así como una mayor finura, tales como los cementos Tipo III, tienen mayores tasas de generación de calor que otros cementos. El silicato tricálcico o el aluminato tricálcico químicamente generan más calor, y a una velocidad mayor, que silicato dicálcico o de otro tipo de cemento compuestos. El contenido de sulfatos, en relación con el control de la hidratación de aluminato de calcio, participa en la tasa de liberación de calor. Una finura más alta proporciona un área de mayor superficie que se humedece, resultando en una aceleración de la reacción entre el cemento y el agua. Otros factores que influyen en la generación de calor en el concreto incluirán el contenido de cemento, la relación agua-cemento, la colocación y la temperatura de curado, la presencia de minerales químicos y aditivos, y las dimensiones del elemento estructural (Portland Cement Association, 1997). Para efectos prácticos no es necesario el calor total de hidratación, sino la velocidad de desarrollo del calor. La misma cantidad total de calor producida en un periodo mayor puede disiparse en mayor grado, con un consecuente menor aumento de la temperatura (Neville, 1988).

5. Tiempo de Fraguado y su Influencia en la Resistencia

El fraguado del cemento es el cambio del estado plástico, a un estado rígido de la pasta de cemento, este efecto no se debe confundir con el endurecimiento que es la adquisición de resistencia mecánica de la pasta de cemento después de que el fraguado ya se ha producido (Goma, 1979). En el fraguado del cemento se puede distinguir dos estados principales, el tiempo de fraguado inicial que transcurre desde la adición del agua hasta que la pasta presenta un rápido aumento de su viscosidad y su temperatura, que indica que el cemento se encuentra parcialmente hidratado. La pasta continúa fraguando hasta llegar a la máxima temperatura con una gran pérdida de su plasticidad, este punto se conoce como tiempo de fraguado final (Sánchez de Guzmán, 2001). Uno de los factores que influyen sobre los tiempos de fraguado de la pasta de cemento es la finura del cemento, puesto que entre más finos son los granos de cemento, mayor es la velocidad de hidratación por lo que el tiempo de fraguado será menor (Sánchez de Guzmán, 2001). La velocidad de fraguado del cemento es regulada con la incorporación del yeso durante el proceso de fabricación, este reacciona con el C_3A durante el proceso de hidratación, formando la etringita que se transforma después en un monosulfoaluminato, que impide durante un lapso de tiempo la generación de los productos de hidratación de los demás componentes del cemento (González de la Cotera S, Adiciones Minerales del Cemento Portland, 1992). Los cementos con baja, muy poca o ninguna cantidad de SO_3 , parte del hidrato puede precipitar para producir cristales de sulfato de calcio dihidratado (yeso secundario) cristales que puede causar un endurecimiento o incluso un fraguado relámpago, a diferencia de lo que ocurre en un falso fraguado, en este último, la plasticidad de la mezcla se recupera con un amasado prolongado y enérgico en la mezcladora. Por otra parte, el falso fraguado no genera calor y el posterior desarrollo de la resistencia no se ve afectada adversamente (Older, 2003). La pasta del cemento fresco es una mezcla plástica de partículas de cemento en agua, pero una vez que la pasta fragua, su volumen aparente o bruto permanece aproximadamente constante. En cualquier etapa de hidratación, la pasta endurecida consta de hidratos de varios compuestos, denominados colectivamente como gel de cristales de $Ca(OH)_2$, algunos componentes menores, cemento no hidratado y residuos de los espacios rellenos de agua en la pasta fresca.

Estos huecos se denominan poros capilares, pero dentro del gel mismo existen huecos intersticiales llamados poros de gel. Por lo tanto, en una pasta deshidratada hay dos clases distintas de poros (Neville, 1988).

Existe una relación entre las resistencias del cemento a diferentes edades, el contenido de yeso, y el grado de deshidratación. Por un lado, la dosificación de yeso está limitada por la posibilidad de que se produzca un fraguado rápido, que determina el contenido mínimo permisible del yeso y, por el otro, por el contenido máximo especificado en las normas.

Si el yeso se almacena a temperaturas elevadas o si se deshidrata durante el proceso de molienda, es posible que el contenido máximo de yeso no esté determinado por las normas, sino por el falso fraguado del cemento debido a una elevada actividad del yeso, puesto que este al ser sometido a condiciones de temperaturas elevadas su estructura química se puede alterar lo cual conlleva a tener un fraguado prematuro del cemento. Dentro del intervalo, determinado por el contenido mínimo y máximo de yeso, el cemento cumple las especificaciones con respecto al fraguado y se puede elegir libremente la dosificación.

En un cemento con un fraguado adecuado, la estructura de la pasta de cemento hidratada se establece por medio del hidrato de silicato de calcio, mientras que si se permitiera al C_3A fraguar primero se formaría un hidrato de aluminio de calcio más poroso. El resto de los componentes del cemento se hidratan también dentro de esta estructura porosa y las características de resistencia de este cemento se verían afectadas en forma diversa (Neville, 1988).

En Honduras la determinación del tiempo de fraguado se realiza con el método de la aguja de Vicat según la norma NTC 118, que consiste en medir la penetración de una aguja con un peso de 300 gr, en una pasta de cemento de consistencia normal. Se considera que se ha presentado el tiempo de fraguado inicial, cuando la penetración de la aguja es de 25 mm, mientras que en el fraguado final deja una ligera huella sobre la superficie de la pasta, sin penetrarla. El endurecimiento correcto resulta de un equilibrio cuidadoso de los compuestos de sulfato y aluminato, temperatura y finura adecuada de los materiales (que controlan la hidratación y la tasa de disolución). La cantidad de sulfato transformado en el yeso tiene un efecto significativo, por ejemplo, en un cemento específico el 2% de yeso permite un tiempo de fraguado de 5 horas, mientras que con el 1% de yeso el fraguado fue rápido y con el 3% se presentó el falso fraguado (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004).

6. Estabilidad de Volumen del Cemento y su Influencia en la Resistencia

Pese a que todos los cementos presentan deformaciones durante el equilibrio termo- higrométrico, estas son mínimas y sin efectos perjudiciales, sin embargo, el exceso de algunos compuestos como la cal libre, el óxido de magnesio, el yeso o sulfato de calcio, pueden producir deformaciones considerables

luego del fraguado del cemento, los cuales pueden conllevar a la desintegración de los morteros y concretos (González de la Cotera S, Adiciones Minerales del Cemento Portland, 1992).

El óxido de magnesio conocido como periclase, se forma en la masa de cemento, cuando el proceso del enfriamiento del clinker se realiza lentamente, mientras que la cal libre, se presenta en un proceso industrial técnicamente desajustado (Sánchez de Guzmán, 2001). La determinación de la expansión se realiza con el ensayo del autoclave (NTC 107), que consiste en medir la deformación en probetas prismáticas de pasta de 2.5 x 2.5 x 25.4 cm, sometida a una aceleración en el proceso de hidratación mediante temperaturas y presiones altas, y los valores obtenidos del cambio de longitud en porcentaje se denomina expansión en autoclave. Debido a los inconvenientes que presenta el ensayo en autoclave se ha utilizado ampliamente el ensayo de las agujas de Le Chatelier (NTC 1514), la cual mide el cambio de volumen en probetas cilíndricas de 3.0 cm de diámetro y 0.5 cm de alto, curado en agua a temperatura ambiente y en ebullición. Cuando el ensayo se realiza a temperatura ambiente la expansión se debe a excesos de cal y cuando se realiza a temperatura de ebullición la expansión se debe a la presencia de cal libre y periclase.

De las materias primas que se añaden al horno la caliza es la que contiene mayor cantidad de cal de la que puede combinarse con los óxidos ácidos, por lo tanto, el exceso permanecerá en estado libre. Esta cal calcinada se hidrata en forma lenta y, como la cal apagada ocupa mayor volumen que el óxido de calcio original, da lugar a una expansión. A los cementos que experimentan esta expansión se les conoce como cementos con variación de volumen (Neville, 1988).

De acuerdo (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004) a estos autores a la expansión del volumen la llaman “sanidad” que se refiere a la habilidad de la pasta de cemento en mantener su volumen. La falta de sanidad o la expansión destructiva retardada es causada por la cantidad excesiva de cal libre o magnesia súper calcinadas. La mayoría de las especificaciones para cemento Portland limitan el contenido de magnesia (periclase) y a la expansión máxima que se mide por el ensayo de expansión en autoclave.

7. Resistencia a la Compresión de los Tipos de Cementos

Esta es la característica más importante del cemento, puesto que esta propiedad será transmitida al mortero y el concreto elaborado con el cemento. Como se mencionó anteriormente en el desarrollo de este trabajo, la hidratación del C_3S y C_2S , siendo el primero el que proporciona la mayor resistencia en edades cortas y el C_2S proporciona resistencias a edades superior a los 28 días.

La resistencia a la compresión del cemento se realiza sobre cubos de morteros elaborados con arena normalizada, puesto que se ha comprobado que los resultados de la resistencia del cemento son muy dispersos cuando se realiza en probetas de pasta de cemento. La resistencia de la pasta cementante en el concreto depende de la calidad y de la cantidad de componentes reactivos en la pasta y de su grado de hidratación.

El concreto se vuelve más resistente con el tiempo, cuando la temperatura y la humedad disponibles sean adecuadas. Por lo tanto, la resistencia en cualquier edad es función tanto de la relación agua-material cementante original y del grado de hidratación del material cementante. La importancia del curado temprano y minucioso se reconoce fácilmente.

La diferencia en la resistencia del concreto para una dada relación agua-cemento puede resultar de los cambios del tamaño, granulometría, textura superficial, forma, resistencia y rigidez del agregado, diferencias en los tipos y fuentes del material cementante, contenido de aire incluido (incorporado), la presencia de aditivos y la duración del curado. (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004).

El procedimiento de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión se encuentra en la norma ASTM C39, y se determina en probetas cúbicas de 5 cm de lado que se elabora con 1 parte de cemento y 2,75 partes de arena. En cuanto a la cantidad de agua que se debe agregar a la mezcla será aquella que produzca una fluidez de $110 \pm 5 \%$ con 25 golpes en la mesa de flujo. La ASTM C-1157 establece que la resistencia a la compresión se debe realizar a edades de 3, 7 y 28 días y sus valores mínimos son 8, 15 y 24 MPa respectivamente, para el cemento tipo Portland.

No se ha comprendido completamente cual es la fuente real de resistencia del gel, pero probablemente se debe a dos tipos de enlaces cohesivos.

El primero es la atracción física entre partículas sólidas, separadas solo por pequeños poros de gel, a este se le denomina fuerza de Van der Waals. El segundo tipo de fuente de cohesión es el enlace químico. Puesto que el gel de cemento es del tipo de expansión limitada (es decir, que las partículas no pueden disiparse por adicción de agua), parece ser que las partículas de gel son reticuladas por las fuerzas químicas.

Estas son mucho más fuertes que las fuerzas de Van der Waals, pero en los enlaces químicos cubren solo una pequeña fracción del límite de la partícula de gel. Por otra parte, un área superficial de tanta magnitud como la del gel de cemento no es una condición necesaria para que se desarrolle una alta

resistencia, tal como la de pastas de cemento curadas con vapor a alta presión, que tienen una reducida área superficial y excelentes propiedades hidráulicas (Neville, 1988).

Uno de los primeros ensayos para establecer la resistencia mecánica de los cementos fue el ensayo de flexión en probetas prismáticas de morteros, que nos indica la posible fisuración del cemento sometido a esfuerzos de tracción. Como quiera que las resistencias a la tracción de este material son inferiores a las de compresión, la rotura se debe a una sollicitación de tracción, cuando sobre un espécimen prismático se ejercen esfuerzos de compresión sobre una parte de la sección transversal y esfuerzo de tracción sobre la parte restante, se considera que el elemento está sometido a flexión (González de la Cotera S, Adiciones Minerales del Cemento Portland, 1992).

En general, la resistencia a la compresión del cemento (basada en ensayos sobre cubos de mortero) no se la puede usar para el pronóstico de la resistencia del concreto con un alto grado de precisión, debido a las muchas variables en las características de los agregados, mezclado del concreto, procedimientos de construcción y las condiciones del medioambiente en la obra (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi, 2004).

5.2.7. Especificaciones del Cemento Según la ASTM C-1157

Actualmente los parámetros físicos y mecánicos que determinan la calidad de un cemento, se establecen en la ASTM C-1157, para todos los tipos de cementos establecidos en la NTC 30, los parámetros controlados son los de finura, estabilidad volumétrica, tiempos de fraguado y resistencia a la compresión a 3, 7 y 28 días, la tabla siguiente muestra los valores exigidos para las características físicas y mecánicas más importantes de un cemento Portland tipo I.

Tabla 4

Características físicas y mecánicas para cemento portland tipo I.

Parametro	Valor
Finura de Blaine, m ² /Kg, min	280
Expansion autoclave, % max.	0.8
Tiempo de fraguado en minutos (metodo de Vicat)	
Fraguado inicial, en minutos	45
Fraguado final, en horas	8

Resistencia mínima, Mpa	
3 días	8.0
7 días	15.0
28 días	24.0

Fuente NTC-121.

Todas las empresas productoras de cemento proporcionan catálogos donde resumen algunas de sus características físicas y químicas, como se muestra en la tabla siguiente para las cuatro empresas productoras del cemento estudiado, las cuales superan ampliamente los valores establecidos en las normas hondureñas.

Tabla 5

Especificaciones Técnicas de los Productores

Parametro	WAN PENG	CENOSA	ARGOS	ULTRACEM
Finura de Blaine, m ² /Kg, min	-	300-600	280	418.5
Expansion autoclave, % max.	-	0.00-0.20	0.8	0.34
Tiempo de fraguado en minutos (metodo de Vicat)				
Fraguado inicial, en minutos				
Fraguado final, en horas	180	100-180	45	152
	5	3-4.3	7	4
Resistencia mínima, MPa				
3 días	12.0	13.0-19.0	9.0	18.6
7 días	18.0	17.0-24.0	16.0	23.9
28 días	30.0	24.5-30.0	26.0	32.2

Fuente: Productores Hondureños

En la tabla, se puede observar la variación en los valores de las características, que existe de una empresa a otra, puesto que mientras una de estas superan ampliamente las especificaciones mínimas otras se encuentran al límite de las especificaciones mínimas, e incluso una de estas no presenta en su ficha técnica los valores de finura y estabilidad volumétrica.

5.2.8. Características del Cemento Tipo GU

El cemento Portland tipo I GU es el más utilizado en cualquier tipo de obra. Al cual se le realizan pruebas físico-mecánicas con el fin de establecer la calidad y cumplimiento de las normas hondureñas

para garantizar un buen comportamiento del material. Para la realización del trabajo se utilizaron cuatro marcas predominantes en el mercado (Cenosa, Argos, Ultracem, Wan Peng).

El procedimiento de los ensayos físicos se realizó teniendo en cuenta las normas NTC y el orden para efectuar los ensayos son: densidad (NTC – 221), finura o superficie específica (NTC-33), masa (NTC-92), consistencia normal (NTC-110), tiempo de fraguado (NTC-118), estabilidad volumétrica (NTC-1514) y resistencia de los morteros (NTC220). Se repite el mismo ensayo 11cuatro veces para cada cemento y así dar un valor confiable y que esté dentro los límites establecidos por la NTC-121. Luego, se realizan los respectivos cálculos tales como: promedio, valores máximos, valores mínimos desviación estándar y el coeficiente de variación. Por otro lado, se verifico en el laboratorio de materiales y agregados que todos los aparatos de medición estuvieran calibrados y en óptimas condiciones con el fin de poder tener resultados confiables.

5.2.8.1. Densidad del cemento tipo GU

El proceso para determinar la densidad se encuentra en la NTC 221, y de acuerdo con la norma el peso de la muestra es de 64 gr, pero el trabajo se realizó con 55 gr ya que cuando se inició el ensayo con los 64 gr del cemento Argos sobrepaso las graduaciones del frasco de *Le Chatelier*. Para poder comparar este parámetro entre los cuatro cementos se usó 55 gr, siendo la unidad de medida en Kg/m³. La densidad es de gran importancia ya que es de utilidad para el diseño y control de las mezclas de concreto. El procedimiento para determinar la densidad se inicia con el peso de la cantidad de 55 gr de cemento, luego se llena el frasco de *Le Chatelier* con un líquido que no reacciona con el cemento, para este caso se usó el querosene libre de agua, el nivel del líquido debe quedar entre la línea de graduación de 0 a 1, se agrega el cemento teniendo cuidado de que no quede adherido a las paredes del frasco, luego se tapa y se saca el aire atrapado en el cemento, se coloca en el baño termostático, hasta que la temperatura del querosene sea igual a la temperatura del agua del baño, se saca y se seca el frasco y se toma la lectura del nivel del líquido en las graduaciones de la parte superior. En la tabla siguiente se presentan los datos estadísticos de los resultados de densidad obtenidos para los cuatro cementos comerciales y en la tabla del anexo, se encuentran los cuatro datos del ensayo de densidad obtenidos para cada cemento durante el desarrollo de los ensayos en el laboratorio.

Tabla 6

Mejía Ventura, H. O., & Girón Núñez, M. G. (2021). *Estudio Comparativo de las características físico-mecánicas, para El Diseño de concreto de 4000 PSI mediante ensayo de Laboratorios a diferentes marcas de cementos en el Distrito Central , durante el período de Agosto a Diciembre del 2019. Junio 2021 Milímetro, Volumen VII No. 1 páginas 15-81*

Densidad de los Cementos Tipo I GU

Parametros Estadísticos	WAN PENG	CENOSA	ARGOS	ULTRACEM
Valor promedio (Kg/m ³)	2937	2734	2843	2975
Valor maximo (Kg/m ³)	2957	2764	2957	2989
Valor minimo (Kg/m ³)	2910	2709	2806	2926
Desviacion estandar (Kg/m ³)	14.86	15.46	22.16	21.85
Coefficiente de variacion (%)	0.51%	0.57%	0.78%	0.73%

5.2.8.2. *Finura del Cemento Tipo GU*

La superficie específica es un ensayo que indica que tan fino o que tan grueso es el cemento por medio del aparato de Blaine, que se expresa en cm²/gr, los pasos para realizar este ensayo se encuentran en la NTC 33. Para determinar la superficie específica del cemento se utiliza una muestra de cemento patrón certificada, (No 114 del National Institute of Standards and Technology – NIST).

