



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Máster en Ingeniería Civil con

Mención en Estructura

Tema: Determinación de la resistencia a la compresión de morteros de cemento en cubos con arista de 50 mm según su relación agua/cemento, utilizando cemento HOLCIM Tipo GU y TIPO HE, comparando su cumplimiento con la normativa NTE INEN 488:2009.

PROFESOR

MSc. Ing. Wilson Oswaldo Cando Tipán.

AUTOR

Ing. Pierre Philco

FECHA

Octubre, 2025.

Dedicatoria

A mi familia, por su amor, paciencia y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mis padres, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A quienes creyeron en mí incluso cuando el camino parecía incierto, dedico este logro con profunda gratitud.

Agradecimiento

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la culminación de este trabajo.

A mi tutor, por su orientación, sus observaciones y el acompañamiento constante durante el desarrollo de la investigación.

A mis docentes, por compartir su conocimiento y motivarme a buscar siempre la excelencia.

A mis compañeros y amigos, por su apoyo y colaboración en los momentos más exigentes.

Y especialmente a mi familia, por ser la base de mi fortaleza y el motor que me impulsó a alcanzar esta meta.

Contenido

1.	Antecedentes	10
2.	Alcance	10
3.	Justificación	11
4.	Limitaciones.....	12
5.	Objetivos	12
5.1.	Objetivo General.....	12
5.2.	Objetivos específicos.....	12
6.	Introducción	13
7.	Marco Teórico.....	14
7.1.	Concreto	14
7.3.	Mortero.....	14
7.4.	Cemento	15
7.4.1.	Cemento Portland.....	15
7.4.2.	Tipos de cementos.....	17
7.4.3.	Cementos Mezclados.....	18
7.5.	Agregados.....	25
7.5.1.	Clasificación de los Agregados	25
7.5.1.1.	Clasificación por el tamaño de los agregados	26

7.5.1.2.	Clasificación por el origen de los agregados.....	26
7.5.1.3.	Clasificación por la densidad de los agregados.....	27
7.5.2.	Propiedades de los agregados.....	27
7.5.3.	Sustancias perjudiciales.....	33
8.	Metodología y técnicas	39
8.1.	Metodología de la investigación.....	39
8.2.	Técnicas aplicadas en la investigación	39
8.2.1.	Formulación de mezcla de morteros de concreto.....	39
8.2.1.1.	Proceso de diseño	40
8.2.1.1.1.	Selección del tipo de arena.....	40
8.2.1.1.2.	Determinación de la relación agua cemento	40
8.2.1.1.3.	Selección de la consistencia	40
8.2.1.1.4.	Requerimiento de Agua.....	41
8.2.1.1.5.	Cálculo del contenido de cemento	45
8.2.1.1.6.	Contenido de agua.....	45
8.2.1.1.7.	Contenido de arena.....	46
8.2.1.1.8.	Cuadro de resumen de diseño de mezcla de mortero	46
8.2.2.	Toma de muestras de morteros de cemento	46
8.2.2.1.	Equipo	46
8.2.2.2.	Materiales.....	48

8.2.3.	Curado de muestras de mortero de cemento	50
8.2.4.	Ensayo de compresión simple de muestras de mortero de cemento	50
8.2.4.1.	Equipo	50
8.2.4.2.	Proceso de ensayo de resistencia a la compresión simple.....	51
9.	Análisis e interpretación de resultados	52
9.1.	Procesamiento y cálculo de datos	52
9.2.	Interpretación técnica estadística de resultados	54
10.	Conclusiones	62
12.	Bibliografía	69

Contenido de ilustraciones

Ilustración 1 - Resistencia a la compresión de Clinker a diferentes edades. (Sánchez de Guzmán, 2001)	18
Ilustración 2 - Partículas de cemento sin hidratar (Mantalla Rodríguez, 2019).	25
Ilustración 3 - Partículas de cemento hidratadas (Mantalla Rodríguez, 2019).	25
Ilustración 4 - Estado de humedad de los agregados (Mantalla Rodríguez, 2019).....	32
Ilustración 5 - Micro canales vacíos generados al evaporarse el agua de mezcla (Mantalla Rodríguez, 2019).....	35
Ilustración 6 - Correspondencia entre R A/C y f'c de los morteros de cemento portland tipo I y arena de forma angular y textura rugosa (Sánchez de Guzmán, 2001).	42
Ilustración 7 – K: Relación entre Porcentaje de Fluidez y R A/C (Sánchez de Guzmán, 2001)..	44

Ilustración 8 - Proceso de apisonamiento de morteros de cemento.	50
Ilustración 9 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C	
0.485-0.55 RC/AF 1:4. Valores Mínimos.	55
Ilustración 10 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento HE. R A/C	
0.485-0.55 RC/AF 1:4 Valores Mínimos.	55
Ilustración 11 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C	
0.485-0.55 RC/AF 1:2.75. Valores Mínimos.	56
Ilustración 12 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento HE. R A/C	
0.485-0.55 RC/AF 1:2.75. Valores Mínimos.	56
Ilustración 13 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C	
0.485-0.55 RC/AF 1:4. Valores Máximos.	57
Ilustración 14 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C	
0.485-0.55 RC/AF 1:2.75. Valores Máximos.	57
Ilustración 15 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento HE. R A/C	
0.485-0.55 RC/AF 1:4. Valores Máximos.	58
Ilustración 16 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento HE. R A/C	
0.485-0.55 RC/AF 1:2.75. Valores Máximos.	58
Ilustración 17 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C	
0.485, RC/AF 1:4.	59
Ilustración 18 - Ilustración 17 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento	
GU. R A/C 0.55, RC/AF 1:4.	59
Ilustración 19 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento HE R A/C	
0.485, RC/AF 1:4.	60

Ilustración 20 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento HE R A/C 0.55, RC/AF 1:4.....	60
Ilustración 21 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C 0.485, RC/AF 1:2.75.....	61
Ilustración 22 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C 0.55, RC/AF 1:2.75.....	61
Ilustración 23 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento HE. R A/C 0.485, RC/AF 1:2.75.....	62
Ilustración 24 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C 0.55, RC/AF 1:2.75.....	62

Contenido de tablas

Tabla 1 - Límites de Composición aproximados para cemento Portland Tipo I (Rivera L., 2002).	16
Tabla 2 - Composición típica calculada de los diferentes tipos de cemento Portland (Rivera L., 2002).....	18
Tabla 3 - Resistencia relativa aproximada del concreto según el tipo de cemento Portland (Rivera L., 2002).....	20
Tabla 4 - Calor liberado por los distintos compuestos del cemento para varias edades. (Sánchez de Guzmán, 2001)	22
Tabla 5 - Clasificación de los agregados según su tamaño (Mantalla Rodríguez, 2019) (Sánchez de Guzmán, 2001).	26
Tabla 6 - Clasificación del agregado según su densidad (Sánchez de Guzmán, 2001). ...	27

Tabla 7 - Tamaño de tamices para agregados de concreto (Mantalla Rodríguez, 2019)..	28
Tabla 8 - Rangos de porcentaje de material pasante para el agregado fino (Mantalla Rodríguez, 2019).....	30
Tabla 9 - Impurezas admisibles del agua para mezclas del concreto según la PCA (Mantalla Rodríguez, 2019).	37
Tabla 10 - Consistencia del Mortero (Sánchez de Guzmán, 2001).	41
Tabla 11 - Valores de b para distintas consistencias y módulos de finura (Sánchez de Guzmán, 2001).....	43
Tabla 12 - Cuadro de resumen de diseño de mezcla de mortero $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	46
Tabla 13 - Tolerancias admisibles en moldes para mortero de cemento (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).	47
Tabla 14 - Dimensiones del Pisón.	48
Tabla 15 - Dosificación de muestras de mortero de cemento Portland (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).	49
Tabla 16 - Procedimiento de elaboración de probetas de mortero de cemento (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).	50
Tabla 17 - Aspectos en consideración respecto a la máquina de compresión simple de probetas (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).	51
Tabla 18 - Proceso de ensayo a la compresión de morteros de cemento.	52
Tabla 19 - Resistencia a la Compresión de Probetas Cúbicas de Cemento, según su tipo R A/C y R C/AF.	54

Contenido de ecuaciones

Ecuación 1 - Cantidad de calor liberada del Cemento.....	21
Ecuación 2 - Requerimiento de agua de la pasta de cemento (Sánchez de Guzmán, 2001).....	41
Ecuación 3 – Determinación del factor b (Sánchez de Guzmán, 2001).	43
Ecuación 4 - Determinación del factor n (Sánchez de Guzmán, 2001).	44
Ecuación 5 - Determinación del contenido de cemento (Sánchez de Guzmán, 2001).	45
Ecuación 6 - Contenido de agua (Sánchez de Guzmán, 2001).	45
Ecuación 7 - Contenido de arena (Sánchez de Guzmán, 2001).	46

1. Antecedentes

El mortero es un material mixto compuesto por arena, cemento y agua, ocasionalmente compuesto de agregado grueso de un tamaño máximo nominal menor a 3/8 de pulgada. En Ecuador se puede encontrar múltiples investigaciones acerca de las diversas técnicas en cuanto al hormigón normal respecta, pero esta realidad no acompaña al estudio de morteros en el país, ya que es un elemento poco valorado, pese a tener aplicaciones importantes en algunos casos con propiedades ignífugas, impermeabilizantes, selladoras, entre otras de interés para el mundo de la construcción.

Según la cámara de la construcción CAMICON, un 40% del cemento del mercado se destina a fabricar mortero con diversas aplicaciones como el pegado de bloque (60%), enlucido y revoque (20%), acabados (10%) y un porcentaje pequeño para otras aplicaciones (menor al 10%). Motivo por el cual es imperante conocer su comportamiento y generar marco normativo que guíe al usuario para que de esta forma logre producir morteros de cemento de mejores prestaciones y más económicos.

2. Alcance

El documento tiene como finalidad la de comparar los resultados de la normativa existente que permite trabajar solamente con Cemento Portland con o sin aditivos añadidos, con un estudio que obtendrá resistencias de probetas cúbicas de mortero de concreto con aristas de 50 mm, basadas en una mezcla de arena de sílice graduada normalizada según la NTE INEN 873 y cementos de la marca Holcim TIPO GU (sacos normales) y TIPO HE (usados generalmente para la fabricación industrial), sin ningún tipo de aditivos añadidos en su composición. Esto se logrará con 36 probetas cúbicas. Cabe destacar que la resistencia obtenida evaluará la aprobación o no de

los resultados, y al no tratarse de una tesis de hipótesis, tampoco buscará ser un texto guía o base de datos para estudios posteriores de resistencias en ensayos similares.

Este estudio tiene como principal contribución la comparación de los resultados obtenidos con la normativa vigente en relación con los cementos empleados, lo que permitirá evaluar su adecuación actual y proponer posibles mejoras en su desempeño. De esta manera, se busca aportar una perspectiva innovadora que contribuya al desarrollo y optimización de los materiales utilizados en el sector.

3. Justificación

Conocer la resistencia obtenida de probetas cúbicas de mortero es de mucha importancia, el estudio utiliza dos tipos de cemento existentes en el mercado ecuatoriano, los cuales son el cemento Holcim Tipo GU y Holcim Tipo HE, mismos que tienen una composición química diferente e incluso el fin constructivo para que se usa cada uno de estos tipos de cementos. Dichos resultados, que sin duda serán diferentes, se compararán con los valores de la normativa existente que trata acerca de la elaboración y ensayo de probetas cúbicas de morteros, esto generará un punto de partida en base a datos relevantes, para que sea usado en futuros ensayos, se optimice el diseño de mezclas de morteros de cemento y que cumplan con estándares de calidad requeridos en el ámbito de la construcción.

El presente análisis es relevante para optimizar el uso de materiales en la construcción ecuatoriana, al considerar la amplia disponibilidad y las diversas características de los cementos Holcim en relación con las normas actuales. Esto permitirá identificar oportunidades de mejora y promover un uso más eficiente de los recursos disponibles, contribuyendo al desarrollo sostenible del sector de la construcción en el país.

4. Limitaciones

La falta de muestras significativas en este tipo de estudios es la principal limitante, ya que por normativa y experiencia se conoce que los resultados obtenidos de una muestra pequeña, pueden catalogarse como resultados particulares de un caso en específico simplemente, surge entonces la necesidad de un universo de muestras mucho más grande, de este modo no pretende ser un documento técnico de sustento, sino más bien una guía de generación de resultados de resistencia de morteros de cemento tipo GU y HE, es imperioso que el texto sea tomado con cautela y se genere una muestra significativa mayor para obtener resultados fiables.

Este documento busca determinar la resistencia de probetas cúbicas de mortero de cemento realizadas con relación de masa conocida (1 parte de cemento/ 2,75 partes arena sílice graduada), una relación Agua/Cemento basados en la normativa ecuatoriana ya existente misma que es la NTE INEN 488:2009.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Determinar y comparar la resistencia a la compresión de morteros de cemento elaborados con cubos de arista de 50 mm, utilizando los cementos Holcim Tipo GU y HE, en función de diferentes relaciones agua/cemento, evaluando su cumplimiento con los requisitos establecidos en la normativa NTE INEN 488:2009.

5.2. Objetivos específicos

Identificar las distintas relaciones $A/(C+P)$ y su influencia en la resistencia a la compresión de probetas cúbicas de mortero de cemento.

Comparar las propiedades y desempeño físico-mecánico de las probetas de mortero de concreto fabricadas con cemento tipo GU y HE.

Comprobar si los resultados de las probetas de mortero de cemento fabricadas cumplen con los requisitos mínimos especificados en la NTE INEN 488:2009, mediante la comparación de la resistencia a la compresión obtenida en diferentes relaciones agua/cemento con los valores establecidos en la normativa.

Interpretar los resultados obtenidos y proponer recomendaciones de mejora de diseño de mezclas de mortero fabricadas con los distintos tipos de cemento especificados.

6. Introducción

El ensayo de la compresión de morteros, es un parámetro de evaluación riguroso del comportamiento que tienen los diversos materiales empleados para su elaboración. Sin embargo, la normativa ecuatoriana en sus acápites contempla solamente el uso de cemento portland con o sin aditivos (sin ser muy específica en cuánto a qué características y composición química específica debería tener este tipo de cemento), cómo lo es el caso del cemento Holcim Tipo GU, que es un cemento hidráulico de uso general con cumplimiento de la normativa INEN 2380, pero no contempla el uso de otro tipo de cemento como lo es el cemento tipo IP, o en este particular el cemento Holcim Tipo HE que es un cemento de Clinker de cemento portland, yeso y adiciones de puzolanas naturales, que tiene la propiedad de acelerar el proceso de fraguado para que la resistencia sea mayor a edades tempranas tanto del concreto o en este caso mortero. Por lo que, en este documento se determinará la resistencia a la compresión de 36 cubos de mortero de cemento y arena de sílice graduada con arista de 50mm, según una relación $A/[C+P]$ determinada por la

normativa NTE INEN 488:2009 y se contrastará sus resultados con la normativa especificada para determinar su cumplimiento.