El primer paso consiste en calibrar el aparato de Blaine en dos etapas, en la primera se determina el volumen de la capa compactada de cemento, por medio del método de desplazamiento de mercurio, y se calcula el volumen y la masa, en la segunda etapa se determina la permeabilidad al aire y se registra el tiempo (Tp) que tarda en atravesar la capa de cemento patrón.

Después se determina la finura del cemento en estudio, para lo cual se ejecuta el ensayo de permeabilidad al aire, para encontrar el tiempo (T) que tarda el aire en atravesar la capa compactada del cemento. En las imágenes y Tabla No. 1 se presentan los datos promedios obtenidos en la calibración del aparato de Blaine que se usaron para los cuatro cementos. Para el tiempo de flujo en la capa (Tp) se realizaron tres ensayos para obtener un promedio de este. En las Tabla No. 2 y Tabla No. 3 se presentan los datos obtenidos en el ensayo de la superficie específica de los cementos: Argos, Cenosa, Ultracem y Wan Peng.

Parámetros	Dato Promedio
MA = Masa de mercurio en la cámara (g)	104.79
MB = Masa de mercurio en la cámara con cemento (gr)	77.65
D = Densidad del mercurio (gr/cm ³)	13.54
V = Volumen total del cemento (cm ³)	1.811

tp = Temperatura ambiente en la calibración (°C)	20.7		
Tp = Tiempo de flujo en la capa del cemento patrón (seg)	95.31	98.35	99.9
M = Masa del cemento patrón (gr)	2.852		
d = Densidad del cemento patrón (gr/cm ³)	3.15		
ep = Porosidad del cemento patrón	0.5		
Sp = Superficie específica del cemento patrón (cm ² /gr)	3818		

Tabla No. 1 - Calibración del aparato de Blaine para los cementos Argos y Cenosa.

Parámetros	Dato Promedio		
MA = Masa de mercurio en la cámara (g)	104.79		
MB = Masa de mercurio en la cámara con cemento (gr)	79.17		
D = Densidad del mercurio (gr/cm ³)	13.54		
V = Volumen total del cemento (cm ³)	1.87		
tp = Temperatura ambiente en la calibración (°C)	22.55		
Tp = Tiempo de flujo en la capa del cemento patrón (seg)	121.9	118.43	122.9
M = Masa del cemento patrón (gr)	2.943		
d = Densidad del cemento patrón (gr/cm ³)	3.15		
ep = Porosidad del cemento patrón	0.5		
Sp = Superficie específica del cemento patrón (cm ² /gr)	3818		

Tabla No. 2 - Calibración del aparato de Blaine para los cementos Ultracem y Wan Peng.

Parámetros Estadísticos	Superficie Especifica (cm ² /gr)	
	Argos	Cenosa
Promedio, cm ² /gr	4589.59	7778.62
Valor máximo, cm ² /gr	4597.20	7797.26
Valor mínimo, cm ² /gr	4578.04	7758.67
Desviación estándar, cm ² /gr	5.37	12.60
Coefficiente de variación, (%)	0.12%	0.16%

Tabla No. 3 - Superficie específica de los cementos Argos y Cenosa.

Parámetros Estadísticos	Superficie Especifica (cm ² /gr)	
	Ultracem	Wan Peng
Promedio, cm ² /gr	5422.60	5130.45
Valor máximo, cm ² /gr	5442.15	5197.81
Valor mínimo, cm ² /gr	5395.44	5046.12
Desviación estándar, cm ² /gr	15.31	56.54
Coefficiente de variación, (%)	0.28%	1.10%

Tabla No. 4 - Superficie específica de los cementos Ultracem y Wan Peng.

5.2.8.3. Masa unitaria del cemento tipo I GU

La masa unitaria del cemento no se encuentra en ninguna norma técnica colombiana, en este proyecto se realizó con base en la NTC-92 (determina la masa unitaria y % vacíos entre partículas de agregados), y así poder estudiar la masa unitaria suelta para cementos.

Para realizar este ensayo, la cantidad de muestra que se utilizó fue alrededor del 125% al 200% de la cantidad que ocupe el molde de arena, mediante el método de paleo, el cual se inicia con la calibración del molde que se usa para determinar la masa unitaria del agregado suelto. Se registra la masa del molde vacío, se llena con agua hasta el borde y se pesa, se toma la temperatura del agua para obtener la densidad del agua, se calcula el volumen del recipiente, dividiendo la masa de agua por la densidad del agua (tabla siguiente). Luego se llena el molde descargando el cemento desde una altura de 5cm por encima del borde, se enrasa la superficie con una regla y se determina la masa en Kg, se calcula la masa unitaria para los cuatro cementos en estudio cuyos resultados se presentan en la Tabla No. 5.

Parámetros	Datos
Masa del molde vacío, Kg	5.10
Masa del molde con agua, Kg	8.05
Temperatura del agua °C	19
Densidad del agua, Kg/cm ³	998.4
Volumen del molde, m ³	0.00295

Tabla No. 5 - Calibración del molde para la masa unitaria suelta.

Parámetros Estadísticos	Masa Unitaria Suelta (Kg/m³)			
	Argos	Ultracem	Cenosa	Wan Peng
Promedio, cm²/gr	825.91	902.07	949.46	990.08
Valor máximo, cm²/gr	846.22	930.84	981.62	998.54
Valor mínimo, cm²/gr	812.37	880.07	930.84	981.62
Desviación estándar, cm²/gr	10.7	16.06	16.83	8.92
Coefficiente de variación, (%)	1.30%	1.80%	1.80%	0.90%

Tabla No. 6 - Masa unitaria suelta del cemento tipo I GU.

5.2.8.4. Consistencia Normal y Tiempo de Fraguado de las Pastas del Cemento Tipo GU

La determinación de la consistencia normal (NTC 110) tiene como objetivo hallar la cantidad de agua necesaria para dar características plásticas estándar a las pastas de cemento, con el fin de normalizar dichas pastas de cemento que se utilizaran en el desarrollo de diferentes ensayos como el tiempo de fraguado y el ensayo de estabilidad volumétrica. Para realizar la consistencia normal se prepara la pasta con 650 gr de cemento y cierta cantidad de agua y se mezcla según el procedimiento de la norma NTC-112, se moldea la pasta de cemento con las manos formando una esfera que se lanza seis veces con la manos a una distancia de 15 cm aproximadamente, se toma el molde en una mano y con la otra se introduce la esfera por la base mayor, y se quita el exceso de masa con la palma de la mano. A continuación se coloca el molde con la placa de vidrio debajo de la sonda de Vicat, se descende la sonda hasta que haga contacto con la superficie de la pasta y se desplaza el índice hasta que coincida con el cero superior, se suelta la sonda y al finalizar los 30 segundos se toma la lectura de la penetración, se considera que la pasta tiene consistencia normal cuando el émbolo penetra 10 ± 1 mm, Tabla No. 7 muestra los valores de consistencia normal de cada uno de los cementos analizados.

Parámetros	Marcas de Cementos			
	Argos	Ultracem	Cenosa	Wan Peng
A = Masa de cemento, gr	650.00	650.00	650.00	650

B = Masa de agua, gr	179.40	220.35	179.40	178.75
Penetración, mm	9.5	9.5	9.5	9.5
Consistencia (%) = B/A*100	27.6	33.9	27.6	27.50

Tabla No. 7 - Consistencia normal de las pastas de cemento tipo I GU.

El tiempo de fraguado se determina sustituyendo en el aparato de Vicat la sonda utilizada para la determinación de la consistencia normal, por una aguja de 1mm de diámetro, la cual penetra la pasta de cemento, que al ir fraguando presentara resistencia a la penetración de la aguja. El tiempo de fraguado tiene como fin determinar el fraguado inicial (cuando la aguja penetra a 25 mm), por lo tanto, se realiza una gráfica para buscar el tiempo de fraguado inicial y el fraguado final del cemento (cuando la aguja no penetra). Al realizar el ensayo con los cuatro cementos se compara con las especificaciones de la ASTM C-1157 para cada marca y se verifica que cumpla con las condiciones deseadas, el procedimiento para efectuar este ensayo se encuentra en la NTC 118, los resultados obtenidos al analizar los tiempos de fraguado inicial y final de las cuatro marcas de los cementos analizados se encuentran en la Tabla No. 8.

Parámetros Estadísticos	Cementos Argos		Cementos Ultracem	
	T.F Inicial (min)	T.F Final (min)	T.F Inicial (min)	T.F Final (min)
Promedio, minutos	119.7	216	141.3	274.5
Valor Máximo, minutos	165	240	150	285
Valor Mínimo, minutos	98	180	127	255
Desviación estándar, minutos	18.84	17.61	7.68	12.35
Coefficiente de variación, (%)	15.74%	8.15%	5.43%	4.50%
Parámetros Estadísticos	Cementos del Norte		Cementos Wan Peng	
	T.F Inicial (min)	T.F Final (min)	T.F Inicial (min)	T.F Final (min)
Promedio, minutos	140.9	222	135.3	234
Valor Máximo, minutos	151	240	150	240
Valor Mínimo, minutos	132	195	123	210

Desviación estándar, minutos	6.95	11.83	9.87	10.49
Coefficiente de variación, (%)	4.93%	5.33%	7.29%	4.48%

Tabla No. 8 - Tiempo de fraguado de las pastas de cemento tipo I GU.

5.2.8.5. Estabilidad de volumen de las pastas del cemento tipo I GU

La estabilidad volumétrica fue evaluada con las agujas de Le Chatelier según la norma (NTC-1514), consistió en llenar 3 moldes cilíndricos de latón de 3 cm de diámetro y 3 cm de altura, con pasta de consistencia normal sin compactar, los moldes se introdujeron dentro de la cámara húmeda durante 24 horas, se sacó y se midió la distancia (A) entre las puntas de las agujas. Las mismas probetas con el molde se someten a ebullición en el baño termostático por 3 horas, se sacan y se miden la distancia (B) entre las puntas, se deja enfriar y se mide nuevamente la distancia (C) entre las puntas de los indicadores. Se calcula el promedio de las distancias (C-A) de las tres probetas que corresponde a la expansión del cemento en mm. En la siguiente tabla se colocan los datos estadísticos de los resultados de la estabilidad de volumen obtenidos para los cuatro cementos comerciales.

Parámetros Estadísticos	Expansión (mm)			
	Argos	Ultracem	Cenosa	Wan Peng
Promedio, mm	0.63	0.40	0.55	0.78
Valor Máximo, mm	1.50	1.00	1.00	1.25
Valor Mínimo, mm	-1.50	-0.50	-1.25	0.50
Desviación estándar, mm	0.63	0.29	0.71	0.25
Coefficiente de variación, (%)	100.22%	72.17%	129.99%	32.08%

Tabla No. 9 - Expansión de las pastas de cemento tipo I con las agujas de Le Chatelier.

5.2.8.6. Resistencia del Cemento Tipo GU en Cubos de Morteros

La resistencia es el parámetro principal que analiza el usuario, en cubos de mortero de 50 mm, el procedimiento a seguir de este ensayo se encuentra en la (NTC-220), esta norma aclara que este parámetro sirve para determinar su conformidad con las especificaciones técnicas más no para estimar la resistencia del concreto. Las unidades en las cuales se expresa la resistencia o esfuerzo es en N/mm².

Para determinar la resistencia de un cemento adicionado según la norma NTC-220 se debe preparar un mortero con una parte de cemento y 2.75 partes de arena seca normalizada. La cantidad de agua de amasado que requiere el mortero, debe ser la que produzca una fluidez de 110 ± 5 de acuerdo con el procedimiento que establece la norma NTC 111. En la tabla siguiente se colocan las dosificaciones utilizadas en la elaboración de los tres cubos de mortero para los cuatro cementos comerciales, repitiendo diez veces la misma dosificación para el moldeado de los cubos con mortero.

Materiales	Argos	Ultracem	Cenosa	Wan Peng
Cemento, gr	254.5	254.50	254.5	254.5
Arena de Ottawa, gr	700	700.00	700.00	700
Agua, gr	159.00	170.50	150.2	152.70
Relación a/c	0.623	0.67	0.59	0.6
% Fluidez	108	112	110	111

Tabla No. 10 - Dosificación para la elaboración de tres cubos de mortero para la resistencia a la compresión.

Después de encontrar la cantidad de agua, se procede a la elaboración de la mezcla de mortero teniendo en cuenta la norma NTC-112, y a continuación se realiza el proceso de llenado de los moldes cúbicos de acuerdo con la norma (NTC-220), la mezcla se coloca en el molde y se compacta con 32 golpes por intervalos de ocho golpes en cuatro etapas. Terminado el proceso de moldeado se almacena en el cuarto húmedo y se fallan a los 3,7 y 28 días en la prensa. En la Tabla siguiente se presentan los datos estadísticos de los resultados de la resistencia del cemento sobre cubos de morteros obtenidos para los cuatro cementos comerciales.

Parámetros Estadísticos	Argos			Ultracem		
	3 Días	7 Días	28 Días	3 Días	7 Días	28 Días
Promedio (Mpa)	12.5	20.6	28.6	6.30	11.9	19.1
Valor Máximo (Mpa)	13.0	22	29.7	6.80	12.60	19.6
Valor Mínimo (Mpa)	12.0	19.10	27.7	6.10	11.2	18.40
Desviación Estándar (Mpa)	0.4	0.8	0.7	0.2	0.4	0.4
Coefficiente de Variación %	2.8%	4.0%	2.5%	3.3%	3.7%	2.0%
Parámetros Estadísticos	Cementos del Norte			Wan Peng		
	3 Días	7 Días	28 Días	3 Días	7 Días	28 Días
Promedio (Mpa)	15.1	20.4	25.6	12.0	19.2	25.4
Valor Máximo (Mpa)	15.4	21	27.5	12.5	18.5	26.3
Valor Mínimo (Mpa)	14.8	19.40	24.5	11.3	19.9	24.40
Desviación Estándar (Mpa)	0.2	0.5	1.0	0.4	0.4	0.6
Coefficiente de Variación %	1.3%	2.6%	4.0%	3.7%	2.3%	2.4%

Tabla No. 11 - Resistencia a la compresión de los morteros de cemento tipo I GU a edades de 3, 7 y 28 días.

Los promedios obtenidos de los ensayos de la caracterización de los cuatro cementos en estudio se presentan en la tabla siguiente:

Parámetro		Argos	Ultracem	Cenosa	Wan Peng
Densidad (kg/m³)		2937	2734	2843	2975
Finura (cm²/gr)		4589.59	5422.6	7778.62	5130.45
Masa Unitaria (kg/m³)		825.91	902.07	949.46	990.08
Consistencia norma (%)		27.6	33.9	27.6	27.5
Tiempo de Fraguado	Inicial (min)	119.7	141.3	140.9	135.3
	Final (min)	216	274.5	222	234
Estabilidad de Volumen (mm)		0.63	0.4	0.55	0.25
Resistencia a la Compresión (Mpa)					
3 días		12.48	6.34	15.1	12

7 días	20.6	11.86	20.4	19.2
28 días	28.57	19.11	25.6	25.5

Tabla No. 12 - Promedios de los ensayos de los cuatro cementos.

5.2.9. Diseño de Mezclas de Concreto Hidráulico a Base de Pozzolana.

El objetivo de diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con los que se dispone, para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de uso. Los métodos de diseño han evolucionado desde el arbitrario método volumétrico 1 C:2Ar:3G, de principios de siglo, hasta los métodos actuales de peso y volumen absoluto, como el descrito por ACI 211. Es importante mencionar que una mezcla de concreto se puede proporcionar por las siguientes opciones:

- Por experiencias de campo
- Por diseño o mezclas similares
- A través de un método establecido como ACI 211

5.2.9.1. Tamaño Máximo del Agregado

El T.M.A. del agregado a elegir para el diseño de una mezcla de concreto se basará en el tamaño y forma del elemento de concreto que se colocará de acuerdo con varios criterios.

5.2.9.2. Revenimiento

Los revenimientos comerciales en Honduras dependen básicamente del método de colocación a usar y son los siguientes:

- Concretos directos rev: 4.0 +/- 1.0 plg.
- Concretos bombeados rev: 6.0 +/- 1.0 plg.
- Concretos colocados con cimbra deslizante rev: 2.0 +/- 1.0 plg.

5.2.9.3. El Contenido de Agua

En la mezcla para proporcionar el revenimiento de diseño será de acuerdo al tipo de agregado a utilizar y la inclusión de aditivos en el proporcionamiento. Para estimar el contenido de agua en la mezcla usaremos la siguiente Tabla No.19 de ayuda recomendada por ACI 211.

Requisitos aproximados para el contenido de agua de mezclado para distintos revenimientos y tamaños máximos de agregados								
Revenimiento, cm	Agua por metro cubico de concreto, para los tamaños máximos de agregado indicado							
	9.5mm (3/8")	12.7mm (1/2")	19 mm (3/4")	25.4mm (1")	38.1mm (1,1/2")	50.8mm (2")	76.2mm (3")	152.4mm (6")
2.5 a 5	208	199	187	178	163	154	130	113
7.5 a 10	228	217	202	193	178	169	145	125
15 a 18	243	228	214	202	187	178	160	-----

Tabla No. 13 – Tabla Contenido de Agua de Mezclado.