La inclusión de este tipo de cemento en la normativa vigente podría contribuir significativamente a ampliar las alternativas disponibles en el diseño de morteros y concretos. Esto permitiría mejorar el desempeño de los materiales utilizados en la construcción en Ecuador, optimizando su calidad y adaptabilidad a las necesidades específicas del sector, además de fomentar un uso más eficiente de los recursos locales.

7. Marco Teórico

7.1. Concreto

Material compuesto por agua, cemento, agregado grueso y agregado fino, que al mezclarse generan una reacción química misma que genera temperatura (calor de hidratación) y endurece adquiriendo una resistencia determinada (Mantalla Rodríguez, 2019).

7.2. Curado

Son todas las acciones, así como las condiciones necesarias para asegurar que el cemento se hidrata en su totalidad, sin que vea interrumpido este proceso químico y de esta manera el concreto o mortero pueda alcanzar el máximo y mejor desempeño de sus propiedades intrínsecas, generalmente para alcanzar un curado adecuado los parámetros a cuidar son la humedad y la temperatura (Sánchez de Guzmán, 2001).

7.3. Mortero

Es una mezcla uniforme de cemento Portland, arena y agua, utilizada principalmente como material de unión o para ensayos de laboratorio que evalúan las propiedades del cemento. Su

resistencia y comportamiento dependen de factores como la relación agua–cemento, la distribución granulométrica del agregado fino y las condiciones de curado. En los ensayos normalizados, suele prepararse con una proporción 1:2.75 (cemento:arena) según lo establecido en la norma ASTM C109, lo que permite determinar la resistencia a la compresión de manera controlada y reproducible. Este tipo de mortero representa un modelo simplificado que refleja el desempeño del cemento en mezclas reales, sirviendo como un indicador confiable de su calidad y uniformidad en condiciones estandarizadas.

7.4. Cemento

Es un material fino conformado por óxido de calcio, se compone principalmente de sílice, alúmina y óxido de hierro. Al adicionarle agua forma un tipo de pasta que se endurece generando la propiedad mecánica de resistencia que lo caracteriza y lo sitúa como el material de mayor consumo en el mundo de la construcción (Rivera L., 2002).

7.4.1. Cemento Portland

Es un material fino pulverizado en base al Clinker de Portland (de donde viene su nombre), mismo que al adicionarle uno o varias formas del compuesto químico llamado sulfato de calcio, además puede tener componentes adicionales añadidos, siempre y cuando esta adición no resulte en detrimento de la calidad del cemento. Todos estos aditamentos deberán ser pulverizados en conjunto con el Clinker de Portland (Rivera L., 2002).

Composición química del Cemento Portland: Este material está conformado por los siguientes componentes químicos, luego de haber sido sometido a altas temperaturas en horno:

Compuesto	Fórmula
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$

Silicato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$
Aluminiato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$
Aluminoferrito tetracálcico	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$

Tabla 1 - Límites de Composición aproximados para cemento Portland Tipo I (Rivera L., 2002).

Los compuestos mencionados a continuación y su porcentaje, hacen que el cemento portland tenga un comportamiento distinto, como lo dice Rivera L., 2002 en su libro acerca de la Tecnología del Concreto y el Mortero, estos compuestos tienen efectos importantes en los ordenamientos atómicos, formas cristalinas y las propiedades hidráulicas, y son denotados a continuación:

- **Silicato dicálcico (C2S):** Endurecimiento lento, su resistencia aumenta significativamente en aproximadamente 7 días después de su hidratación, después de 180 días se ha determinado que solo el 50% de la composición ha reaccionado (Rivera L., 2002).
- **Silicato tricálcico (C3S):** Endurecimiento rápido, fraguado inicial inmediato, según aumenta su porcentaje aumenta también la resistencia inicial (Rivera L., 2002).
- **Aluminato tricálcico (C3A):** Alta liberación de calor en el fraguado inicial y días iniciales, su hidratación ocurre en los primeros días aproximadamente, lo cual contribuye a una mayor resistencia en edades tempranas. Un cemento que tenga menos contenido de C3A, tiene mayor resistencia a los sulfatos (Rivera L., 2002).
- **AluminoFerrito Tetracálcico (C4AF):** Reduce de forma significativa la temperatura de calcinación en el horno, proceso a través del cual se simplifica el proceso de producción de concreto. Una propiedad principal, es su rápida hidratación (en los 3 días iniciales), pero en realidad no ayuda a que la mezcla aumente en resistencia (Rivera L., 2002).

Algunos compuestos como Na_2O y K_2O (Álcalis), puede afectar negativamente al concreto, a tal punto disminuir la rapidez con la que se alcanza resistencias tempranas e incluso pueden desintegrar el concreto, por lo que el cemento tipo portland debe tener limitaciones en cuanto a su contenido (Rivera L., 2002).

Para determinar la calidad de cemento, bastaría con conocer el residuo insoluble que es una medida de adulteración del cemento por impurezas de yeso que no debe ser mayor al 3% de la masa total (cementos tipo 2, 3, 4 y 5). Otro parámetro sería la pérdida al fuego que es una medida de carbonatación e hidratación del cemento producto de su exposición a la atmosfera. En cementos de tipo 4 su máximo permitido es de 3.5%, para el resto se admite hasta el 4% de pérdida al fuego a 1000°C.

7.4.2. Tipos de cementos

Como se mencionó en apartados anteriores la cantidad de estos compuestos en el cemento modifican el comportamiento del mismo, por lo que se puede dividir en varios tipos, con sigue a continuación (Rivera L., 2002):

- **Cemento portland tipo 1:** Para hormigón común, no tiene comportamiento especial.
- **Cemento portland tipo 1-M:** Para hormigón común, no tiene comportamiento especial, mayor resistencia que le cemento tipo 1.
- **Cemento portland tipo 2:** Para hormigón que estará expuesto a la acción moderada de sulfatos y moderado calor de hidratación.
- **Cemento portland tipo 3:** Para altas resistencias iniciales.
- **Cemento portland tipo 4:** Para bajos calores de hidratación.
- **Cemento portland tipo 5:** Para alta resistencia a la acción de los sulfatos.

A continuación, se presentará la concentración de cada compuesto, dada la clasificación de los tipos de cemento:

Tipos de Cemento Portland	Composición [%]				Finalidad
	C2S	C3S	C3A	C4AF	
1. Normal – UG (GU)	24	50	11	8	Estructuras de concreto en general. Todos aquellos elementos, donde no se requieran propiedades especiales del cemento.
2. Moderado – MRS (MS)	33	42	5	13	Elementos destinados a drenaje, en el cuál los efectos del agua (freática, infiltración) con concentración de sulfatos son moderados, también se puede utilizar en elementos con masa moderada como muros.
3. Alta Resistencia Inicial – ART (HE)	13	60	12	8	Para estructuras que requieran desencofrado rápido o que requieran soportar solicitaciones rápidamente.
4. Bajo calor de hidratación – BCH (LH)	50	26	5	12	Especialmente diseñado para estructuras de concreto masivo, dónde la temperatura interior tiene una gran diferencia con la temperatura exterior.
5. Alta Resistencia a los sulfatos – ARS (HS)	40	40	4	9	Estructuras que tengan una alta exposición a sulfatos, especialmente las que se encuentren soterradas.

Tabla 2 - Composición típica calculada de los diferentes tipos de cemento Portland (Rivera L., 2002).

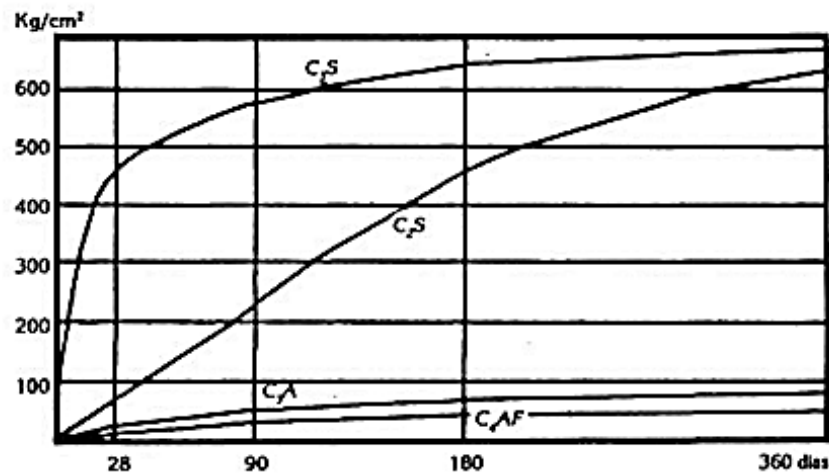


Ilustración 1 - Resistencia a la compresión de Clinker a diferentes edades. (Sánchez de Guzmán, 2001)

7.4.3. Cementos Mezclados

Los cementos mezclados por su parte se consiguen a través de la mezcla del cemento portland con elementos inorgánicos, dichos elementos inorgánicos modifican también sus propiedades, entre los elementos inorgánicos más usados están las puzolanas, escorias y calizas en su variedad, los fines de uso se mostrarán a continuación (Mantalla Rodríguez, 2019):

Cemento Pórtland de escoria de alto horno - IS: Para la construcción en general. El porcentaje de contenido de escoria se encuentra en el rango del 25% al 70%, de cemento. Sus propiedades pueden se modifican para tener un contenido mayor de aire (A), resistencia moderada a los sulfatos (MS), calor de hidratación moderado (MH) (Mantalla Rodríguez, 2019).

Cemento Pórtland Puzolánico:

Cemento IP: Para la construcción en general. El porcentaje de contenido de puzolana se encuentra en el rango del 15% al 40%, de la masa total de cemento. Sus propiedades se modifican para tener un contenido mayor de aire (A), resistencia moderada a los sulfatos (MS), calor de hidratación moderado (MH) (Mantalla Rodríguez, 2019).

Cemento P: Proyectos que no requieran altas resistencias tempranas. El porcentaje de contenido de puzolana se encuentra en el rango del 15% al 40%, de la masa de cemento. Sus propiedades se modifican para tener un contenido mayor de aire (A), resistencia moderada a los sulfatos (MS), calor de hidratación bajo (LH) (Mantalla Rodríguez, 2019).

Cemento Pórtland modificado con puzolana - I(PM): Construcciones de cemento en general, surge por la mezcla entre cemento portland (y sus variantes) con una puzolana. El porcentaje de contenido de puzolana es menor al 15% de la masa de

cemento. Sus propiedades se modifican para tener un contenido mayor de aire (A), resistencia moderada a los sulfatos (MS), calor de hidratación moderado (MH) (Mantalla Rodríguez, 2019).

Cemento de escoria – S: Es una combinación de escoria de alto horno, cemento portland y cal hidratada, puede usarse con cemento para fabricar concreto, o con cal hidratada para fabricar mortero. El porcentaje de escoria debe ser superior al 70% y podría incluir aire (A) (Mantalla Rodríguez, 2019).

Cemento Portland con escoria – I(SM): Para la construcción en general. Es una combinación de escoria fina de alto horno con cemento Pórtland. El porcentaje de escoria debe ser menor al 25%. Sus propiedades se modifican para tener un contenido mayor de aire (A), resistencia moderada a los sulfatos (MS), calor de hidratación moderado (MH) (Mantalla Rodríguez, 2019).

Adicionalmente, en una tabla, se presentarán los valores de resistencia del concreto, según la edad alcanzada:

Tipos de Cemento Portland	Composición [%]			
	1 día	7 días	28 días	90 días
1. Normal	100	100	100	100
2. Moderado	75	85	90	100
3. Alta Resistencia Inicial	190	120	110	100
4. Bajo calor de hidratación	55	55	75	100
5. Resistencia a los sulfatos	65	75	85	100

Tabla 3 - Resistencia relativa aproximada del concreto según el tipo de cemento Portland (Rivera L., 2002).

7.4.4. Propiedades del cemento

Son todas aquellas características que dotan de un comportamiento determinado al cemento. Motivo por el cual se deben determinar con precisión, mismas que pueden recopilarse a través de ensayos sobre el cemento puro, pasta de cemento, mortero e incluso en el concreto (Sánchez de Guzmán, 2001).

Hidratación: Proceso mediante el cual el cemento actúa con el agua, para desarrollar propiedades conglomerantes, por lo que el forman nuevos componentes que se endurecen en un tiempo determinado. El C3S (alita) contribuye al hidratarse más rápido contribuye en su mayoría la resistencia inicial, es el principal compuesto que genera el endurecimiento de la pasta de cemento, el C2S (belita) genera un desarrollo de resistencia más retardada, su desarrollo puede darse a los 7 días hasta el año de maduración, Por otra parte el C3A (Aluminiato), es el compuesto promueve el fraguado y produce calor, aporta a la resistencia de las 24 horas iniciales, si se usa sin control puede realizar cambios volumétricos y vulnerabilidad antes sulfatos. El C4AF (Ferrita) es un catalizador, no aporta en general al desarrollo de resistencia. (Mantalla Rodríguez, 2019).

Calor de Hidratación: Es la cantidad de calor generada producto de la reacción química del agua y el cemento, la energía liberada se da por los compuestos principales que constituyen el tipo de cemento empleado. La cantidad de calor liberada se puede medir al hidratar cada uno de los compuestos del cemento y sumarlos, se puede definirlo a través de la siguiente expresión (Sánchez de Guzmán, 2001).

$$CH = 136 \cdot (\%C_3S) + 62 \cdot (\%C_2S) + 200 \cdot (\%C_3A) + 30 \cdot (\%C_4AF) \left[\frac{cal}{g} \right]$$

Ecuación 1 - Cantidad de calor liberada del Cemento.

En cuanto a la cantidad de energía liberada según los tipos de cemento y comprobando con la ecuación anteriormente planteada se puede obtener la siguiente tabla.

Tiempo	7 [días]	28[días]	6 [meses]	Hidratación Total
Compuesto	Calor Liberado [cal/g]			
C3S	110	120	120	120
C2S	20	45	60	62
C3A	185	205	207	207
C4AF	40	50	70	100

Tabla 4 - Calor liberado por los distintos compuestos del cemento para varias edades. (Sánchez de Guzmán, 2001)

Densidad: Es la relación que existe entre la masa y el volumen que ocupa dicha masa de cemento. Generalmente para cemento Portland sin adiciones se encuentra en un rango de $3.10 - 3.15 \text{ [g/cm}^3\text{]}$, y los que cuentan con adiciones podrían encontrarse en el rango de $3.00 - 3.10 \text{ [g/cm}^3\text{]}$ (Sánchez de Guzmán, 2001). Cabe recalcar, la necesidad de diferenciar la densidad suelta que es la relación entre la masa y el volumen de cemento, pero incluye el aire entre partículas, generalmente es usado cementos a granel cuando se requiere calcular el volumen máximo que ocupa una masa determinada (Mantalla Rodríguez, 2019).