5.2.9.4. Contenido de Cemento

El contenido de cemento depende de la relación A/C necesaria para proporcionar la resistencia buscada a la característica de durabilidad que se espera proporcionarle a la mezcla para que sea capaz de soportar los agentes agresivos a los que estará sujeto en condiciones de servicio.

Correspondencia típica entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto		
Resistencia a la compresión a los 28 días Kg/cm ²	Relación agua /cemento en peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.39	
350	0.46	0.4
280	0.55	0.48
210	0.66	0.59
140	0.8	0.74

Tabla No. 14 – Tabla Relación Agua Cemento.

5.2.9.5. Contenido de Grava

Para estimar el contenido de grava en la mezcla, usaremos el Módulo de finura (MF) de la arena y el tamaño máximo del agregado grueso (T.M.A.). Con estos valores estimamos el contenido de grava usando la tabla 21, multiplicando el volumen de agregado grueso/m³ de concreto por su masa unitaria seca compactada.

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (m ³ de grava compacta/m ³ de concreto)					
Tamaño máximo de agregado		Volumen de agregado grueso varillado en seco * por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de agregado fino			
		2.4	2.6	2.8	3
mm	plg				
9.5	3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
12.7	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
19	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
25.4	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
38.1	1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
50.8	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
76.2	3"	0.82	0.8	0.78	0.76
152.4	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla No. 15 – Volumen de agregado grueso.

5.2.9.6. Contenido de Arena

El contenido de arena en la mezcla se obtendrá por diferencias de volumen respecto a los 1000 litros.

Corrección por absorción de los agregados, el contenido de agua necesaria para proporcionar el revenimiento de diseño a la mezcla, se ve afectada por la capacidad que tienen los agregados de absorber agua y por consiguiente es necesario adicionar el agua que tomarán los agregados al momento de la revoltura. Con el objeto de no alterar la relación A/C y consistencia del concreto.

Corrección por humedad de los agregados. De igual forma el contenido de agua necesaria para proporcionar el revenimiento de diseño a la mezcla se ve afectada por la humedad superficial que tienen los agregados y por consiguiente es necesario restar el agua que tienen los agregados al momento de la revoltura, con el objeto de no alterar la relación A/C y consistencia del concreto.

De igual forma parte del peso de los agregados realmente es agua y se deberá ajustar para evitar problemas de volumen en las mezclas.

5.2.10. Pruebas Básicas al Concreto Fresco y Endurecido.

Las pruebas de aceptación de concreto se realizan para conocer si cumplen las especificaciones de la obra, el concreto debe cumplir con las propiedades de resistencia, consistencia, flexibilidad y tensión. Estas propiedades pueden variar en la elaboración y el tipo de concreto que se va a utilizar en la obra. Las pruebas más vistas son las de resistencia y consistencia, pero existen otros tipos de pruebas para conocer las propiedades del concreto.

Entre las pruebas básicas para el concreto fresco y Endurecido están:

- Práctica normalizada para el muestreo del concreto recién mezclado ASTM C-172/C-172M.
- Método de prueba normalizada para determinar el revenimiento en el concreto elaborado con cemento hidráulico ASTM C-143/C-143M.
- Método de prueba normalizada para la medición de temperatura del concreto recién mezclado ASTM C-1064/C-1064M.
- Práctica normalizada para la elaboración y curado en campo de especímenes de pruebas para concreto ASTM C-31/C-31M
- Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, ASTM C-39.

5.2.11. Práctica Normalizada para el Muestreo del Concreto Recién Mezclado ASTM C-172/C-172M.

Esta práctica cubre la obtención de muestras representativas de concreto fresco en el sitio del proyecto o cuando se requiere desarrollar pruebas para determinar la calidad del concreto fresco. Se establece el muestreo en mezcladoras estacionarias, pavimentadoras, camiones mezcladores y otros equipos con o sin agitación que se utilicen para transportar el concreto mezclado en planta. También contiene la preparación de muestras de concreto para su posterior ensayo, cuando es deseable o necesario remover el agregado de un tamaño especificado. Esto se realiza preferiblemente por medio del tamizado en húmedo.

Este ensayo brinda los requerimientos y procedimientos necesarios para el muestreo del concreto recién mezclado de diferentes contenedores utilizados en la producción o transporte del concreto. Los requerimientos para materiales, mezcla, contenido de aire, temperatura, cantidad de especímenes, revenimiento, interpretación de resultados, precisión y sesgo, están en cada norma específica.

5.2.11.1. Resumen Procedimiento.

El muestreo consiste en tomar una muestra representativa del concreto que se está colocando en la obra. Para los contenedores que no son pavimentadoras, se deben tomar al menos dos porciones espaciadas en un intervalo regular de tiempo a la mitad de la descarga. Estas porciones se remezclan antes de iniciar los ensayos. Cuando el muestreo es de una pavimentadora, se deben tomar al menos 5 porciones una vez que se ha descargado todo el concreto. El procedimiento para concretos con agregados mayores que un tamaño específico, se utiliza cuando el tamaño no es apropiado para realizar las pruebas. Consiste en el tamizado del concreto fresco en una malla de tamaño especificado para retener la porción de mayor tamaño y poder realizar los ensayos pertinentes.

6.1. *Método de Prueba Normalizada para Determinar el Revenimiento en el Concreto Elaborado con Cemento Hidráulico ASTM C-143/C-143M.*

Este ensayo cubre la determinación del revenimiento del concreto tanto en el laboratorio como en el campo.

El ensayo de revenimiento se realiza para monitorear la consistencia de una muestra de concreto fresco. Bajo condiciones de laboratorio y con un estricto control de los materiales del concreto, se ha encontrado una relación directa entre la cantidad de agua y el revenimiento de una mezcla de concreto (el revenimiento aumenta proporcionalmente con la cantidad de agua). En condiciones de campo, esta relación no es clara, por lo tanto, se debe tener especial cuidado en relacionar el revenimiento con la resistencia del concreto. El ensayo se aplica a concretos plásticos con agregados gruesos de hasta 37.5 mm (1 ½ plg). Si el tamaño máximo es mayor, se debe aplicar tamizado en húmedo según ASTM C 172 en la malla con abertura de 37.5 mm y realizar la prueba al concreto que pasa la malla. El ensayo no es aplicable a concretos no plásticos (revenimiento menor que 15 mm) ni a concretos no cohesivos

(revenimientos mayores que 230 mm). El ensayo para concretos con estas características puede no ser significativo.

Para realizar esta prueba se utiliza un molde en forma de cono truncado de 12 “ de altura, con un diámetro inferior en su base de 8”, y en la parte superior un diámetro de 4”, tal como se muestra en la figura 2:

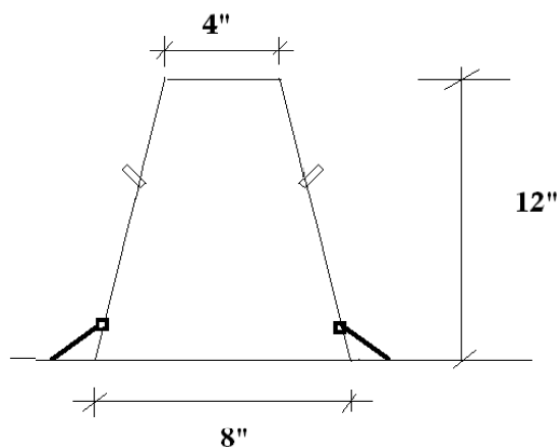


Figura No. 2 – Cono de Abrams.

Se le llama revenimiento a la diferencia de altura que hay entre la parte superior del molde y la parte superior de la mezcla fresca cuando ésta se ha asentado después de retirar el molde.

Esta distancia se expresa generalmente en cm o plg. y varía según la fluidez del concreto. La forma que adopta el cono de la mezcla de concreto puede ser:

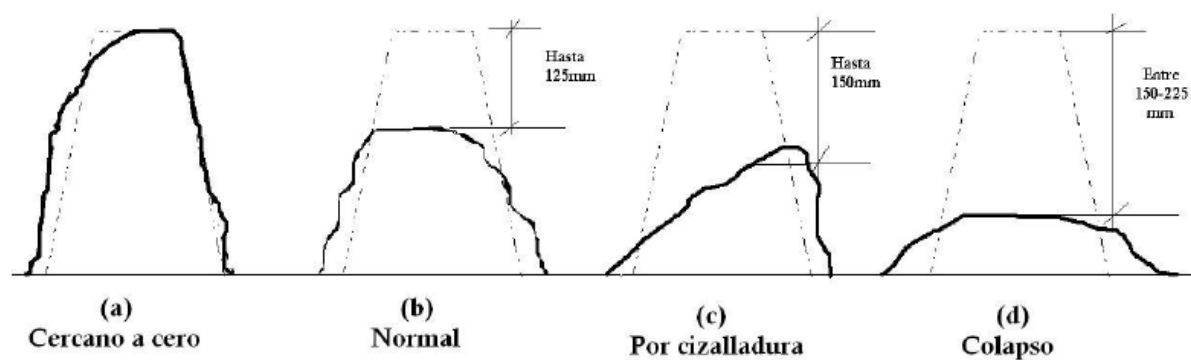


Figura No. 3 – La forma que adopta la Mezcla en la prueba de Revenimiento.

6.1.1. Material y Equipo para la Prueba.

- Molde con forma de cono truncado, con base de diámetro

- igual a 8" (203 mm), diámetro superior de 4" (102 mm), y una altura de 12" (305 mm). Este molde debe estar provisto de abrazaderas y su base debe ser de metal.
- Un cucharón
- Varillador: varilla lisa con punta redonda de 5/8" de diámetro y una longitud aproximada de 24".
- Cronometro
- Mezcla de concreto uniforme fresco con agregado grueso no mayor de 1 1/2"
- Cinta métrica (con una precisión de al menos 1/4")

6.1.2. Resumen Procedimiento.

- I. Uniformice la mezcla con el cucharón.
- II. Humedezca el molde troncocónico y colóquelo sobre una superficie plana, húmeda, no absorbente y rígida. La sección de diámetro inferior debe estar en la parte superior.
- III. Sujete bien el molde; para ello presione con los pies las abrazaderas o pedales fijados en la base del molde.
- IV. Vierta la mezcla de concreto hasta llenar aproximadamente 1/3 del volumen del molde (un tercio del volumen del molde de revenimiento se obtiene llenándolo a una profundidad de 2 5/8" (70 mm)).
- V. Varille esta primera capa con 25 golpes. Utilice una varilla de acero estándar de diámetro 5/8" con punta redondeada. Para esta capa se debe inclinar levemente el compactador y hacer aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, y el resto aplicarlos en forma de espiral hacia el centro del molde.

- VI. Vierta concreto nuevamente hasta llenar $\frac{2}{3}$ del volumen del cono (aproximadamente 6 1/8" (160 mm)) y varille de nuevo con 25 golpes a través de esta capa, de tal forma que los golpes apenas penetren en la capa anterior.
- VII. Llenar y varillar la capa superior con 25 golpes; para esta última capa, amontone el concreto sobre el molde antes de empezar a varillar. Si la operación de varillado provoca que el concreto de los bordes superiores del molde se caiga, agregue concreto adicional a fin de mantener todo el tiempo un exceso de concreto sobre la superficie del molde.
- VIII. Después de que la capa superior ha sido varillada, enrase la superficie del molde por medio de un movimiento simultáneo de aserrado y rodado con la varilla compactadora. Limpie el área de la base de cualquier escurrimiento de concreto que haya caído durante el enrasamiento.
- IX. Retire el molde del concreto, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Eleve el molde una distancia de 30 cm en 5 ± 2 segundos, firmemente y evitando cualquier movimiento lateral o de torsión.
- X. Inmediatamente mida el revenimiento, determinando la diferencia vertical entre la altura de la parte superior del molde y el centro del desplazamiento en la superficie del cono de concreto revenido. Utilice una escala graduada (cinta métrica). El tiempo transcurrido desde que se llena el molde hasta su levantamiento no deberá ser mayor de 2 ½ minutos.

6.1.3. Método de Prueba Normalizada para la Medición de Temperatura del

Concreto Recién Mezclado ASTM C-1064/C-1064M.

La temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en la calidad, tiempo de fraguado y resistencia del concreto. Sin el control de la temperatura del concreto, predecir su comportamiento es muy difícil, si no imposible.

Un concreto con una temperatura inicial alta, probablemente tendrá una resistencia superior a lo normal a edades tempranas y más baja de lo normal a edades tardías.

La calidad final del concreto probablemente se verá también disminuida. Por el contrario, el concreto colado y curado a temperaturas bajas desarrollará su resistencia a una tasa más lenta, pero finalmente tendrá una resistencia más alta y será de mayor calidad. La temperatura del concreto se usa para indicar el tipo de curado y protección que se necesitará, así como el lapso de tiempo en que deben mantenerse el curado y la protección. Al controlar la temperatura del concreto dentro de los límites aceptables se podrán evitar problemas tanto inmediatos como futuros. Cuando hay que evaluar diferentes tipos de concreto, la temperatura de las mezclas de cada concreto debe ser tan idéntica como sea posible.

La temperatura del concreto afecta el comportamiento de los aditivos químicos, los aditivos inclusores de aire, los materiales Puzolánicos y otros tipos de aditivos y adicionantes.

El Código ACI 318-14 en su última versión precisa que la temperatura máxima concreto en estado fresco puede establecerse como máximo en 35 °C.

6.2. Resumen de Procedimiento.

- I. Coloque el dispositivo para medir la temperatura en el concreto de modo que la porción sensible esté sumergida al menos 3 pulgadas [75 mm].
- II. Presione suavemente el concreto alrededor del dispositivo para medir la temperatura de modo que la temperatura del aire ambiente (afuera) no influya en la temperatura medida.
- III. Deje el dispositivo para medir la temperatura del concreto por un mínimo de 2 minutos, o hasta que la lectura se estabilice.
- IV. Lea y registre la temperatura del concreto fresco al 1 °F [0.5 °C] más próximo mientras que el dispositivo para medir la temperatura está en el concreto.
- V. Complete la medición de la temperatura cinco minutos después de obtener la muestra de concreto.

6.2. *Práctica Normalizada para la Elaboración y Curado en Campo de Especímenes de Pruebas para Concreto ASTM C-31/C-31M*

Esta práctica trata sobre procedimientos para preparar y curar especímenes cilíndricos y de viga de muestras representativas de concreto fresco para un proyecto de construcción.

El concreto utilizado para realizar especímenes moldeados debe ser muestreado después de que hayan sido hechos todos los ajustes in situ de la dosificación de la mezcla, incluyendo la incorporación de agua de mezclado y aditivos. Esta práctica no es satisfactoria para preparar especímenes a partir de concreto que no tenga un asentamiento mensurable o que requiera otros tamaños o formas de especímenes.

Los valores indicados en unidades SI o en pulgada-libra deben ser considerados separadamente como los estándares. Los valores dados en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes; por ello, cada sistema debe ser utilizado independientemente del otro. La combinación de valores los dos sistemas puede resultar en una no conformidad con la norma. Las unidades SI se muestran entre corchetes.

6.2.1. *Significación y Utilización*

Esta práctica provee requisitos normalizados para preparar, curar, proteger, y transportar especímenes de ensayo de concreto bajo condiciones de obra.

Si los especímenes están preparados y curados en la forma normalizada, como se estipula aquí, los datos de ensayo de resistencia resultantes cuando se ensayan los especímenes son aptos para ser utilizados con los siguientes propósitos:

- Ensayos de aceptación para una resistencia especificada.
- Control de idoneidad de dosificación de mezcla para resistencia.
- Control de calidad.

Si los especímenes están preparados y curados en obra, como aquí se estipula, los datos de ensayo de resistencia resultantes cuando se ensayan los especímenes son aptos para ser utilizados con los siguientes propósitos:

- Determinación de si una estructura es apta para ser puesta en servicio.

- Comparación con los resultados de ensayos de especímenes normalizados curados o con los resultados de ensayos de varios métodos de ensayo in situ.
- Idoneidad del curado y protección del concreto en la estructura.
- Requisitos de tiempo de remoción de encofrado o apuntalamiento.

6.2.2. Aparatos.

Moldes, Generalidades: Los moldes para especímenes o sujeciones en contacto con el concreto deben estar hechos de acero, hierro fundido, o de otro material no absorbente, no reactivo con el concreto que contiene cemento portland u otros cementos hidráulicos. Los moldes deben mantener sus dimensiones y forma bajo todas las condiciones de uso. Los moldes deben ser herméticos al agua durante la utilización como se juzga por su capacidad de mantener el agua vertida dentro de ellos.

Las disposiciones para ensayos de pérdida de agua están dadas en la sección Test Methods for Elongation, Absorption, and Water Leakage de la especificación C 470/C 470M. Un sellante adecuado, tal como una grasa pesada, arcilla de modelar, o cera microcristalina debe ser usado donde sea necesario evitar pérdidas a través de las juntas. Se debe proveer de un medio eficaz para sostener firmemente las placas de base a los moldes. Los moldes reutilizables deben estar recubiertos ligeramente con aceite mineral o un material desencofrante adecuado no reactivo antes de ser utilizados.

Diámetro del cilindro o ancho de la viga in. [mm]	Dimensiones de la varilla ^A	
	Diámetro in. [mm]	Longitud de la varilla in. [mm]
<6 [150]	3/8 [10]	12 [300]
6 [150]	5/8 [16]	20 [500]
9 [225]	5/8 [16]	26 [650]

^A Tolerancias de la varilla longitud ± 4 in. [100 mm] y diámetro $\pm 1/16$ in. [2 mm]

Tabla No. 16 : Requisitos de la Varilla de Compactación.

Moldes Cilíndricos: Los moldes para colar especímenes de ensayo de concreto deben cumplir con los requisitos de la Especificación C 470/C 470M.