Finura: Es la fineza del grano de cemento que incide directamente en su capacidad de hidratación y calor de hidratación, ya que la mientras menor sea la superficie de contacto del grano de cemento mayor probabilidad existirá de que se hidrate y genere la reacción. Puede expresarse como el área por peso evaluado, algunos cementos pueden tener un valor aproximado de $3000 \text{ [cm}^2\text{/g]}$ (Mantalla Rodríguez, 2019).

Consistencia normal: Es un ensayo para medir la fluidez de la muestra, que no se realiza directamente sobre la muestra seca del cemento, para efectuarlo se adiciona agua en un porcentaje determinado según la masa inicial de cemento (23% al 33%) para formar una pasta que será evaluada a través del ensayo de Vicat (Rivera L., 2002).

Dicho ensayo pese a no ser determinante para evaluar la calidad de un cemento, establece parámetros importantes para evaluar características como el tiempo de fraguado y la estabilidad del volumen, que en si son indicadores reales de la calidad del concreto (Mantalla Rodríguez, 2019).

Fraguado: Se da cuando el estado plástico de concreto producto de las reacciones químicas generadas se torna menos manejable en el tiempo, hasta endurecerse por completo, dependiendo el tipo del cemento este comportamiento se dará en un rango determinado de tiempo y con unas condiciones determinadas por sus propiedades intrínsecas (Mantalla Rodríguez, 2019).

Fraguado inicial: Se da cuando el cemento se hidrata parcialmente y la pasta se torna semidura y eleva su temperatura (Sánchez de Guzmán, 2001).

Fraguado final: Se produce cuando se hidrata el cemento en un porcentaje aceptable, la pasta ya no se deforma ante cargas leves, volviéndose rígida y alcanza el máximo de temperatura, en este momento la pasta adquirirá resistencia mecánica (Sánchez de Guzmán, 2001).

Falso fraguado: Es producto de la deshidratación del yeso, que regula el fraguado inicial, el cuerpo de la mezcla presenta masas o grumos de volumen considerable como si la masa estuviera seca o con una rigidez anormal y prematura. Por lo que puede generar la creencia de requerir mayor cantidad de agua en su composición, se la puede identificar ya que no genera calor de consideración (Sánchez de Guzmán, 2001).

Fraguado relámpago: La composición del cemento carece de yeso, por lo que el C3A reacciona de manera inmediata rigidizando la mezcla y genera mucho calor, dado a que es inmediata, no hay acción que pueda mitigar este proceso, más que dotar al

cemento antes de su mezcla una cantidad adecuada de yeso de calidad (Mantalla Rodríguez, 2019).

Estabilidad volumétrica: Los compuestos principales del cemento no deben tener inestabilidad volumétrica, lo cual implica que un cemento luego de realizar sus reacciones no debe producir expansiones peligrosas. Estos componentes al hidratarse pese a aumentar su volumen son menores, al volumen de los compuestos sin hidratar más el agua de mezcla y en el tiempo tienden a retraerse por diversas índoles, por lo que una expansión se cataloga como anormal y debe ser evaluada bajo el ensayo de Agujas de Le Chatelier (Sánchez de Guzmán, 2001).

Resistencia mecánica: Es la resistencia a la compresión de una probeta cúbica de mortero y cemento con relación de 1:2.75 de arista regular de 50mm, ensayada según normativa NTE INEN 2502, es la propiedad que se genera debido a la reacción química que se produce entre los granos de cemento y el agua, como se muestra en la Ilustración 2 y 3. En las cuales se puede observar que se genera un proceso de enraizado de las gránulos, mientras más filamentos se generen a manera de conexiones en la muestra más hidratado estará el cemento y mayor contribución a la resistencia tendrá (Mantalla Rodríguez, 2019).

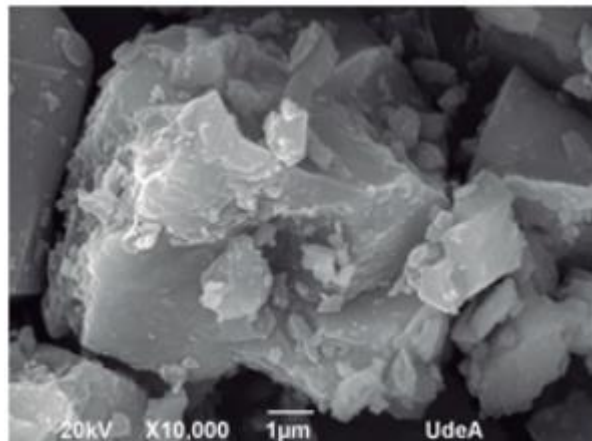


Ilustración 2 - Partículas de cemento sin hidratar (Mantalla Rodríguez, 2019).

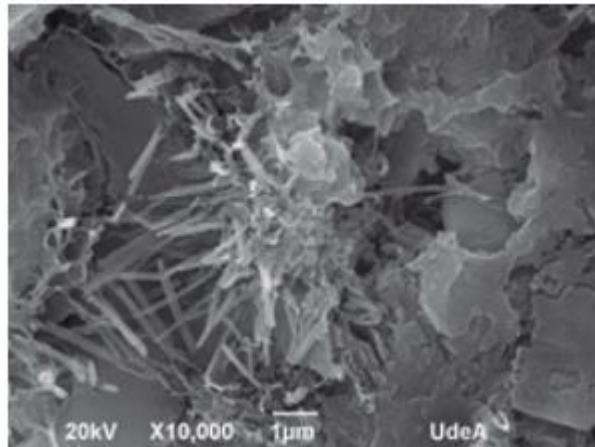


Ilustración 3 - Partículas de cemento hidratadas (Mantalla Rodríguez, 2019).

7.5. Agregados

Son materiales inertes en forma granular que se obtienen en estado natural o por elaboración artificial, que en conjunto con la pasta de cemento forman una masa plástica que endurece en el tiempo que se cataloga como concreto o mortero (Sánchez de Guzmán, 2001). En general, las propiedades de los agregados no influyen significativamente en el comportamiento de la pasta cementante; sin embargo, ciertos materiales, como escorias o ladrillos triturados, pueden mejorar sus características, mientras que otros, como partículas sulfuradas o pizarras, pueden perjudicar su desempeño (Rivera L., 2002). En general ocupan entre el 60 al 80% de la constitución del mortero u hormigón, e influye directamente en sus propiedades. Las partículas de los agregados finos en un porcentaje considerable tienen un tamaño menor a 5mm, mientras que el tamaño de las partículas del agregado grueso es mayor a los 5mm (Mantalla Rodríguez, 2019).

7.5.1. Clasificación de los Agregados

Los agregados tienen múltiples clasificaciones, pero los sub-grupos de agregados se dividen principalmente por su tamaño, procedencia y densidad.

7.5.1.1. Clasificación por el tamaño de los agregados

Los agregados se encuentran clasificados por el tamaño de sus partículas, la distinción rápida entre agregado y fino se da entre los que son mayores o menores de 4.76mm, la tabla 5, clasifica de forma más rigurosa los agregados según su tamaño.