Moldes de Viga: Los moldes de viga deben ser de la forma y dimensiones requeridas para producir los especímenes estipulados en 6.2. Las superficies interiores de los moldes deben ser lisas. Los lados, el fondo y extremos deben estar en ángulos rectos unos de otros y deben estar derechos y alineados y libres

de alabeo. La máxima variación de la sección transversal nominal no debe exceder 1/8 in. [3 mm] para moldes con una profundidad o ancho de 6 in. [150 mm] o más. Los moldes deben producir especímenes de al menos una longitud no menor a 1/16 in. [2 mm] más corta que la requerida en 6.2.

Varilla de Compactación: Una varilla redonda, recta de acero con las dimensiones conformes a las de la tabla 1, con el extremo compactador o ambos extremos redondeados en una punta hemisférica del mismo diámetro de la varilla.

Vibradores: Se deben utilizar vibradores internos. La frecuencia del vibrador debe ser de al menos 7000 vibraciones por minuto [150 Hz] cuando el vibrador está funcionando en el concreto. El diámetro de un vibrador cilíndrico no debe ser mayor que un cuarto el diámetro del molde cilíndrico o un cuarto del ancho del molde de viga. Otras formas de vibradores deben tener un perímetro equivalente a la circunferencia de un vibrador cilíndrico apropiado. La longitud combinada del eje del vibrador y el elemento que vibra debe exceder la profundidad de la sección vibrada por al menos 3 in. [75 mm]. La frecuencia del vibrador debe ser controlada periódicamente con un tacómetro de lengüeta vibrante u otro dispositivo adecuado.

NOTA 1: Para información sobre tamaño y frecuencia de distintos vibradores y un método para control periódico de la frecuencia del vibrador vea ACI 309R.

Maza: Se debe utilizar una maza con una cabeza de goma o de cuero crudo con un peso de 1.25 ± 0.50 lb [0.6 ± 0.2 kg].

Herramientas para el Llenado del Molde: De un tamaño suficientemente grande como para que cada cantidad de concreto obtenida del recipiente de muestreo sea representativa, y suficientemente pequeño como para que el concreto sea depositado dentro del molde sin ser derramado. Para colocar el concreto en un molde cilíndrico, la herramienta aceptable es una cuchara de albañil. Para colocar el concreto en un espécimen de viga, se permite usar cuchara de albañil o pala.

Herramientas de Acabado: Una llana de mano o fratás.

Aparatos de Asentamiento: Los aparatos para la medición del asentamiento deben cumplir con los requisitos del método de ensayo C 143/C 143M.

Recipiente de Muestreo: El recipiente debe ser una batea de lámina gruesa de metal, carretilla, o tablero plano, no absorbente, limpio, de capacidad suficiente para permitir volver a mezclar fácilmente la muestra entera con una pala o llana.

Aparatos de Contenido de Aire: Los aparatos para medir el contenido de aire deben cumplir con los requisitos de los métodos de ensayo C 173/C 173M o C 231.

Dispositivos de Medición de Temperatura: Los dispositivos de medición de temperatura deben cumplir con los requisitos aplicables del método de ensayo C 1064/C 1064M.

6.2.3. Requisitos de Ensayo

Especímenes Cilíndricos: Los especímenes de resistencia a la compresión o a la tracción por hendimiento deben ser cilindros colados y fraguados en una posición vertical. La longitud debe ser dos veces el diámetro. El diámetro del cilindro debe ser al menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Cuando el tamaño máximo nominal del agregado grueso excede 2plg. [50 mm], la muestra de concreto debe ser tratada mediante tamizado de concreto fresco a través de un tamiz de 2plg. [50 mm] como se describe en la Práctica C 172. Para ensayos de aceptación respecto a una resistencia a la compresión especificada, los cilindros deben ser de 6 por 12 plg. [150 por 300 mm] o 4 × 8 plg. [100 × 200 mm] (Nota 2).

NOTA 2: Cuando se requieren moldes en unidades SI y no están disponibles, se debería permitir un molde de tamaño equivalente en unidades pulgada-libra.

Especímenes de Viga: Los especímenes de resistencia a la flexión deben ser vigas de concreto colado y endurecido en la posición horizontal. La longitud debe ser al menos 2 plg. [50 mm] más grande que tres veces la profundidad ensayada. La relación del ancho a la profundidad moldeada no debe exceder 1.5. La viga normalizada debe tener una sección transversal de 6 por 6 plg. [150 por 150 mm], y debe ser utilizada para concreto con un agregado grueso de un tamaño nominal máximo de hasta 2 plg[50 mm]. Cuando el tamaño nominal máximo del agregado grueso exceda 2-plg. [50 mm], la menor dimensión de la sección transversal de la viga debe ser al menos tres veces el tamaño nominal máximo del agregado grueso. A menos que sea requerido por especificaciones de proyecto, las vigas hechas en obra no deben tener un ancho o profundidad de menos de 6 plg. [150 mm].

Técnicos de Obra: Los técnicos de obra que preparen y curen especímenes para ensayos de aceptación deben ser técnicos de ensayo de obra de ACI, grado I o equivalente. Los programas de certificación de personal equivalentes deben incluir exámenes escritos y de desempeño, como los bosquejados en ACI CP-1.

6.2.4. Muestreo de Concreto

Las muestras utilizadas para fabricar especímenes de ensayo bajo esta norma deben ser obtenidas de acuerdo con la Práctica C 172 a menos que un procedimiento alternativo haya sido aprobado.

Registre la identificación de la muestra con respecto a la ubicación del concreto representado y el tiempo de colado.

6.2.5. Moldeado de Especímenes.

Lugar de Moldeado: Moldee los especímenes rápidamente en una superficie rígida a nivel, libre de vibración y otras perturbaciones, en un lugar tan cerca como sea posible de la ubicación donde vayan a ser almacenados.

Colado de Cilindros: Seleccione una varilla de compactación apropiada según el tamaño de varilla y la Tabla 22 o el vibrador apropiado. Determine el método de compactación de la Tabla 23, a menos que se especifique otro método.

Si el método de compactación es varillado, determine los requisitos de moldeado de la Tabla 24. Si el método de compactación es vibración, determine los requisitos de moldeado de la Tabla 25. Seleccione una cuchara de albañil del tamaño descrito anteriormente. Mientras coloca el concreto en el molde, mueva la cuchara de albañil alrededor del perímetro de la abertura del molde, para asegurar una distribución pareja del concreto con una segregación mínima.

Cada capa de concreto debe ser compactada como se requiere. Cuando se coloca la capa final, agregue una cantidad de concreto que llene el molde después de la compactación.

Colado de Vigas: Seleccione la varilla de compactación apropiada según la tabla 22 o el vibrador apropiado. Determine el método de compactación de la tabla 23, a menos que se especifique de otro método. Si el método de compactación es varillado, determine los requisitos de moldeado de la tabla 24. Si el método de compactación es vibración, determine los requisitos de moldeado de la tabla 25. Determine el número de golpes de varilla por capa, uno cada 2 plg.2 [14 cm²] del área de la superficie superior de la viga. Seleccione una herramienta para el llenado del molde como se describe anteriormente. Usando la cuchara de albañil o la pala, coloque el concreto en el molde hasta la altura requerida para cada capa. Coloque el concreto de manera que el mismo sea uniformemente distribuido en cada capa con una segregación mínima. Cada capa debe ser compactada como se requiere. Cuando se coloca la capa final, agregue una cantidad de concreto que llene el molde después de la compactación.

Asentamiento in. (mm)	Método de Compactación
≥ 1 [25]	varillado o vibración
< 1 [25]	vibración

Tabla No. 17 : Requisitos del Método de Compactación.

Tipo y Tamaño del Espécimen	Número de Capas de Aproximadamente Igual Profundidad	Número de golpes de Varilla por Capa
Cilíndricos:		
Diámetro, in. [mm]		
4 [100]	2	25
6 [150]	3	25
9 [225]	4	50
Vigas:		
Ancho, in. [mm]		
6 [150] a 8 [200]	2	vea 9.3
>8 [200]	3 o más de igual profundidad, cada uno sin exceder 6 in. [150 mm].	vea 9.3

Tabla No. 18 : Requisitos de Moldeado por Varillado.

Tipo y Tamaño del Espécimen	Número de Capas	Número de Inserciones del Vibrador por Capa	Profundidad Aproximada por Capa, in. [mm]
Cilíndricos:			
Diámetro, in. [mm]			
4 [100]	2	1	la mitad de la profundidad del espécimen
6 [150]	2	2	la mitad de la profundidad del espécimen
9 [225]	2	4	la mitad de la profundidad del espécimen
Vigas:			
Ancho, in. [mm]			
6 [150] a 8 [200]	1	vea 9.4.2	la profundidad del espécimen
más de 8 [200]	2 o más	vea 9.4.2	8 [200] tan cerca como sea posible

Tabla No. 19 : Requisitos de Moldeado por Vibración.

Compactación: Los métodos de compactación para esta práctica son el varillado o vibración interna.

Varillado: Coloque el concreto en el molde, en el número de capas requeridas de aproximadamente igual volumen. Golpee cada capa con el extremo redondeado de la varilla utilizando el número de golpes de varilla requerido. Golpee con la varilla la capa inferior en toda su profundidad. Distribuya los golpes de varilla uniformemente sobre la sección transversal del molde. Para cada capa siguiente, permita que la varilla penetre a través de la capa que está siendo compactada y en la capa de abajo aproximadamente 1plg. [25 mm]. Después de que cada capa sea varillada, golpee los lados exteriores del molde levemente 10 a 15 veces con una maza, para cerrar cualquier hueco que haya quedado con el varillado y liberar

toda burbuja grande de aire que haya podido quedar atrapada. Utilice la mano abierta para golpear los moldes cilíndricos de un solo uso de calibre liviano que pueden dañarse si se golpean con una maza. Después de golpear, enrase cada capa de concreto a lo largo de los lados y extremos de los moldes de viga con un fratás u otra herramienta adecuada. Los moldes llenados insuficientemente deben ser ajustados con concreto representativo durante la compactación de la capa superior. Se debe remover el concreto en exceso de los moldes llenados en exceso.

Vibración: Mantenga una duración uniforme de la vibración para la clase particular de concreto, vibrador, y molde de espécimen involucrados. La duración de la vibración requerida dependerá de la trabajabilidad del concreto y de la efectividad del vibrador. Generalmente se ha aplicado suficiente vibración tan pronto como la superficie del concreto se vuelve relativamente lisa y las burbujas de aire grandes cesan de salir a la superficie superior. Continúe la vibración sólo lo suficiente para alcanzar la compactación apropiada del concreto.

Llene los moldes y vibre en el número requerido de capas aproximadamente iguales. Coloque todo el concreto para cada capa en el molde antes de comenzar la vibración de esa capa. Cuando compacte el espécimen, inserte el vibrador lentamente y no permita que descansa sobre el fondo o los lados del molde. Retire el vibrador lentamente de manera de que no queden grandes bolsa bolsas de aire en el espécimen. Cuando coloque la capa final, evite que el llenado en exceso sea más de 1/4 plg. [6 mm].

NOTA 4: Generalmente, no deberían requerirse más de 5 s de vibración para cada inserción para compactar adecuadamente el concreto con un asentamiento mayor de 3 plg. [75 mm]. Se pueden requerir tiempos más largos para concreto de asentamiento menor, pero el tiempo de vibración raramente debería exceder 10s por inserción.

Cilindros: El número de inserciones del vibrador por capa está dado en la tabla 25. Cuando se requiere más de una inserción por capa distribuya las inserciones uniformemente dentro de cada capa. Permita que el vibrador penetre a través de la capa que está siendo vibrada, y en la capa de abajo, aproximadamente 1plg. [25 mm]. Después de que cada capa sea vibrada, golpee los lados exteriores del molde al menos 10 veces con una maza, para cerrar los huecos que puedan quedar y permitir liberar los vacíos de aire. Utilice la mano abierta para golpear los moldes de cartón y de metal de un solo uso que se puedan dañar si se golpean con una maza.

Vigas: Inserte el vibrador a intervalos que no excedan 6plg. [150 mm] a lo largo de la línea central de la dimensión larga del espécimen. Para especímenes más anchos de 6plg. , utilice inserciones

alternativas a lo largo de dos líneas. Permita que el eje del vibrador penetre dentro de la capa inferior aproximadamente 1plg. [25 mm].

Después de que cada capa sea vibrada, golpee los lados exteriores del molde firmemente al menos 10 veces con una maza para cerrar los huecos dejados por el vibrado y liberar los vacíos de aire atrapados.

Acabado: Realice todos los acabados con la mínima manipulación necesaria para producir una superficie uniforme plana nivelada con el borde o canto del molde y que no tenga depresiones o proyecciones mayores de 1/8plg. [3.3 mm].

Cilindros: Después de la compactación, acabe las superficies superiores nivelándolas con una varilla de compactación donde la consistencia del concreto lo permita o con una llana de mano o fratás. Si se desea, encabece la superficie superior de los cilindros recién realizados con una fina capa de pasta de cemento consistente a la que se permite endurecer y curar con el espécimen. Vea la sección de Materiales de Encabezado de la Práctica C 617.

Vigas: Después de la compactación del concreto, utilice una llana de mano o fratás para nivelar la superficie superior a la tolerancia requerida para producir una superficie uniforme, plana.

Identificación: Marque los especímenes para identificarlos efectivamente y el concreto que ellos representan. Utilice un método que no altere la superficie superior del concreto. No marque los encabezados removibles. Después de remover los moldes, marque los especímenes de ensayo para mantener sus identidades.

6.2.6. Curado

Curado Normalizado: El curado normalizado es el método de curado utilizado cuando los especímenes son realizados y curados para los propósitos indicados anteriormente.

Almacenamiento: Si los especímenes no pueden ser moldeados en el lugar donde recibirán el curado inicial, mueva los especímenes inmediatamente después del acabado al lugar de curado inicial para almacenamiento.

La superficie de apoyo sobre la cual los especímenes son almacenados debe estar nivelada dentro de 1/4 in. por ft [20 mm por m]. Si los cilindros en los moldes de un solo uso son movidos, levante y tome los cilindros de la parte inferior de los moldes con un fratás grande o dispositivo similar. Si la superficie superior es estropeada durante el movimiento al lugar de almacenamiento inicial, realice el acabado de nuevo inmediatamente.

Curado Inicial: Inmediatamente después de moldear y acabar, los especímenes deben ser almacenados por un período de hasta 48 h en un rango de temperatura entre 60 y 80 °F [16 y 27 °C] y en un ambiente que evite la pérdida de humedad de los especímenes. Para mezclas de concreto con una resistencia especificada de 6000 psi [40 MPa] o más, la temperatura del curado inicial debe estar entre 68 y 78 °F [20 y 26 °C]. Son varios los procedimientos que se pueden utilizar para mantener las condiciones de temperatura y humedad especificadas durante el período de curado inicial. Se debe utilizar un procedimiento apropiado o combinación de procedimientos. Proteja todos los especímenes de la luz directa del sol, y de dispositivos calefactores radiantes, si se utilizan. La temperatura de almacenamiento debe ser controlada utilizando dispositivos de calefacción y enfriamiento, como sea necesario. Registre la temperatura utilizando un termómetro de máxima-mínima. Si se utilizan moldes de cartón, proteja las superficies exteriores de los moldes del contacto con la arpillera mojada u otras fuentes de agua.

NOTA : Se puede crear un ambiente de humedad satisfactorio durante el curado inicial de los especímenes por uno o más de los siguientes procedimientos: (1) Sumerja inmediatamente los especímenes moldeados con tapas plásticas en agua saturada con hidróxido de calcio, (2) almacene en estructuras o cajas de madera apropiadamente construidas, (3) coloque en pozos de arena húmeda, (4) cubra con tapas plásticas removibles, (5) coloque dentro de bolsas plásticas, o (6) cubra con láminas plásticas o placas no absorbentes si se toman precauciones para evitar secado y se utiliza una arpillera húmeda dentro del cerramiento, pero evitando el contacto de la arpillera con las superficies del concreto. Se puede controlar un ambiente de temperatura satisfactoria durante el curado inicial de los especímenes por uno o más de los siguientes procedimientos: (1) utilización de ventilación, (2) utilización de hielo, (3) utilización de dispositivos enfriadores o de calefacción controlados termostáticamente, o (4) utilización de métodos de calefacción como estufas o bulbos de luz.

Curado Final:

Cilindros: Al completar el curado inicial y dentro de los 30 min después de quitar los moldes, cure los especímenes con agua libre mantenida sobre sus superficies todo el tiempo a una temperatura de 73 ± 3 °F [23 ± 2 °C] utilizando tanques de almacenamiento de agua o cuartos húmedos que cumplan con los requisitos de la Especificación C 511, excepto cuando encabece con compuesto para encabezar de mortero de sulfuro e inmediatamente antes de ensayar. Cuando encabece con compuesto para encabezar de mortero de sulfuro, los extremos del cilindro deben estar suficientemente secos para evitar la formación de bolsas de vapor o espuma debajo del encabezado o dentro del mismo mayores de 1/4 in. [6

mm] como se describe en la práctica C 617. Durante un período no mayor de 3h inmediatamente antes del ensayo, no se requiere temperatura de curado normalizado siempre que la humedad libre se mantenga en los cilindros y la temperatura ambiente esté entre 68 y 86 °F [20 y 30 °C].

Vigas: Las vigas serán curadas igual que los cilindros (vea 10.1.3.1) excepto que ellas deben ser almacenadas en agua saturada con hidróxido de calcio a 73 ± 3 °F [23 ± 2 °C] al menos 20h antes de ser ensayadas.

El secado de las superficies de la viga debe ser evitado entre que se saca del almacenamiento de agua y la finalización de los ensayos.

Nota: Cantidades relativamente pequeñas de secado de superficie en especímenes a flexión pueden producir tensiones de tracción en las fibras extremas que reducirán marcadamente la resistencia a la flexión indicada.

Curado en obra: El curado en obra es el método de curado utilizado para los especímenes realizados y curados como se indica anteriormente.