Tipo	Clasificación	Tamaño [mm]	Uso
Piedra Bola	Agregado Grueso	> 152.4	Adecuado para concreto
Piedra		152.4 - 50.8	
Grava		50.8 - 19.0	
Gravilla		19.0 - 4.75	
Arena Gruesa	Agregado fino	4.75 - 2.36	
Arena Media		2.36 - 0.42	
Arena fina		0.42 - 0.074	
Limo	Fracción muy fina	0.074 - 0.002	No adecuado para concreto
Arcilla		< 0.002	

Tabla 5 - Clasificación de los agregados según su tamaño (Mantalla Rodríguez, 2019) (Sánchez de Guzmán, 2001).

7.5.1.2. Clasificación por el origen de los agregados

Los agregados según esta clasificación se dividen en dos grandes subgrupos; agregados naturales y artificiales.

Agregados Naturales: Son todos aquellos agregados obtenidos de forma natural, o través de procedimientos que modifican su estado en la naturaleza, se obtienen de las rocas que al ser sometidas a los factores de intemperización originan piedra, grava, arena, limo y arcillas. En ríos y depósitos aluviales se encuentra canto rodado y arena de río. Agregado natural fino también puede explotarse de las canteras, pero contienen arcilla, al ser más finas su aplicación principal se da en morteros, aunque la industria también lo usan para complementar arenas con grano de tamaño mayor. Es posible usar arena de zonas desérticas o en contacto con el mar, pero se debe tener en cuenta su acción nociva en el

concreto y su armado, debido a su concentración alta en sales, presencia de conchas y que su grano es muy fino (Mantalla Rodríguez, 2019).

Agregados artificiales: Son agregados producto de procesos industriales, tienen diferentes propiedades mecánicas, físicas y químicas. Que modifican tanto el comportamiento del mortero y el concreto, ya que algunos son más livianos o pesados que el promedio de los agregados naturales. Algunos ejemplos son: Clinker, limadura de hierro, escorias, ladrillos triturados etc. (Sánchez de Guzmán, 2001).

7.5.1.3. Clasificación por la densidad de los agregados

Los agregados según su densidad se encuentran clasificados como indica la tabla 6.

Concreto	Peso Unitario Concreto [kg/cm ³]	Peso Unitario del Agregado[kg/cm ³]	Uso	Agregado
Ligero	400 - 800	60 - 480	Concreto para Aislamiento	Piedra Pómez
	950 -1350	480 -1040	Concreto para rellenos y mampostería	Perlita
	1450 - 2000		Concreto Estructural	
Normal	2000 - 2500	1300 - 1600	Concreto estructural y no estructural	Canto Rodado
Pesado	2500 - 5600	3400-7500	Concreto para usos especiales	Barita, Magnetita

Tabla 6 - Clasificación del agregado según su densidad (Sánchez de Guzmán, 2001).

7.5.2. Propiedades de los agregados

Las propiedades son de alta importancia, ya que comúnmente no generan reacciones en la masa cementante, pero las propiedades intrínsecas de los agregados, modifican las propiedades del concreto o mortero obtenido de dicha mezcla. Este apartado contempla las propiedades más relevantes para los morteros de concreto; sin embargo, existen otras propiedades que deben ser evaluadas cuando diseño de mezclas de concreto se trate (Rivera L., 2002).

Granulometría: Es el porcentaje en masa del tamaño de partículas de una muestra de agregados. Para elaborar una muestra adecuada de mortero la distribución de partículas de todos los tamaños debe ser adecuada, de tal forma que estas rellenen todos los espacios vacíos existentes, para que la pasta cementante rellene en la menor medida posible dichos espacios. Este acomodo de masa, tiene incidencia directa en el comportamiento de concreto y morteros, ya que tiene correlación con la mayoría de propiedades de los agregados, así masas de agregados más finas hacen que se requiera más cantidad de cemento y masas muy gruesas hacen de la mezcla menos trabajable (Mantalla Rodríguez, 2019).

El análisis granulométrico se realiza a través del tamizado normado según la ASTM C136, para agregados donde se utilizan tamices con dimensiones especificadas según la ASTM E11, estas dimensiones se encuentran dispuestas en la tabla 7.

Tamices	FPS [in]	SI [mm]
Agregado Grueso	6"	152
	4"	100
	3"	75
	2"	50
	1 1/2"	37
	1"	25
	3/4"	19
	1/2"	12.5
	3/8"	9.5
	Nº 4	4.76
Agregado Fino	Nº 8	2.36
	Nº 16	1.18
	Nº 30	0.600
	Nº 50	0.300
	Nº 100	0.150
	Nº 200	0.074

Tabla 7 - Tamaño de tamices para agregados de concreto (Mantalla Rodríguez, 2019).

Luego de tamizar las muestras se pesa la cantidad detenida en cada tamiz, y según la masa total, cada tamiz tendrá un porcentaje de muestra, con estos datos se generará la curva granulométrica semi-logarítmica, determinando si del agregado en estudio cumple con las especificaciones técnicas requeridas en un rango determinado de valores porcentaje, esto debido a la complejidad de ajustarse a los puntos de una curva exactamente (Mantalla Rodríguez, 2019). Algunos conceptos importantes surgen producto del ensayo de granulometría, mismos que serán tratados a continuación.

Tamaño máximo nominal: Si el 15% del promedio acumulado de partículas es retenido en un tamiz, el tamiz que le sigue de tamaño mayor será el tamaño máximo nominal de la sección de muestra analizada (Mantalla Rodríguez, 2019).

Módulo de finura: Es la suma de los porcentajes de masa retenida acumulada, entre los tamices N° 4 al N°100, a esta suma se le dividirá el valor de 100. El valor adecuado para generar morteros de cemento está entre el 1.8 a 2.2, el módulo de finura no es un parámetro comparativo con otros agregados, generalmente se usa como para comparar materiales que provengan de la misma fuente y no deberá variar en un valor absoluto de 0.2, de esta forma se evita que se cataloguen agregados con distinto contenido granulométrico como similares (Mantalla Rodríguez, 2019).

El valor establecido para arenas bien gradadas se da en un rango establecido por la normativa ASTM C33, y sus valores se especifican la tabla 8.

Tamiz [mm]	Límite Inf. % Pasante	Límite Sup. % Pasante
---------------	--------------------------	--------------------------

9.5	100	100
4.76	95	100
2.36	80	100
1.18	50	85
0.600	25	60
0.300	5	30
0.150	0	3

Tabla 8 - Rangos de porcentaje de material pasante para el agregado fino (Mantalla Rodríguez, 2019).

Superficie específica: Es el cociente entre el área de la partícula en estudio respecto al volumen que ocupa. La superficie específica total de una muestra sería la suma de todas partículas, su adherencia depende de la geometría, textura y composición granulométrica, a mayor superficie específica se requiere mayor cantidad de pasta de cemento, ya que es la que recubre la superficie para generar adherencia entre partículas, este concepto tiene relación directa con la cantidad de agua de mezcla que se requiere para hidratar toda la superficie específica total (Sánchez de Guzmán, 2001).

Densidad: Se puede definir como la masa de un material por una unidad de volumen determinada, para el caso de los agregados, esta propiedad depende de su origen geológico, fuentes de minado más densas generarán agregados más densos y viceversa, pese a que los ensayos de densidad no son un parámetro de definición para la calidad de los agregados, comúnmente los agregados con buenas características tienden a tener una mayor densidad. La densidad no es un concepto definitivo, dentro de ella se pueden encontrar algunos conceptos clave para poder entender mejor esta característica de los agregados (Sánchez de Guzmán, 2001).

Densidad absoluta: Masa promedio de agregado por unidad de volumen, no incluye sus poros permeables y los impermeables (Rivera L., 2002).

Densidad Nominal: Masa promedio de agregado por unidad de volumen, excluye solo los poros permeables (Rivera L., 2002).

Densidad Aparente: Masa de agregado por unidad de volumen, incluye poros permeables e impermeables. Si el material está seco, se denominada densidad aparente seca, si el material tiene superficie seca y está saturado, se denominará densidad aparente saturada. Esta es la densidad que se utiliza en el diseño de mezclas, la hipótesis sugiere que el material en primer lugar se satura, para luego dejar el agua en estado libre, misma que reaccionará con el cemento. La densidad aparente relación inversa con la cantidad de poros que contenga la partícula (Rivera L., 2002).

Absorción: Es el porcentaje necesario para saturar un agregado, la cantidad máxima que puede absorber como resultado de sus características constitutivas. Al ser una propiedad intrínseca del material, debe ser tomada en cuenta para el diseño de mezclas (Mantalla Rodríguez, 2019).

Humedad: Es la cantidad de agua que tiene un agregado, tanto dentro de sus poros como en su composición intersticial, se puede dividir por su humedad a un material, en cuatro estados (Rivera L., 2002):

1. Seco: No contiene agua en poros permeables (Rivera L., 2002).
2. Húmedo no Saturado: Contenido de agua parcial en poros permeables (Rivera L., 2002).
3. Saturado y Superficialmente Seco: Poros permeables completamente saturados, pero con superficie seca (Rivera L., 2002).
4. Húmedo sobresaturado: Poros permeables completamente saturados y con la superficie con agua.



Ilustración 4 - Estado de humedad de los agregados (Mantalla Rodríguez, 2019).

Resistencia a la abrasión: Es la resistencia de los agregados al tener demandas de desgaste o fricción continua, que comúnmente se da en alerones industriales y pavimentos bajo tránsito de maquinaria. Para agregado fino suele usar el ensayo de Micro-Deval, que evalúa la abrasión en presencia del agua, al medir el material pasante del tamiz 1.18mm (Mantalla Rodríguez, 2019).

Resistencia al intemperismo: Es la resistencia a agentes externos, generados por el clima, a través del ensayo de resistencia a sulfatos, que emplea soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio, se calcula la masa perdida después del ensayo para determinar si se óptimo para el diseño de mezclas, las pérdidas de material admisibles se encuentran entre 10 – 15% de su masa inicial (Rivera L., 2002).

Adherencia: Es la capacidad para generar traba entre las partículas de agregado que pese a tener mayor importancia la calidad de cemento, también la rugosidad de las partículas es un aspecto importante para generarla, no existen ensayos para cuantificar o calificar esta propiedad, pero por análisis simple se puede deducir que a mayor adherencia mejor será el comportamiento del mortero o concreto (Sánchez de Guzmán, 2001).

Epitaxia: Se da entre ciertos agregados calizos y la pasta de cemento, es una reacción que mejora su adherencia conforme transcurre el tiempo de maduración del mortero o el concreto (Sánchez de Guzmán, 2001).

Reacción Agregado-álcali: Pese a que generalmente los agregados no tienen ningún tipo de reacción con la pasta de cemento en general. Suele producirse una reacción que genera expansión dentro de la masa de concreto a medida que absorbe agua. Sucede cuando reaccionan los óxidos de silíceo del agregado con los hidróxidos alcalinos del cemento. Es una reacción que debe ser controlada ya que el concreto solo soporta esfuerzos a tensión bajos. Una reacción adicional es la de la caliza con los álcalis, conocida también con la reacción álcalis-carbonato. El ensayo más común usado para determinar la capacidad de reacción del agregado con los álcalis del cemento es el que se estipula en la ASTM C-289, mismo que prueba la capacidad de expansión de concreto por el método de las barras (Sánchez de Guzmán, 2001).

Sanidad del agregado: Los agregados deben evitar cambios excesivos de volumen, generados por agentes externos como ciclos de congelamiento, ciclos de secado. A través de la norma ASTM C880, al ser expuestos a soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio, pueden los agregados percibir estos cambios de volumen, donde a través de tamizado se determina esta propiedad, los agregados volcánicos al formarse en temperaturas altas tienen buena sanidad.

7.5.3. Sustancias perjudiciales

Existen sustancias que afectan negativamente al concreto, mismas descritas a continuación, dichas sustancias pueden afectar propiedades importantes como la hidratación, durabilidad y resistencia (Mantalla Rodríguez, 2019).

Materiales finos: Material con un tamaño menor a 75 μm , estos evitan la adherencia entre partículas con la pasta de cemento reduciendo la resistencia de la muestra, si es que tiene presencia de arcillas expansivas al humedecerse, pueden generar esfuerzos de tensión sobre los elementos agrietándolos. Existe también complejidad con el material muy fino ya que tienen una mayor superficie específica, por lo que requieren una mayor cantidad de agua, aumentando la relación agua/cemento, reduciendo la resistencia a la compresión de las muestras. El rango aceptable para concretos normales para material fino podría estar entre el 5% y 7% de la muestra total y para especiales entre el 3% al 5% (Mantalla Rodríguez, 2019).

Impurezas orgánicas: El contenido en un porcentaje no aceptable de materia orgánica, produce efectos adversos en el concreto ya que reducen la capacidad de la pasta de cemento a hidratarse. Esta materia puede presentarse principalmente en la arena, ya que por su tamaño de partícula suele contener material de esta procedencia, muy finamente dividida y en estado de descomposición (Sánchez de Guzmán, 2001).

Contaminación salina: Es la contaminación cuando se utiliza arena proveniente de playas y desiertos, estas poseen un alto contenido en sal y pueden generar problemas en el concreto reforzado ya que su acción en contacto con el acero promueve la corrosión prematura, aunque no existe problema mayor con el hormigón ciclópeo, se limita su uso en otro tipo de hormigones, sobre todo los de uso estructural (Mantalla Rodríguez, 2019).

Partículas inestables: Son todos aquellos agregados que poseen en su constitución partículas que causan efectos indeseables en el concreto. Se menciona a continuación encontrar algunas clases de partículas inestables. Las partículas deleznable son aquellas que se desmenuzan con los dedos luego de la acción de agua pura bajo parámetros de ensayo determinados por normativa hasta reducirse a material fino, el límite máximo admisible es de 1%. Las partículas

livianas afectan la resistencia y durabilidad del concreto, el límite máximo admisible es de 0.5% para morteros. En similar forma las partículas blandas afectan la resistencia y durabilidad, ya que sus partículas se rompen con facilidad, requiriendo mayor cantidad de agua aumentando la relación agua/cemento, por tener una mayor superficie específica. Su límite es del 1% para agregado fino (Rivera L., 2002).

7.6. Agua

Es un elemento que produce cambios en las propiedades del cemento, permitiéndole endurecerse. Las propiedades del agua deben ser tales, que no generen cambios más allá de los preestablecidos en el mortero y concreto, cualquier tipo de agua y su origen que generen dichos cambios, deben ser ensayadas y evaluadas, contrastando especímenes con otros contruidos con agua con características ya estudiadas válidas. El agua para propósito de diseño y ensayo de mezclas se define en varios tipos, como se indica a continuación (Rivera L., 2002).

Agua de mezclado: Es la cantidad de agua por volumen unitario de concreto, necesaria para hidratar de forma adecuada el cemento y los elementos constituyentes del mortero y del cemento (Sánchez de Guzmán, 2001). Generalmente se usa el 40% de agua del peso total del cemento de la mezcla. Esta agua de mezcla se evapora dejando a su paso microfilamentos vacíos en la masa solidificada (Mantalla Rodríguez, 2019).