Cilindros: Almacene los cilindros en la estructura o sobre ella tan cerca como sea posible del punto de depósito del concreto representado. Proteja todas las superficies de los cilindros de los elementos de la manera más similar posible que la obra encofrada. Provea a los cilindros con el mismo ambiente de temperatura y humedad que a la obra estructural. Ensaye los especímenes en la condición de humedad resultante del tratamiento de curado especificado. Para cumplir con estas condiciones, los especímenes hechos para determinar cuándo una estructura es capaz de ser puesta en servicio deben ser quitados de los moldes al momento de quitar los encofrados de obra.

Vigas: Tan cerca como sea practicable, cure las vigas de la misma manera que el concreto en la estructura. Al final de 48 ± 4 h después del moldeo, lleve los especímenes moldeados a la ubicación de almacenamiento y sáquelos de los moldes. Almacene los especímenes que representan pavimentos de losas sobre terreno colocándolos sobre el terreno moldeado, con sus superficies superiores hacia arriba. Cubra los lados y extremos de los especímenes con tierra o arena que debe ser mantenida húmeda, dejando las superficies superiores expuestas al tratamiento de curado especificado. Almacene los especímenes que representan el concreto de la estructura tan cerca como sea posible del punto de la estructura que ellos representan, y provéalos con la misma protección de temperatura y ambiente de humedad que a la estructura. Al final del período de curado deje los especímenes en el lugar expuestos a la intemperie de la misma manera que la estructura. Saque todos los especímenes de viga del almacenamiento de obra y almacene en agua saturada de hidróxido de calcio a 73 ± 3 °F [23 ± 2 °C]

durante 24 ± 4 h inmediatamente antes del momento de ensayar para asegurar una condición uniforme de humedad entre espécimen y espécimen. Observe las precauciones dadas en 10.1.3.2 para tomar contra el secado entre el momento de sacar del curado y los ensayos.

Curado de Concreto Estructural Liviano: Cure los cilindros de concreto estructural liviano de acuerdo con la especificación C 330.

6.2.7. Transporte de los Especímenes al Laboratorio

Antes de transportar, cure y proteja los especímenes como se requiere en la Sección anterior. Los especímenes no deben ser transportados antes de al menos 8h después del fraguado final. Durante el transporte, proteja los especímenes con un material adecuado de amortiguación para evitar daño por sacudidas. Durante el tiempo frío, proteja los especímenes de congelamiento con un material de aislamiento adecuado. Evite la pérdida de humedad durante el transporte envolviendo los especímenes en plástico, arpillera mojada, rodeándolos de arena húmeda, o ajustándolos firmemente con cabezales plásticos sobre moldes plásticos. El tiempo de transporte no debe exceder las 4h.

Nota: El tiempo de fraguado puede ser medido por el Método de Ensayo C 403/C 403M.

6.3. Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, ASTM C-39.

Este ensayo permite la determinación de la resistencia a la compresión (f_c) de los especímenes cilíndricos de concreto moldeados en laboratorio o en campo u obtenidos por medio de la extracción de núcleos. Se limita a concretos con peso unitario mayor que 800 kg/m³.

6.3.1. Importancia y Aplicación

Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de los resultados de la resistencia a la compresión obtenida por medio de este ensayo, puesto que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto. Los valores obtenidos pueden depender del tamaño y la forma del espécimen, el tipo de mezcla, los procedimientos de mezclado, los métodos de muestreo, moldeo y fabricación y de la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado. El ensayo se aplica a especímenes elaborados y curados de acuerdo con las normas ASTM C 31 (3.2), ASTM C 192 (3.1), ASTM C 617 (3.9), ASTM C 1231 (3.9), C 42 (6.14-6.16) y ASTM C 873. Los resultados de este método de ensayo se usan como una base para el control de calidad de la proporción, mezclado y la

colocación del concreto, determinación del cumplimiento de especificaciones, control para la evaluación de la eficacia de aditivos y usos similares.

6.3.2. *Espécimen de Ensayo*

Los especímenes de ensayo estándar son cilindros de concreto de 150x300 mm o 100x200 mm. Pueden utilizarse cilindros de otras dimensiones, siempre y cuando cumplan con la relación Longitud/Diámetro = 2. La diferencia de diámetro de un espécimen individual con respecto a los demás no debe ser mayor que 2%. El número mínimo de especímenes es de 2 para especímenes de 150 mm de diámetro y 3 para especímenes de 100 mm de diámetro.

6.3.3. *Resumen Procedimiento*

Este método de ensayo consiste en la aplicación de una carga de compresión uniaxial a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad de carga especificada (0.25 ± 0.05 MPa/s).

La resistencia a la compresión del espécimen se calcula dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen.

6.3.4. *Requerimientos para Solicitudes*

Se debe proveer al laboratorio los especímenes y especificar claramente la fecha de moldeo y la fecha a la cual se especifica la falla. Por ejemplo: 7 días, 28 días, 56 días, etc.

Se debe especificar si los especímenes necesitan Tiempo de curado en la cámara y coronamiento. Si no se va a colocar coronamiento, la forma en que se desea que se preparen los especímenes para garantizar planicidad en sus caras (Pulido o con almohadilla de neopreno). El laboratorio no se responsabiliza por cilindros que no cumplen con la especificación.

6.3.5. *ANALISIS C DE RESULTADOS*

Seguidamente se analizan los resultados obtenidos durante el desarrollo de los ensayos de laboratorio realizados. Los datos se presentan en gráficas, las cuales permiten observar el comportamiento de los datos con base al valor promedio obtenido en cada uno de los ensayos realizados a las muestras de cemento estudiadas.

7. Diseño de Concreto para una Resistencia de 4000 PSI

La siguiente mostraremos todos los resultados de las pruebas de laboratorio de los agregados gruesos y Finos junto con los Resultados para la elaboración de un Diseño que cumpla con las normas de la ACI.

7.1 Agregado Fino (Arena)

Para la elaboración del diseño de concreto se hicieron varias pruebas al agregado Fino (Arena) para verificar la calidad de la misma, las cuales son:

- Granulometría de Arena.
- Peso Específico y Absorción de Arena.
- Peso Volumétrico Suelto.
- Equivalente de Arena.
- Colorimetría.

No.	Descripción	Muestra	
		No. 1	Especificación
1	Porcentaje Que Pasa Tamiz #:	Arena Parada Por Tamiz No. 4	
2	3/4"	**	
3	1/2"	**	
4	3/8"	**	
5	No. 4	100.00	ASTM C136-05
6	No. 8	96.00	ASTM C136-05
7	No. 10	**	
8	No. 16	75.00	ASTM C136-05
9	No. 30	21.00	ASTM C136-05
10	No. 40	**	
11	No. 50	5.00	ASTM C136-05
12	No. 100	1.00	ASTM C136-05
13	No. 200	0.50	ASTM C136-05
14	Modulo de Finura	3.02	ASTM C136-05
15	Peso Especifico (g/cm ³)	2.56	ASTM C127-88/C128-97
16	Absorción (%)	2.55	ASTM C127-88/C128-97
17	Peso Lbs/pie ³ Compactado	**	
18	Peso Lbs/pie ³ Suelto	88.88	ASTM C 29
19	Equivalente de Arena (%)	79.08	
20	Contenido de Materia Orgánica	No. 2 Apta para Concreto	

Tabla No. 20 : Tabla de pruebas de laboratorio del agregado fino (Arena de Marcovia).

7.2 Colorimetría.

A continuación, se muestra el resultado de la prueba de colorimetría en el agregado fino el cual nos da Color en carta de colores impurezas orgánicas: No. 2 el cual es apto para concreto de alta resistencias.



Figura No. 4: Comparación de colores por medio de una placa orgánica de colores

7.3 Agregado Grueso (Grava)

Para la elaboración del diseño de concreto se hicieron varias pruebas al agregado Grueso (Grava) para verificar la calidad de la misma, las cuales son:

- Granulometría de la Grava.
- Peso Específico y Absorción de la Grava.
- Peso Volumétrico Suelto.
- Peso Volumétrico Compactado.

No.	Descripción	Muestra	
			Especificación
1	Porcentaje Que Pasa Tamiz #:	Grava Reitoca	
2	3 1/2"	**	
3	3 "	**	
4	2 1/2"	**	
5	2 "	**	
6	1 1/2"	**	
7	1 "	100.00	ASTM C136-05
8	3/4"	79.00	ASTM C136-05
9	1/2"	21.00	ASTM C136-05
10	3/8"	6.00	ASTM C136-05
11	No. 4	1.00	ASTM C136-05
12	No. 8	1.00	ASTM C136-05
13	Peso Especifico (g/cm ³)	2.53	ASTM C127-88/C128-97
14	Absorción (%)	2.74	ASTM C127-88/C128-97
15	Peso Lbs/pie ³ Compactado	90.30	ASTM C 29
16	Peso Lbs/pie ³ Suelto	84.57	ASTM C 29

Tabla No. 21 : Tabla de pruebas de laboratorio del agregado Grueso (Grava de Reitoca).

8. Diseño de Concreto ACI 211.1-91. Resistencia 4000 PSI.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos en los cálculos del diseño de Concreto ACI para un concreto con resistencia de 4000 PSI con un sobre diseño de un 25%. Los datos nos muestran los datos en peso y volumen.

Origen de Agregados		GS	PV Compactado (Kg/m ³)	Propiedades	
Cemento:	TIPO GU	2.75	-		
Grava:	GRAVA NATURAL DE RIO	2.53	1,450	TM: 25mm (1")	% Abs: 2.7
Arena:	ARENA DE RIO pasada por tamiz #4	2.56	-	MF: 3.02	% Abs: 2.6
Agua:	POTABLE	1.00	-	PV: 1,000	Kg/m ³

Requisitos de Diseño	(psi)	(psi)	(Tabla A1.5.3.1)
Resistencia a los 28 días f'c, Compresión:	4,000	Flexión: 0	Revenimiento: 75-100 mm

Estimación del Agua de Mezclado y Contenido de Aire (Tabla A1.5.3.3)	Cantidad de Agua [a]	202 Kg/m ³	Contenido de Cemento [CC]= a / [a/c] = 439.1 Kg/m ³
	Aire Contenido	1.5 %	Volumen de Grava [VG] (Tabla A1.5.3.6) = 0.65 m ³
Relación Agua - Material Cementante [a/c] (Tabla 6.3.4 [a])		0.460	Contenido de Grava [CAG] = PVC x VG = 942 Kg/m ³

Volúmenes Absolutos		
Volumen de Agua [W V]	[a] / [PV] =	0.202 m ³
Volumen de Cemento [CV]	[cc] / [GSC][PV] =	0.160 m ³
Volumen de Grava [CAV]	[CAG] / [GSA][PV] =	0.372 m ³
Volumen de Aire Contenido [VØ]	%Aire x 1.00m ³ =	0.015 m ³
	Σ Total =	0.749 m ³
Volumen de Arena [FAV]	1.00m ³ - Σ Total =	0.251 m ³

Contenido de Arena en Peso [CAF]	[FAV] x [GSA] x [PV]	= 643 Kg/m ³
----------------------------------	----------------------	-------------------------

Dosificación por Peso		
Cemento	439 Kg/m ³	Proporción Cemento : Arena : Grava
Agua	202 Kg/m ³	Por Peso 1 : 1.46 : 2.15
Arena	643 Kg/m ³	Cantidad de Agua
Grava	942 Kg/m ³	5.16 US Gal / Bolsa de Cemento
Densidad de Concreto Fresco=	2,227 Kg/m ³	Proporción por Volumen

Tabla No. 22 : Tabla de Resultados de diseño de concreto ACI 211.1-91.

Mejía Ventura, H. O., & Girón Núñez, M. G. (2021). Estudio Comparativo de las características físico-mecánicas, para El Diseño de concreto de 4000 PSI mediante ensayo de Laboratorios a diferentes marcas de cementos en el Distrito Central , durante el período de Agosto a Diciembre del 2019. Junio 2021 Milímetro, Volumen VII No. 1 páginas 15-81

8.1. Revenimiento

En la Figura 5 se puede apreciar que el cementos Argos tuvo el cemento Bijao y Argos tuvieron revenimientos de 4.50 plg. Los Cementos EcoArgos, América, Ultracem tuvieron revenimientos de 4 plg. Y los cementos EcoUltracem y Wan Peng tuvieron 4.75 plg.

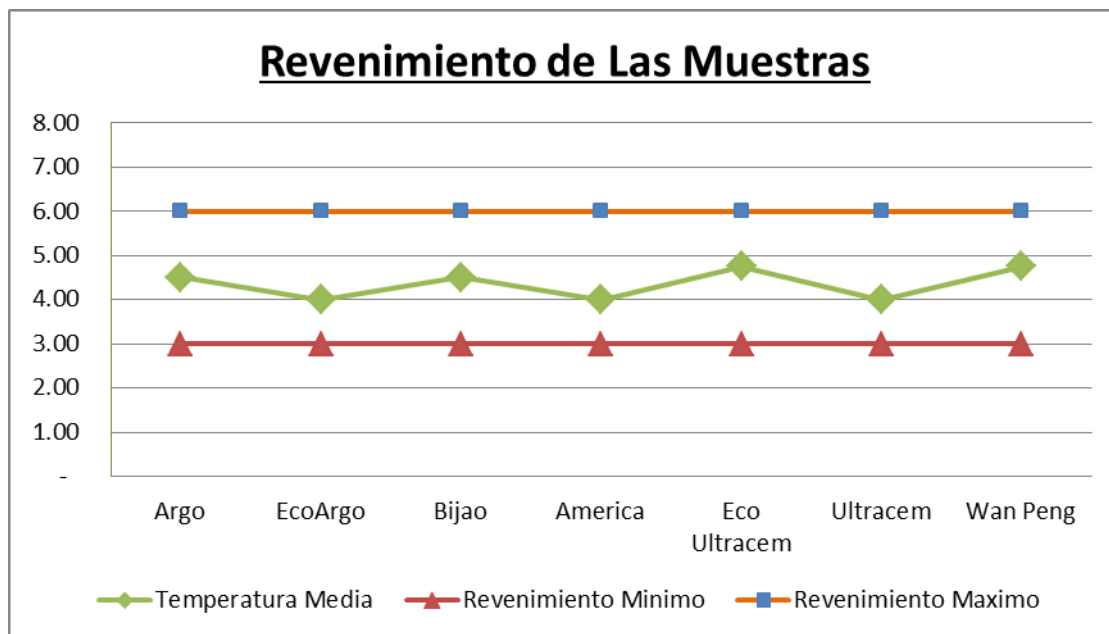


Figura No. 5: Grafica de Promedio de Revenimientos de las muestras.

8.2. Temperaturas

En la Figura No. 6 nos muestra que la temperatura más baja la tiene el cemento Argos con 28.83 °C y la temperatura más alta la obtuvo Cementos Ultracem con 31.15 °C. Los otros cementos mantienen la temperatura en el rango de 29 a 30 °C.

Ninguna de las 7 marcas de cemento sobrepasa la Temperatura Máxima de 35 °C, según el código ACI 318-14 (Ultima Versión)

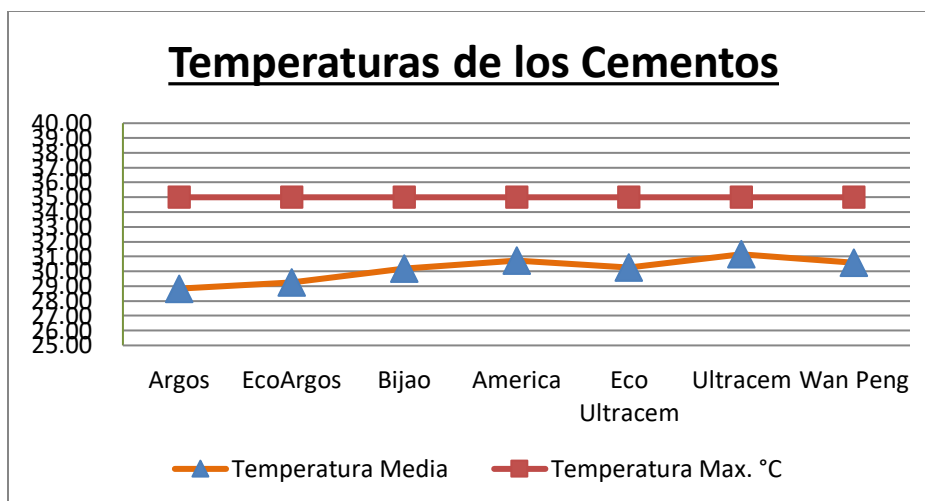


Figura No. 6: Grafica de Promedio de Temperaturas a las muestras de concreto.

8.3. Resistencia a la compresión

En la Figura 7 se muestran los resultados de las resistencias promedios obtenidas de las tres muestras que se realizaron en el laboratorio para la determinación de las resistencias a la compresión a edades de 7 y 28 días de las cuatro marcas de cemento tipo GU estudiadas.

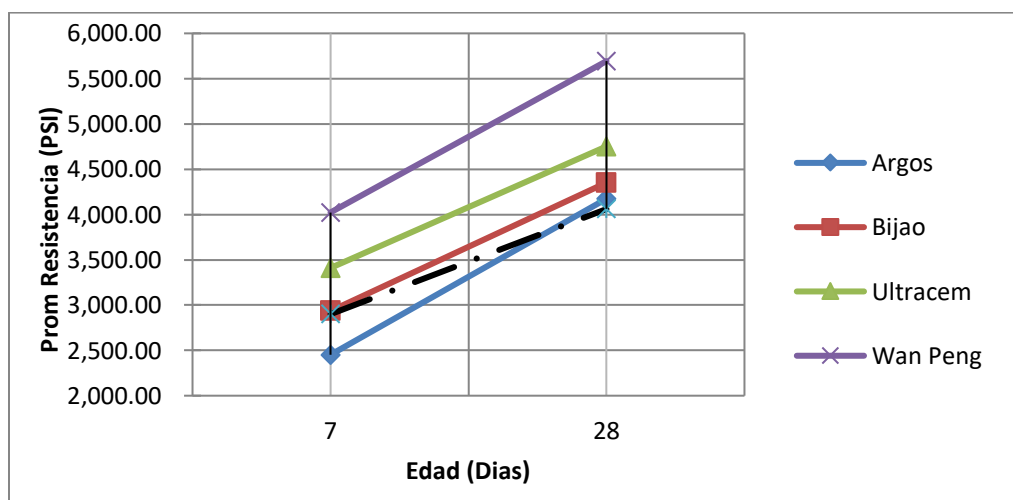


Figura No. 7: Resistencia promedio en PSI de los cuatro cementos Tipo GU

De acuerdo a la Figura 7, los cementos Argos, Bijao, Ultracem y Wan Peng tiene una diferencias de 500 PSI entre cada uno, se observa que a edades tempranas el cemento Wan Peng es el que presenta un mejor comportamiento a los 7 días mientras que a los 28 días el cemento Wan Peng tiene una diferencia de casi 1000 PSI que el cemento más cercano Ultracem, por otro lado a los 7 días se observó que el cemento Argos presentan un valor muy bajos en comparación con los demás cementos estudiados, y no cumple los valores mínimos estipulados en la norma ASTM C1157 a la edad de 7 pero a los 28 días logro alcanzar la resistencia mínima de la norma.

En cambio, en la figura 8 el cemento EcoArgos a la edad de 7 días tampoco cumple con la resistencia mínima de 2900 PSI pero a los 28 días logra alcanzar la resistencia requerida por la norma ASTM C1157.

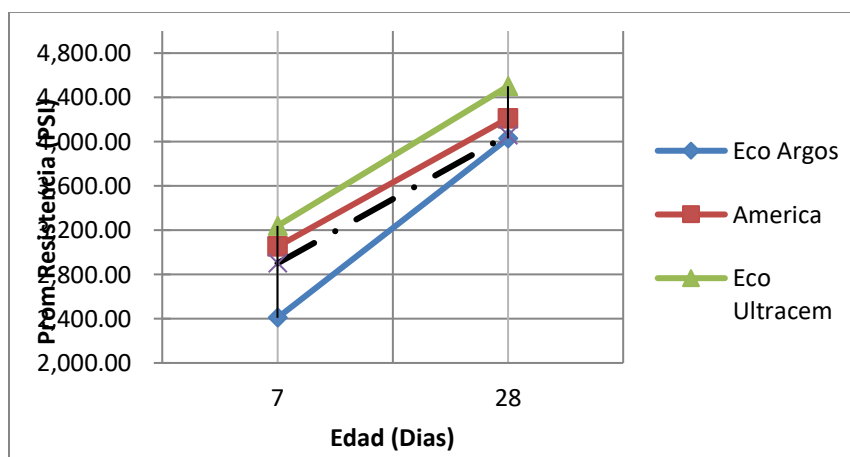


Figura No. 8: Resistencia promedio en PSI de los tres cementos económicos Tipo GU

En la figura 9 se muestran los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a una edad de 7 días para las cuatro marcas de cemento estudiados, se observa que tres marcas de cementos cumplen con los limites especificados en la ASTM C1157, que es un mínimo de 2900 PSI a una edad de 7 días. El cemento Argos presento un valor de resistencia promedio de 2,451.83 PSI, que es inferior a los 2900 PSI que establece la norma ASTM C1157.

Cemento Bijao y Ultracem a los 7 días tienen una diferencia en resistencia de 300 PSI, siendo el mayor Ultracem, también se observa que el cemento Wan Peng tiene una diferencia en resistencia de 800 PSI con respecto a Ultracem.

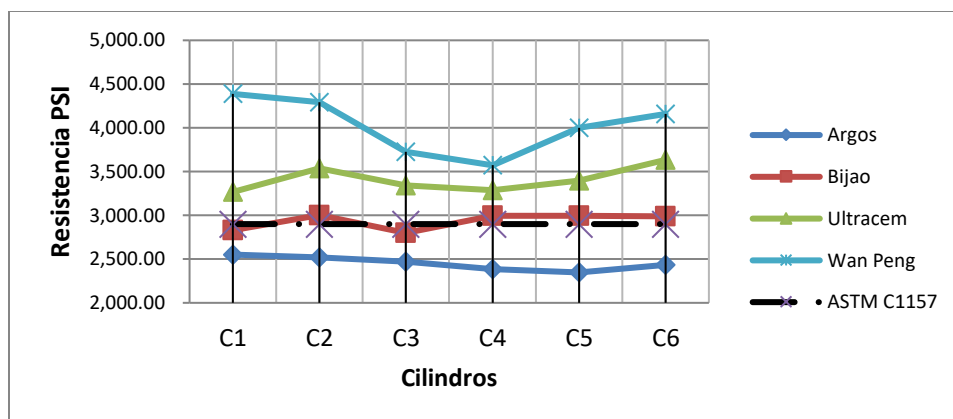


Figura No. 9: Comparación de la resistencia mecánica a la edad de 7 días de cuatro cementos tipo GU.

En la figura No. 10 se muestra que los cementos económicos como Ecoargos y parte del cemento América a la edad de 7 días están por debajo del límite que rige la norma ASTM C1157.

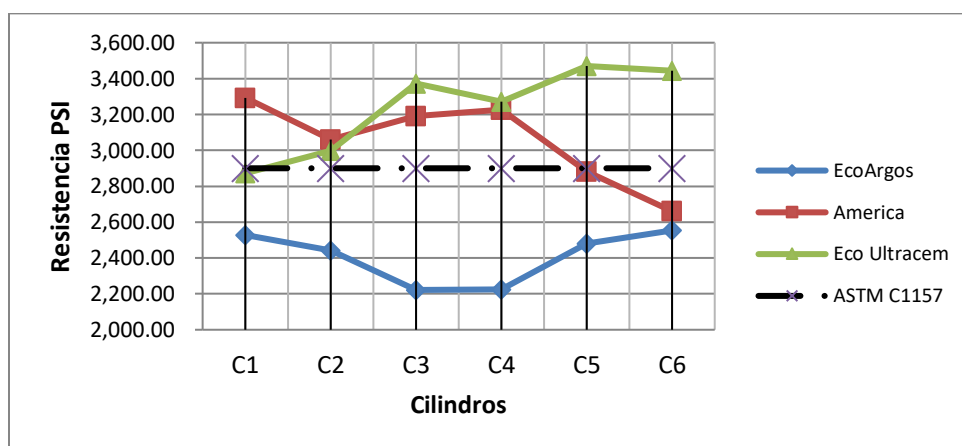


Figura No. 10: Comparación de la resistencia mecánica a la edad de 7 días de tres cementos Económicos tipo GU.

El peso unitario de los especímenes (cilindros) tiene influencia en la resistencia de cada cemento, como nos muestra la figura No. 11 donde el cemento Wan Peng y Ultracem tienen bajo peso en los cilindros, pero con mayores resistencias, en cambio los cementos Argos y Bijao tienen mayor peso en los cilindros pero más baja la resistencias.

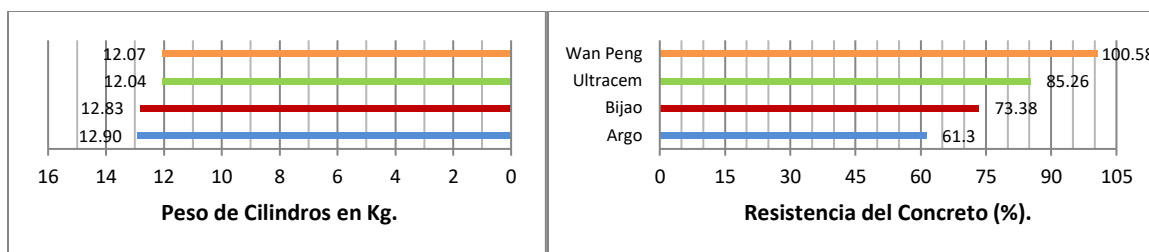


Figura No. 11: Comparación entre el peso de los cilindros y la resistencia a compresión a los 7 días de los cuatro cementos tipo GU.

En la Figura 12 las repeticiones de la resistencia del cemento, se presenta la mayor resistencia a los 28 días para el cemento Wan Peng, con un promedio 5,693.61 PSI, los cementos Argos y Bijao presentan un comportamiento similar y el cemento Ultracem presenta valores un poco arriba de los dos cementos anteriores.

Igualmente se observa que el cemento Argos presenta unos valores de resistencia a la compresión por debajo del valor mínimo de 4060 PSI que establece la norma ASTM C1157 para una edad de 28 días.

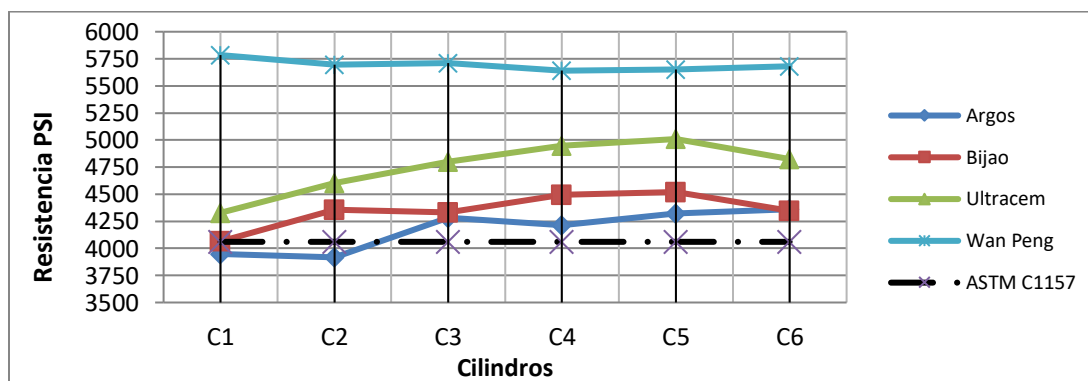


Figura No. 12: Comparación de los resultados de compresión a 28 días de los cuatro cementos tipo GU.

En la figura No. 13 podemos apreciar los comportamientos de los tres cementos económicos, el cemento Ecoargos en sus primeros tres cilindros está por debajo del límite de la Norma ASTM C1157 y el cemento América en el último cilindro también está por debajo de la norma. Pero como nos muestra la figura No. 8 el cemento Ecoargos alcanzo la resistencia 101% y América alcanzo el 105%, cumpliendo así con la resistencia de 4000 PSI a 28 días.

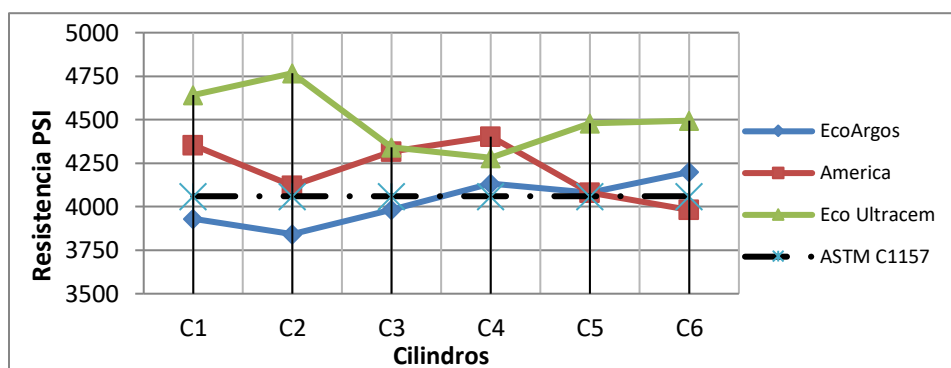


Figura No. 13: Comparación de los resultados de compresión a 28 días de los tres cementos económicos tipo GU.

En la figura No. 14 podemos comparar al igual que en la figura No. 11 que entre mas bajo sea el peso específico del cilindro mayor es la resistencia del concreto.

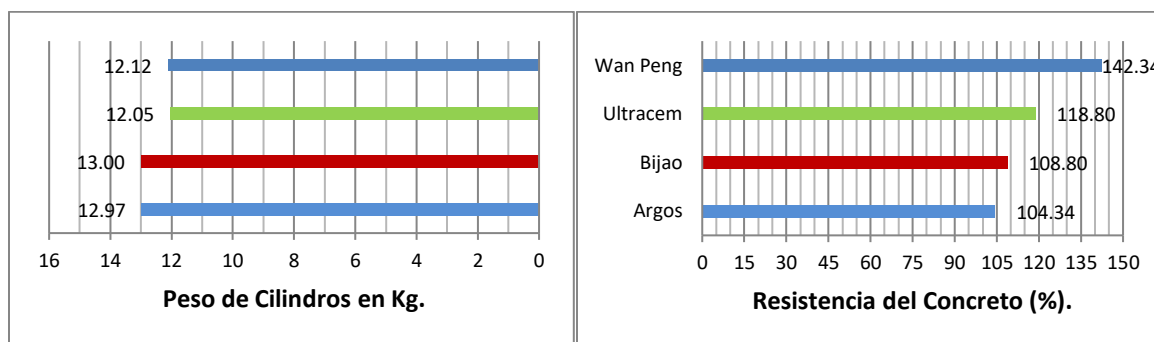


Figura No. 14: Comparación entre el peso de los cilindros y la resistencia a compresión a los 28 días de los cuatro cementos tipo GU.

9. Análisis de Varianza (ANOVA.)

Un análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente.

9.1 ANOVA de Las Tres Muestras Realizadas

Vamos a plantearnos por medio de datos estadísticos que La Hipótesis I prueba que la muestra I es igual a la Muestra II e igual a la muestra III ($H1=m1=m2=m3$) o que la Hipótesis II prueba que la muestra I es diferente a la muestra II y diferente a la muestra III ($H2=m1\neq m2\neq m3$).

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	14	62,345.24	4,453.23	381,203.69
Columna 2	14	63,879.73	4,562.84	282,972.33
Columna 3	14	64,032.90	4,573.78	291,825.35

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	124,435.18	2.00	62,217.59	0.20	0.82	3.24
Dentro de los grupos	12428,017.82	39.00	318,667.12			
Total	12552,452.99	41.00				

Tabla No. 23 : Resumen de Análisis de varianza de un factor de las 3 muestras.

Como podemos apreciar en la tabla No. 29 el valor de F es menor que el valor crítico para F esto prueba que la Hipótesis I es

verdadera ósea que los datos de la primera muestra son iguales a los datos de la muestra II y muestra III.

9.2 ANOVA de los tipos de Cemento

En esta nueva ANOVA vamos a plantearnos que la Hipótesis I prueba que la media I es igual a la media II, a la media III y a la media IV ($H1=m1=m2=m3=m4=m5=m6=m7$) o que la Hipótesis II prueba que la media I es diferente a la media II, a la media III y a la media IV ($H2\neq m1\neq m2\neq m3\neq m4\neq m5\neq m6\neq m7$).

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	6	25,042.09	4,173.68	37,647.13
Columna 2	6	26,112.13	4,352.02	26,304.71
Columna 3	6	28,512.20	4,752.03	62,901.36
Columna 4	6	34,161.66	5,693.61	2,640.84

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	8284,358.83	3.00	2761,452.94	85.30	0.00	3.10
Dentro de los grupos	647,470.17	20.00	32,373.51			
Total	8931,829.00	23.00				

Tabla No. 24 : Resumen de Análisis de varianza de un factor de las medias de los 4 tipos de cementos.

Como podemos apreciar en la tabla No. 30 el valor de F es mayor que el valor crítico para F esto prueba que la Hipótesis II es verdadera ósea que las medias de los cuatros tipos de cementos son diferentes unas con otras.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	6	24,169.08	4,028.18	17,837.88
Columna 2	6	25,257.52	4,209.59	29,414.81
Columna 3	6	27,003.18	4,500.53	33,007.20

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	681,342.24	2.00	340,671.12	12.73	0.00	3.68
Dentro de los grupos	401,299.47	15.00	26,753.30			
Total	1082641.702	17				

Tabla No. 25 : Resumen de Análisis de varianza de un factor de las medias de los 3 tipos de cementos económicos.

En la tabla No. 31 podemos ver que el valor de F es mayor que el valor crítico de F por lo tanto la Hipótesis II es verdadera ósea que las medias de los tres cementos económicos son diferentes.

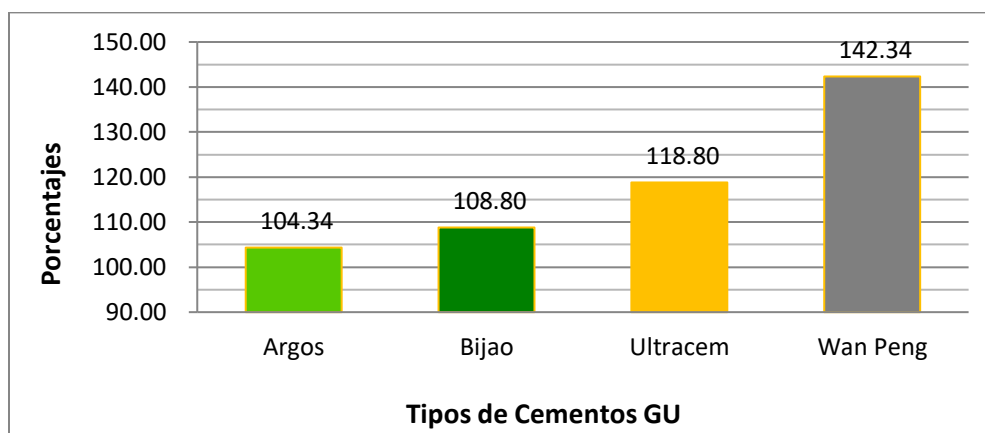


Figura No. 15: Graficas de Las Medias del concreto 4000 PSI con los cuatro tipos de Cementos Tipo GU.

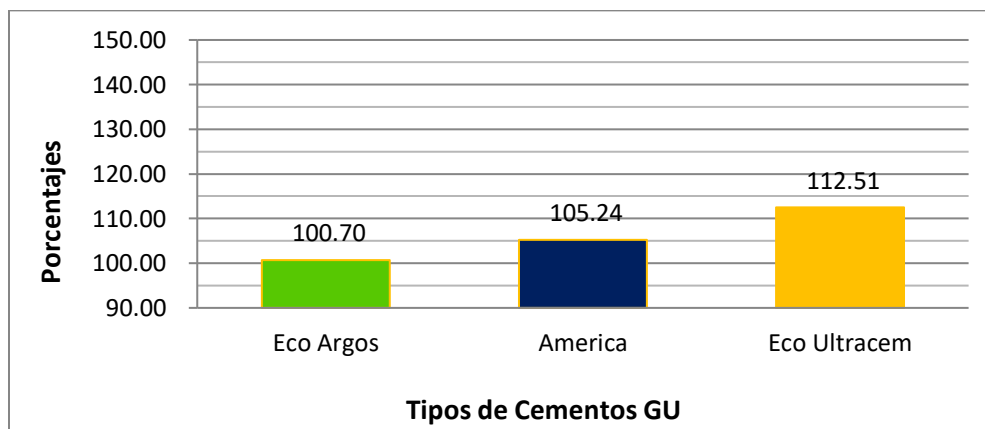


Figura No. 16: Graficas de Las Medias del concreto 4000 PSI con los tres tipos de Cementos económicos Tipo GU.

10. CONCLUSIONES

1. Para El diseño del Concreto 4000 PSI con diferentes tipos Cemento GU se le realizaron los ensayos de laboratorio a los agregados para saber si cumplen con lo estipulado en la norma ASTM C-33, y resultaron ser óptimos para utilizarlos en el diseño de concretos de alta resistencias.
2. Los 4 cementos portland tipo GU al igual que los 3 cementos portland Económicos GU tienen una diferencia de +/- 1.0 plg. De revenimiento entre cada una de ellas, esto significa que sus rangos son del 4.00 a 5.00 plg. Según Norma ASTM C143.
3. Se concluyó que los cementos con temperatura más alta lograron las resistencias mayores (Wan Peng (148%) y Ultracem (119%)) y los cementos con temperaturas más bajas obtuvieron resistencias menores. Norma ASTM C1064
4. El cemento Argos Tipo GU y el cemento económico Ecoargos tipo GU estudiados presentaron valores de resistencia bajas a los 7 días según el límite menor de 2900 PSI pero logran alcanzar la resistencia requerida de 4000 PSI a los 28 días según lo indica la norma ASTM C39.
5. Los valores de resistencias de los cuatro cementos tipo GU se encuentran en los límites admisibles a los 28 días a excepción de los valores de resistencia en todas las edades del cemento Wan Peng los cuales presentan un valor mayor al máximo de casi 1000 PSI en comparación al Cemento Ultracem que es el más cercano, estipulado por la ASTM C39.
6. Existe una relación entre el peso específicos de los cilindros el desarrollo de resistencia a las edades de 7 y 28 días al observar que los elevados pesos específicos de los cilindros del cemento Argos y Bijao coincide con la baja resistencia a la compresión de este a los 28 días.
7. Hablando estadísticamente se concluyo que el primer análisis dio como resultado que las muestras I, La muestra II y La muestra III son iguales garantizando que las tres son representativas.
8. En el segundo análisis estadístico se comprobó que las resistencias medias de cada cemento son diferentes tanto así que el cemento Wan Peng dio como efecto 1000 PSI más alto que el cemento Ultracem dando como consecuencia al cemento chino como el mejor cemento Tipo GU para obras que requieran resistencias altas.

11. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda complementar este tipo de estudios con el análisis químico de estos cementos para complementar los resultados obtenidos en este trabajo, con lo cual se puede tener una visión más clara del comportamiento de estos cementos y las razones de porque se presentan valores inusuales en la resistencia a la compresión del cemento Ultracem.
2. En este estudio se analizó el comportamiento físico-mecánico del cemento como un elemento individual por tanto se recomienda complementar el estudio del comportamiento de diferentes cementos al ser parte integral de una mezcla de concreto, puesto que como se ha comprobado en investigaciones anteriores el comportamiento del cemento al hacer parte de una mezcla de concreto puede variar ampliamente a su comportamiento como unidad individual.
3. Para elegir un cemento comercial para una construcción, la variable más importante es cómo se comporta cada una de las cuatro marcas con la que hicimos este trabajo, con el fin de que este cumpla con los parámetros establecidos del diseño que se desea realizar, y así poder utilizar lo

mejor de cada cemento respecto a la situación en la que se encuentre la zona de la obra y el tipo de edificación que se desea realizar.

4. Igualmente, en la actualidad el uso de aditivos cumple un papel fundamental en el concreto hidráulico ya que está en función de mejorar y reducir los costos de inversión en las construcciones.

12.BIBLIOGRAFÍA

1. Gutiérrez Duque, J. (1983). Estudio comparativo de la expansión de cementos mediante agujas de Le Chatelier y Autoclave. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
2. Samuel Laura Huanca. (2006). Diseño de Mezclas de Concreto. Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
3. SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Biblioteca de la Construcción, 2001 [en línea]. Editores Bhandar. Cap.6. Resistencia del Concreto y Cap. 11. Diseño de Mezclas de Concreto. ISBN 9789589247044. Disponible en Internet: <URL: <https://books.google.com.co/books?id=-6eHce4wHNYC>.
4. CEDOH. Grupos de Poder en el Sector Comercial. Disponible en Internet: <URL: http://radioprogreso.hn.cedoh.org/Biblioteca_CEDOH/archivos/00596%20Grupos%20de%20Poder%20en%20el%20Sector%20Comercial.pdf.
5. Cemento-ICPC, i. c. (1995). Resúmenes. Medellín.
6. Goma, F. (1979). El Cemento Portland y otros Aglomerantes. Barcelona: técnicos asociados.
7. Gonzáles de la Cotería S, M. (1992). Adiciones Minerales del Cemento Portland. ASOCEM, Asociación de productores de cemento.
8. Hidalgo, J. R. (2009). Componentes y procesos químicos del cemento. Innovación y experiencias educativas.
9. Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM). (2003). ASTM C 33. Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados. Philadelphia. USA.
10. Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM). (1988). ASTM C 204-84. Método para la determinación de la finura del cemento por medio del aparato Blaine de permeabilidad al aire. Philadelphia. USA.
11. Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM). (2003). ASTM C 191-01. Método para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat. Philadelphia. USA.
12. Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM). (2003). ASTM C 305-99. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50.8 mm de lado. Philadelphia. USA.
13. Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM). (2003). ASTM C 188-95. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. Philadelphia. USA.
14. Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM). (2003). ASTM C 150-67. Método de ensayo para determinar la expansión del cemento por medio de las agujas de "Le Chatelier". Philadelphia. USA.
15. Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM). (2003). ASTM C 187-98. Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico. Philadelphia. USA.
16. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2009). NTC-1486. Documentación, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá.
17. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1982). ASTM C-1157. Cemento Portland especificaciones físicas y mecánicas. BOGOTÁ D.C. 23.Kockal, N. U., & Turker, F. (2006). Effect of environmental conditions on the properties of concretes.

18. López, L. G. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Manizales: Centro de publicaciones, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.
19. Luna Ortiz, A. D. (2010). Comparación del desempeño de diferentes marcas comerciales de cemento portland CPC-30R, empleado para elaborar concreto de resistencia media. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
20. Portland Cement Asociation. (1997, julio). Portland Cement, Concrete, and heat hidratation. Illinois 60077-1083, Skokie, Estados Unidos.

3.3 ANEXOS A

A.1 Datos obtenidos en el laboratorio para ensayos del revenimiento del concreto.

Fecha de Fundicion	Tipo de Cemento	Revenimiento
28/09/2019	Argos	4.50
28/09/2019	EcoArgos	4.00
28/09/2019	Bijao	4.50
28/09/2019	America	4.00
28/09/2019	Eco Ultracem	4.75
28/09/2019	Ultracem	4.00
28/09/2019	Wan Peng	4.75

Tabla No. 26 : Revenimiento del concreto en la muestra I

Fecha de Fundicion	Tipo de Cemento	Revenimiento
02/11/2019	Argos	4.25
02/11/2019	EcoArgos	3.75
02/11/2019	Bijao	4.25
02/11/2019	America	3.75
02/11/2019	Eco Ultracem	4.50
02/11/2019	Ultracem	3.75
02/11/2019	Wan Peng	4.50

Tabla No. 27 : Revenimiento del concreto en la muestra II

Fecha de Fundicion	Tipo de Cemento	Revenimiento
04/11/2019	Argos	4.75
04/11/2019	EcoArgos	4.25
04/11/2019	Bijao	4.75
04/11/2019	America	4.25
04/11/2019	Eco Ultracem	5.00
04/11/2019	Ultracem	4.25
04/11/2019	Wan Peng	5.00

Tabla No. 28 : Revenimiento del concreto en la muestra III

A.3 Datos obtenidos en el laboratorio del peso específico de los Cilindros del concreto a los 7 días.

Fecha de Fundicion	Fecha de Ruptura	Días	Tipo de Cemento	Peso de Cilindro en Kg.
28/09/2019	05/10/2019	7	Argos	12.92
28/09/2019	05/10/2019	7		12.94
28/09/2019	05/10/2019	7	EcoArgos	12.85
28/09/2019	05/10/2019	7		12.83
28/09/2019	05/10/2019	7	Bijao	12.95
28/09/2019	05/10/2019	7		12.98
28/09/2019	05/10/2019	7	America	13.10
28/09/2019	05/10/2019	7		13.09
28/09/2019	05/10/2019	7	Eco Ultracem	13.12
28/09/2019	05/10/2019	7		13.14
28/09/2019	05/10/2019	7	Ultracem	12.02
28/09/2019	05/10/2019	7		12.03
28/09/2019	05/10/2019	7	Wan Peng	12.08
28/09/2019	05/10/2019	7		12.10

Tabla No. 29 : Peso Específico de los cilindros en la muestra I

Fecha de Fundición	Fecha de Ruptura	Días	Tipo de Cemento	Peso de Cilindro en Kg.
02/11/2019	09/11/2019	7	Argos	12.90
02/11/2019	09/11/2019	7	Argos	12.95
02/11/2019	09/11/2019	7	EcoArgos	12.77
02/11/2019	09/11/2019	7	EcoArgos	12.75
02/11/2019	09/11/2019	7	Bijao	12.91
02/11/2019	09/11/2019	7	Bijao	13.02
02/11/2019	09/11/2019	7	America	13.13
02/11/2019	09/11/2019	7	America	13.07
02/11/2019	09/11/2019	7	Eco Ultracem	13.09
02/11/2019	09/11/2019	7	Eco Ultracem	13.03
02/11/2019	09/11/2019	7	Ultracem	11.98
02/11/2019	09/11/2019	7	Ultracem	12.10
02/11/2019	09/11/2019	7	Wan Peng	12.02

Tabla No. 30 : Peso Específico de los cilindros en la muestra II

Fecha de Fundición	Fecha de Ruptura	Días	Tipo de Cemento	Peso de Cilindro en Kg.
04/11/2019	11/11/2019	7	Argos	12.85
04/11/2019	11/11/2019	7	Argos	12.84
04/11/2019	11/11/2019	7	EcoArgos	12.93
04/11/2019	11/11/2019	7	EcoArgos	12.88
04/11/2019	11/11/2019	7	Bijao	13.02
04/11/2019	11/11/2019	7	Bijao	12.08
04/11/2019	11/11/2019	7	America	13.04
04/11/2019	11/11/2019	7	America	12.31
04/11/2019	11/11/2019	7	Eco Ultracem	13.16
04/11/2019	11/11/2019	7	Eco Ultracem	13.27
04/11/2019	11/11/2019	7	Ultracem	11.96
04/11/2019	11/11/2019	7	Ultracem	12.15
04/11/2019	11/11/2019	7	Wan Peng	12.05

Tabla No. 31 : Peso Específico de los cilindros en la muestra III

A.4 Datos obtenidos en el laboratorio del peso específico de los Cilindros del concreto a los 28 días.

Fecha de Fundición	Fecha de Ruptura	Días	Tipo de Cemento	Peso de Cilindro en Kg.
28/09/2019	26/10/2019	28	Argos	12.92
28/09/2019	26/10/2019	28		12.94
28/09/2019	26/10/2019	28	EcoArgos	12.85
28/09/2019	26/10/2019	28		12.83
28/09/2019	26/10/2019	28	Bijao	12.95
28/09/2019	26/10/2019	28		12.98
28/09/2019	26/10/2019	28	America	13.10
28/09/2019	26/10/2019	28		13.09
28/09/2019	26/10/2019	28	Eco Ultracem	13.12
28/09/2019	26/10/2019	28		13.14
28/09/2019	26/10/2019	28	Ultracem	12.02
28/09/2019	26/10/2019	28		12.03
28/09/2019	26/10/2019	28	Wan Peng	12.08
28/09/2019	26/10/2019	28		12.10

Tabla No. 32 : Peso Específico de los cilindros en la muestra I

Fecha de Fundicion	Fecha de Ruptura	Días	Tipo de Cemento	Peso de Cilindro en Kg.
02/11/2019	30/11/2019	28	Argos	12.90
02/11/2019	30/11/2019	28		13.00
02/11/2019	30/11/2019	28	EcoArgos	12.85
02/11/2019	30/11/2019	28		12.94
02/11/2019	30/11/2019	28	Bijao	13.13
02/11/2019	30/11/2019	28		12.86
02/11/2019	30/11/2019	28	America	13.27
02/11/2019	30/11/2019	28		13.32
02/11/2019	30/11/2019	28	Eco Ultracem	13.16
02/11/2019	30/11/2019	28		13.27
02/11/2019	30/11/2019	28	Ultracem	12.00
02/11/2019	30/11/2019	28		11.97
02/11/2019	30/11/2019	28	Wan Peng	12.03
02/11/2019	30/11/2019	28		12.19

Tabla No. 33 : Peso Específico de los cilindros en la muestra II

Fecha de Fundicion	Fecha de Ruptura	Días	Tipo de Cemento	Peso de Cilindro en Kg.
04/11/2019	02/12/2019	28	Argos	12.96
04/11/2019	02/12/2019	28		13.11
04/11/2019	02/12/2019	28	EcoArgos	13.00
04/11/2019	02/12/2019	28		12.89
04/11/2019	02/12/2019	28	Bijao	13.02
04/11/2019	02/12/2019	28		13.04
04/11/2019	02/12/2019	28	America	12.83
04/11/2019	02/12/2019	28		13.07
04/11/2019	02/12/2019	28	Eco Ultracem	13.22
04/11/2019	02/12/2019	28		13.08
04/11/2019	02/12/2019	28	Ultracem	12.10
04/11/2019	02/12/2019	28		12.19
04/11/2019	02/12/2019	28	Wan Peng	12.12
04/11/2019	02/12/2019	28		12.19

Tabla No. 34 : Peso Específico de los cilindros en la muestra III

A.5 Datos obtenidos en el laboratorio de las rupturas de los Cilindros del concreto a los 7 días.

Fecha de Fundicion	Fecha de Ruptura	Días	Tipo de Cemento	Carga en Kg	Carga en PSI	%	Promedio
28/09/2019	05/10/2019	7	Argos	72,126.06	2,551.33	64	63
28/09/2019	05/10/2019	7		71,183.57	2,517.99	63	
28/09/2019	05/10/2019	7	EcoArgos	71,434.29	2,526.86	63	62
28/09/2019	05/10/2019	7		69,018.96	2,441.42	61	
28/09/2019	05/10/2019	7	Bijao	79,990.00	2,829.50	71	73
28/09/2019	05/10/2019	7		84,890.00	3,002.83	75	
28/09/2019	05/10/2019	7	America	93,100.00	3,293.24	82	79
28/09/2019	05/10/2019	7		86,480.00	3,059.07	76	
28/09/2019	05/10/2019	7	Eco Ultracem	81,190.00	2,871.95	72	73
28/09/2019	05/10/2019	7		84,760.00	2,998.23	75	
28/09/2019	05/10/2019	7	Ultracem	92,360.00	3,267.07	82	85
28/09/2019	05/10/2019	7		100,080.00	3,540.15	89	
28/09/2019	05/10/2019	7	Wan Peng	124049.6552	4,388.03	110	108
28/09/2019	05/10/2019	7		121301.831	4,290.83	107	

Tabla No. 35 : Resistencias de los cilindros a la compresión en la muestra I

Fecha de Fundicion	Fecha de Ruptura	Días	Tipo de Cemento	Carga en Kg	Carga en PSI	%	Promedio
02/11/2019	09/11/2019	7	Argos	69,840.00	2470.46	62	61
02/11/2019	09/11/2019	7		67,490.00	2387.34	60	
02/11/2019	09/11/2019	7	EcoArgos	62,810.00	2221.79	56	56
02/11/2019	09/11/2019	7		62,910.00	2225.33	56	
02/11/2019	09/11/2019	7	Bijao	79,130.00	2799.08	70	72
02/11/2019	09/11/2019	7		84,710.00	2996.46	75	
02/11/2019	09/11/2019	7	America	90,180.00	3189.95	80	80
02/11/2019	09/11/2019	7		91,190.00	3225.68	81	
02/11/2019	09/11/2019	7	Eco Ultracem	95,330.00	3372.13	84	83
02/11/2019	09/11/2019	7		92,510.00	3272.37	82	
02/11/2019	09/11/2019	7	Ultracem	94,420.00	3339.94	83	83
02/11/2019	09/11/2019	7		92,890.00	3285.82	82	
02/11/2019	09/11/2019	7	Wan Peng	105,390.00	3727.98	93	91
02/11/2019	09/11/2019	7		100,970.00	3571.63	89	

Tabla No. 36 : Resistencias de los cilindros a la compresión en la muestra II

Fecha de Fundicion	Fecha de Ruptura	Días	Tipo de Cemento	Carga en Kg	Carga en PSI	%	Promedio
04/11/2019	11/11/2019	7	Argos	66,360.00	2347.36	59	60
04/11/2019	11/11/2019	7		68,880.00	2436.51	61	
04/11/2019	11/11/2019	7	EcoArgos	70,110.00	2480.01	62	63
04/11/2019	11/11/2019	7		72,190.00	2553.59	64	
04/11/2019	11/11/2019	7	Bijao	84,680.00	2995.40	75	75
04/11/2019	11/11/2019	7		84,470.00	2987.97	75	
04/11/2019	11/11/2019	7	America	81,500.00	2882.91	72	69
04/11/2019	11/11/2019	7		75,220.00	2660.77	67	
04/11/2019	11/11/2019	7	Eco Ultracem	98,100.00	3470.11	87	86
04/11/2019	11/11/2019	7		97,350.00	3443.58	86	
04/11/2019	11/11/2019	7	Ultracem	95,980.00	3395.12	85	88
04/11/2019	11/11/2019	7		102,740.00	3634.24	91	
04/11/2019	11/11/2019	7	Wan Peng	113,163.08	4002.94	100	102
04/11/2019	11/11/2019	7		117,512.89	4156.81	104	

Tabla No. 37 : Resistencias de los cilindros a la compresión en la muestra III

A.6 Datos obtenidos en el laboratorio de las rupturas de los Cilindros del concreto a los 28 días.

Fecha de Fundicion	Fecha de Ruptura	Días	Tipo de Cemento	Carga en Kg	Carga en PSI	%	Promedio
28/09/2019	26/10/2019	28	Argos	111,570.00	3946.59	99	98
28/09/2019	26/10/2019	28		110,730.00	3916.87	98	
28/09/2019	26/10/2019	28	EcoArgos	111,120.00	3930.67	98	97
28/09/2019	26/10/2019	28		108,620.00	3842.24	96	
28/09/2019	26/10/2019	28	Bijao	114,890.00	4064.03	102	105
28/09/2019	26/10/2019	28		123,100.00	4354.44	109	
28/09/2019	26/10/2019	28	America	123,100.00	4354.44	109	106
28/09/2019	26/10/2019	28		116,480.00	4120.27	103	
28/09/2019	26/10/2019	28	Eco Ultracem	131,190.00	4640.61	116	118
28/09/2019	26/10/2019	28		134,760.00	4766.89	119	
28/09/2019	26/10/2019	28	Ultracem	122,360.00	4328.26	108	112
28/09/2019	26/10/2019	28		130,080.00	4601.34	115	
28/09/2019	26/10/2019	28	Wan Peng	163,520.00	5784.22	145	143
28/09/2019	26/10/2019	28		160,980.00	5694.38	142	

Tabla No. 38 : Resistencias de los cilindros a la compresión en la muestra I

Fecha de Fundición	Fecha de Ruptura	Días	Tipo de Cemento	Carga en Kg	Carga en PSI	%	Promedio
02/11/2019	30/11/2019	28	Argos	121,050.00	4281.92	107	106
02/11/2019	30/11/2019	28		119,080.00	4212.24	105	
02/11/2019	30/11/2019	28	EcoArgos	112,580.00	3982.31	100	101
02/11/2019	30/11/2019	28		116,840.00	4133.00	103	
02/11/2019	30/11/2019	28	Bijao	122,520.00	4333.92	108	110
02/11/2019	30/11/2019	28		127,030.00	4493.46	112	
02/11/2019	30/11/2019	28	America	122,070.00	4318.00	108	109
02/11/2019	30/11/2019	28		124,480.00	4403.25	110	
02/11/2019	30/11/2019	28	Eco Ultracem	122,680.00	4339.58	108	108
02/11/2019	30/11/2019	28		121,030.00	4281.22	107	
02/11/2019	30/11/2019	28	Ultracem	135,750.00	4801.91	120	122
02/11/2019	30/11/2019	28		139,890.00	4948.36	124	
02/11/2019	30/11/2019	28	Wan Peng	161,430.00	5710.29	143	142
02/11/2019	30/11/2019	28		159,450.00	5640.25	141	

Tabla No. 39 : Resistencias de los cilindros a la compresión en la muestra II

Fecha de Fundición	Fecha de Ruptura	Días	Tipo de Cemento	Carga en Kg	Carga en PSI	%	Promedio
04/11/2019	02/12/2019	28	Argos	122,230.00	4323.66	108	109
04/11/2019	02/12/2019	28		123,280.00	4360.81	109	
04/11/2019	02/12/2019	28	EcoArgos	115,400.00	4082.07	102	104
04/11/2019	02/12/2019	28		118,700.00	4198.80	105	
04/11/2019	02/12/2019	28	Bijao	127,780.00	4519.99	113	111
04/11/2019	02/12/2019	28		122,870.00	4346.30	109	
04/11/2019	02/12/2019	28	America	115,350.00	4080.30	102	101
04/11/2019	02/12/2019	28		112,550.00	3981.25	100	
04/11/2019	02/12/2019	28	Eco Ultracem	126,640.00	4479.66	112	112
04/11/2019	02/12/2019	28		127,080.00	4495.22	112	
04/11/2019	02/12/2019	28	Ultracem	141,610.00	5009.20	125	123
04/11/2019	02/12/2019	28		136,350.00	4823.13	121	
04/11/2019	02/12/2019	28	Wan Peng	159,800.00	5652.64	141	142
04/11/2019	02/12/2019	28		160,570.00	5679.87	142	

Tabla No. 40 : Resistencias de los cilindros a la compresión en la muestra III

A.7 Datos estadísticos obtenidos en el Concreto.

Cemento	Media PSI	Varianza	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	%
Argos	2,451.83	5,986.42	77.37	3.16	61.30
Eco Argos	2,408.17	21,934.05	148.10	6.15	60.20
Bijao	2,935.21	8,887.39	94.27	3.21	73.38
America	3,051.94	57,818.95	240.46	7.88	76.30
Eco Ultracem	3,238.06	61,358.30	247.71	7.65	80.95
Ultracem	3,410.39	21,640.75	147.11	4.31	85.26
Wan Peng	4,023.04	102,811.91	320.64	7.97	100.58

Tabla No. 41 : Datos Estadísticos del concreto a 7 días

Cemento	Media PSI	Varianza	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	%
Argos	4,173.68	37,647.13	194.03	4.65	104.34
Eco Argos	4,028.18	17,837.88	133.56	3.32	100.70
Bijao	4,352.02	26,304.71	162.19	3.73	108.80
America	4,209.59	29,414.81	171.51	4.07	105.24
Eco Ultracem	4,500.53	33,007.20	181.68	4.04	112.51
Ultracem	4,752.03	62,901.36	250.80	5.28	118.80
Wan Peng	5,693.61	2,640.84	51.39	0.90	142.34

Tabla No. 42 : Datos Estadísticos del concreto a 28 días.

3.4 ANEXOS B

B.1 Pruebas de Laboratorio para el Diseño de un Concreto 4000 PSI



**Cuevas
& Asociados**
INGENIEROS Y CONSULTORES

Residencial Las Radas,
Bloque 5, Lote #1, 3ra Etapa
Cofltoyaguala, Honduras
Tel: (504) 9936-2778
(504) 2263-4313
cuevasyassociadosh@gmail.com

Resumen de Agregados Para Concreto Hidráulico					HOJA
					1/1
Proyecto: Tesis					
Cliente: Ing. Max Girón					
Localización: Tegucigalpa M.D.D., Fco. Morazán					
Origen del Agregado Grueso: —					
Origen del Agregado Fino: Arena Marcovita					
No	Descripción	Muestras			Especificación
		No. 1	No. 2		
1	Porcentaje Que Pasa Tamiz #:	Arena Natural	Arena Pasada Por Tamiz No. 4	Grava Reitoca	
2	3 1/2"	**	**		
3	3"	**	**		
4	2 1/2"	**	**		
5	2"	**	**		
6	1 1/2"	**	**		
7	1"	**	**	100.00	ASTM C136-05
8	3/4"	100.00	**	79.00	ASTM C136-05
9	1/2"	95.00	**	21.00	ASTM C136-05
10	3/8"	95.00	**	6.00	ASTM C136-05
11	No. 4	93.00	100.00	1.00	ASTM C136-05
12	No. 8	89.00	96.00	1.00	ASTM C136-05
13	No. 10	**	**		
14	No. 16	70.00	73.00		ASTM C136-05
15	No. 30	19.00	21.00		ASTM C136-05
16	No. 40	**	**		
17	No. 50	4.00	5.00		ASTM C136-05
18	No. 100	1.00	1.00		ASTM C136-05
19	No. 200	0.50	0.50		
20	Módulo de Finura	3.33	3.02		ASTM C136-05
21	Peso Específico (g/cm³)	**	2.564	2.531	ASTM C127-88/ C128-97
22	Absorción (%)	**	2.55	2.74	ASTM C127-88/ C128-97
23	Peso lbs / pie³ Compactado	**	**	90.30	ASTM C 29
24	Peso lbs / pie³ Suelto	**	88.88	84.57	ASTM C 29
25	Equivalente de Arena (%)	79.08	79.08		
25	Desgaste Los Angeles Met. A (%)	**	**		
26	Desgaste Los Angeles Met. B (%)	**	**		
27	Desgaste Los Angeles Met. C (%)	**	**		
28	Contenido de Materia Orgánica	No. 2 – Apts Para Concreto	No. 2 – Apts Para Concreto		

Responsable: ING. SAMARIA TALAVERA

Aprobó: ING. WALTER CUEVAS



Fecha: 26/AGOSTO/2019

Figura No. 17: Cuadro de datos de Las pruebas realizadas a los agregados finos (Arena) y a los agregados gruesos (Grava).



**Cuevas
& Asociados**
INGENIEROS DE CEMENTO Y CONCRETO

Residencial Las Hadas,
Bloque 5, Lote #1, 3ra Etapa
Comayagüela, Honduras
Tel: (504) 9936-2778
(504) 2263-4513
icuevasyassociados@gmail.com

ENSAYO IMPUREZAS ORGÁNICAS EN AGREGADO FINO (ASTM C40)	HQIA
	1/1

Proyecto: Tesis
Cliente: Ing. Max Girón
Localización: Tegucigalpa M.D.C., Francisco Morazán
Origen del Material: Arena Marcovis

ILUSTRACIÓN



Comparación de colores por medio de una placa orgánica de colores

Color en carta de colores impurezas orgánicas: No. 2

Observaciones: Al realizar la comparación visual se observa que el color del líquido por encima de la muestra de arena se asemeja más al color No. 2 de la placa orgánica de colores, el cual nos indica que el agregado fino es apto para concreto.

Responsable: ING. SAMARIA TALAVERA

Aprobó: ING. WALTER CUEVAS



Laboratorista: GERSON VARGAS

Fecha: 22/AGO/2019

Figura No. 18: Prueba de Colorimetría al agregado Fino (Arena).



Residencial Las Flores,
Bloque S, Lote #1, 3ra Etapa
Comayagüela, Honduras
Tel: (504) 9936-2778
(504) 2263-4513
cuevasasociadosh@gmail.com

Diseño de Mezcla de Concreto Hidráulico ACI 211.1-91				HOJA	
				1/1	
Proyecto: Tesis					
Localización: Tegucigalpa					
Cliente: Max Giron				Fecha: 3/9/2019	
Método: "Práctica Estándar para Seleccionar Proporciones para Concreto Normal, de Alta Densidad y Masivo" (ACI 211.1-91)					
Origen de Agregados		GS	PV Compactado (Kg/m ³)	Propiedades	
Cemento:	TIPO GU	2.75	-		
Grava:	GRAVA NATURAL DE RIO	2.53	1,430	TM:	25mm (1") % Abs: 2.7
Arena:	ARENA DE RIO pasada por tamiz #4	2.56	-	MF:	3.02 % Abs: 2.6
Agua:	POTABLE	1.00	-	PV:	1,000 Kg/m ³
Requisitos de Diseño		(psi)	(psi)	(Tabla A1.5.3.1)	
Resistencia a los 28 días f'c, Compresión:		4,000	Flexión:	0	Revenimiento: 75-100 mm
Estimación del Agua de Mezclado y Contenido de Aire (Tabla A1.5.3.3)	Cantidad de Agua [a]	202 Kg/m ³	Contenido de Cemento [CC] = $a / [a/c] = 439.1 \text{ Kg/m}^3$		
	Aire Contenido	1.5 %	Volumen de Grava [VG] (Tabla A1.5.3.6) = 0.63 m ³		
Relación Agua - Material Cementante [a/c] (Tabla 6.3.4 (a))	0.460	Contenido de Grava [CAG] = $PVC \times VG = 942 \text{ Kg/m}^3$			
Volúmenes Absolutos					
Volumen de Agua [W V]		$[a] / [pv] = 0.202 \text{ m}^3$			
Volumen de Cemento [CV]		$[cc] / [osc][pv] = 0.160 \text{ m}^3$			
Volumen de Grava [CAV]		$[cag] / [osc][pv] = 0.372 \text{ m}^3$			
Volumen de Aire Contenido [VØ]		$\%Aire \times 1.00m^3 = 0.015 \text{ m}^3$			
		$\Sigma \text{ Total} = 0.749 \text{ m}^3$			
Volumen de Arena [FAV]		$1.00m^3 - \Sigma \text{ Total} = 0.251 \text{ m}^3$			
Contenido de Arena en Peso [CAR]					
$[FAV] \times [osa] \times [pv] = 643 \text{ Kg/m}^3$					
Dosificación por Peso					
Cemento	439 Kg/m ³	Proporción Cemento : Arena : Grava		Cemento	Arena
Agua	202 Kg/m ³	Por Peso 1 : 1.46 : 2.15		1	1.54
Arena	643 Kg/m ³			Grava	2.37
Grava	942 Kg/m ³	Cantidad de Agua		Proporción por Volumen	
Densidad de Concreto Fresco = 2,227 Kg/m ³		5.16 US Gal / Bolsa de Cemento			
Observaciones: PARA DOSIFICAR LA MEZCLA, LOS AGREGADOS Y EL AGUA DEBEN ESTAR COMPLETAMENTE LIMPIOS;					
TAMANO EFECTIVO DE GRAVA 1"					
Responsable: ING. SAMARIA TALAVERA					

Figura No. 19: Tabla de Diseño para el concreto 4000 PSI.

3.5 ANEXOS C

C.1 Marcas de Cemento tipo GU.



Figura No. 20: Cemento GU Argos (Piedra Azul).



Figura No. 21: Cemento GU Eco Argos (Multipropósitos).



Figura No. 22: Cemento Portland GU Bijao.



Figura No. 23: Cemento Portland GU América.



Figura No. 24: Cemento GU Ultracem.



Figura No. 25: Cemento GU Eco Cemento.



Figura No. 26: Cemento GU Wan Peng.

C.3 Muestras de Cilindros de todos los cementos.



Figura No. 27: Cilindros de Muestra I.



Figura No. 28: Cilindros de Muestra II.



Figura No. 29: Cilindros de Muestra III.

C.4 Muestras de Tomas de Revenimientos.



Figura No. 30: Pruebas de Revenimientos de los diferentes marcas de cementos.

C.5 Muestras de Tomas de Revenimientos.



Figura No. 31: Pruebas de Temperaturas de los diferentes marcas de cementos.

C.6 Curado Cilindros.

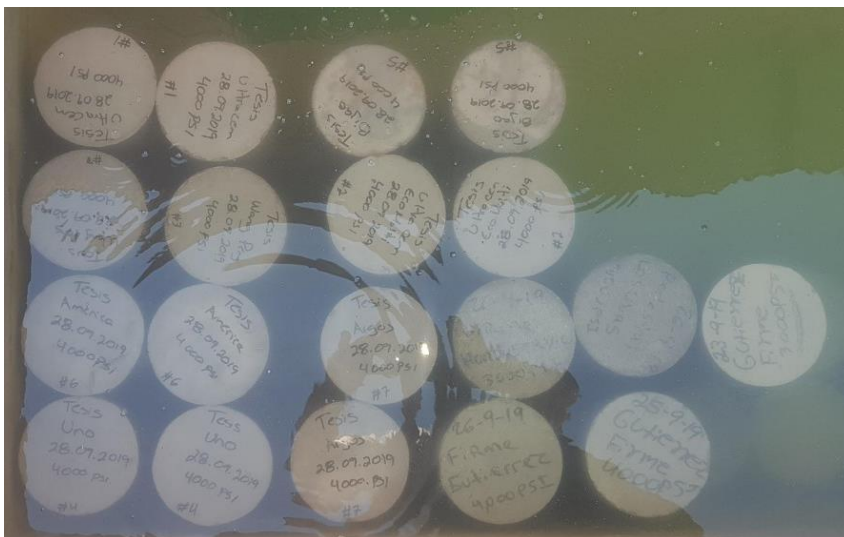


Figura No. 32: Cilindros en la pila de Curado.

C.7 Pruebas de Compresión de los Cilindros.



Figura No. 33: Cilindros de la muestra III.



Figura No. 34: Ruptura de cilindro del Cemento GU Argos.



Figura No. 35: Ruptura de cilindro del Cemento GU Eco Argos.



Figura No. 36: Ruptura de cilindro del Cemento GU Bijao.



Figura No. 37: Ruptura de cilindro del Cemento GU América.



Figura No. 38: Ruptura de cilindro del Cemento GU Eco Ultracem.



Figura No. 39: Ruptura de cilindro del Cemento GU Ultracem.



Figura No. 40: Ruptura de cilindro del Cemento GU Wan Png.