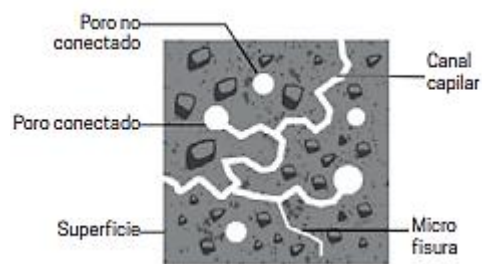


Ilustración 5 - Micro canales vacíos generados al evaporarse el agua de mezcla (Mantalla Rodríguez, 2019).

En cuanto a la calidad de agua requerida, se debe cuidar de sus características, como se mencionó en la primera parte de este apartado, el agua potable es recomendable para este tipo de labores industriales, algunos reciclados de tambores de camiones mezcladores y otros derivados producto de fundiciones, que contengan en su composición al menos un pequeño contenido de cemento. Si esta se encuentra contaminada con sólidos en suspensión, azúcares, sales, ácidos, aceite, químicos de agricultura, residuos fecales, orgánicos, podría retrasar o afectar la hidratación del cemento, todo dependerá del porcentaje de contaminantes existentes en el agua, a continuación, se presenta una tabla con los principales contaminantes, su efecto y sus límites admisibles, para ser considerados como agua para la producción de concreto o mortero (Mantalla Rodríguez, 2019).

Impureza	Efecto	Valor admisible
Carbonato	Acelera tiempo de fraguado, reduce la resistencia y genera álcalis.	1000 ppm
Bicarbonato de Sodio y Potasio	Acelera o retarda tiempo de fraguado, reduce la resistencia y genera álcalis.	1000 ppm
Cloruro	Corroe el acero de refuerzo.	0.3% a 1.0%
Sulfatos	Reacciona con el C3A y causa expansiones.	10000 ppm
Bicarbonato de Calcio y Magnesio	Acelera, reduce la resistencia.	400 ppm
Sales de hierro	Afecta la resistencia	40000 ppm
Sales inorgánicas	Variaciones exageradas en tiempo de fraguado.	500 ppm
Agua de mar	Acelera resistencias iniciales, reduce finales, corrosión, no en pretensado, causa reacción álcalis-agregado, eflorescencias.	35000 ppm
Aguas ácidas	Baja resistencia, debe evitarse, pH < 3.	10000 ppm

Aguas alcalinas	Afecta la resistencia sino es acelerada, genera reacción álcalis-agregado.	0.5% -1.2% ppc
Agua de desechos industriales	Reducción de la resistencia del 15%, agua procedente de plantas industriales.	No usar
Aguas negras	Afecta tiempo de fraguado, resistencia, durabilidad.	20 ppm
Impurezas orgánicas	Afecta tiempo de fraguado, resistencia, durabilidad. Proviene del humus y ácido tánico.	Analizar previo a su uso.
Azúcares	Retraso tiempo de fraguado, bajas resistencias iniciales. Grandes cantidades no fragua.	500 ppm
Partículas en suspensión	Arcillas, limo, polvillo de roca. Reduce la resistencia.	2000 ppm
pH	Efectos de aguas ácidas o alcalinas.	6-8
Aceites	Reduce resistencia, 2.5% ppc reducen el 20% de resistencia. Aceite mineral, vegetal, animal.	Analizar previo a su uso.
Algas	No permiten la hidratación del cemento, incluyen aire, reducen la resistencia.	1000 ppm

Tabla 9 - Impurezas admisibles del agua para mezclas del concreto según la PCA (Mantalla Rodríguez, 2019).

Agua de hidratación: Es el agua necesaria y no más allá de la suficiente para que el cemento se hidrate y que la pasta pase de su estado líquido a estado sólido, en una relación tal dada por diseño, para que la pasta cementante alcance su máxima resistencia. Es conocida como agua no evaporable ya que yace atrapada químicamente en una parte de la pasta de cemento, en condiciones de 0% de humedad ambiente o 110°C, es decir no puede eliminarse por secado o calor moderado (Sánchez de Guzmán, 2001).

Agua evaporable: Aquella que puede evaporarse en humedad ambiente del 0% y 110°C de temperatura, este tipo de agua no se encuentra libre dentro de la mezcla debido a

que es atraída hacia el gel de cemento, dando origen a un fenómeno en el agua que puede clasificarse en tres condiciones (Mantalla Rodríguez, 2019).

- **Agua de adsorción:** Capa de agua muy adherida al gel de cemento, por medio de enlaces intramoleculares, se la conoce como agua activa y está a una distancia del gel de cemento en un rango de 0 a 30 Å (Sánchez de Guzmán, 2001).
- **Agua capilar:** Agua intracapilar de la pasta de cemento, a una distancia del gel de cemento en un rango de 30 a 10^7 Å, la zona más cerca a la pasta se encuentra de forma débil atraída hacia esta (Sánchez de Guzmán, 2001).
- **Agua libre:** Esta agua no se encuentra atraída hacia la pasta de cemento, el proceso de hidratación y la reacción con el cemento hace que parte del agua capilar y de adsorción disminuya y sea reemplaza por una parte del agua libre, este proceso se puede repetir en múltiples ocasiones. La cantidad promedio para la total hidratación del cemento es del 23% de su peso en agua, relaciones superiores de A/C, no asegura la completa hidratación del cemento (Sánchez de Guzmán, 2001).

Agua de curado: Es el agua que se necesita adicional, para generar un curado eficiente del concreto, es decir el agua faltante para hidratar por completo el cemento de la muestra o elemento, dependerá sobre todo de la relación agua cemento que tiene ya que el fraguado un porcentaje aceptable ha producido la reacción para que endurezca, el resto quedará libre, a mayor cantidad de agua libre, menor será la resistencia ya que al evaporarse genera espacios vacíos en el volumen que esta ocupaba (Sánchez de Guzmán, 2001). Es prudente proveer de agua de curado al elemento en edades iniciales del concreto, en general el agua debe tener similares características que el agua de mezcla, ya que podría deteriorar el hormigón incluso en la parte estética de este (Mantalla Rodríguez, 2019).

8. Metodología y técnicas

8.1. Metodología de la investigación

La presente investigación toma un enfoque experimental del tipo cuantitativo comparativo, a través de la toma de muestras de probetas de mortero de cemento cúbicas con aristas de 50 mm y de ensayos de compresión para determinar su resistencia, analizando el cumplimiento de los resultados respecto a la normativa. Lo que implica diseñar las mezclas de mortero de cemento para determinadas relaciones de agua/cemento y con distintos tipos de cementos evaluando su diferencia de resistencias a cada edad de las muestras. Este diseño busca limitar las variaciones existentes en una población pequeña, que puede darse durante el proceso de elaboración y ensayo de las muestras, al ser un número mayor, esta aleatorización disminuye, entregando resultados más cercanos a la realidad del diseño, así se estima adecuadamente la varianza y controla de forma aceptable las variables.

En general el enfoque experimental cuantitativo comparativo, busca medir los efectos causales de los cambios en el diseño de mezcla respecto a la resistencia obtenida de las probetas, empleando cálculos estadísticos, se interpreta técnicamente la razón de similitudes o diferencias, entre todas las formulaciones planteadas.

8.2. Técnicas aplicadas en la investigación

8.2.1. Formulación de mezcla de morteros de concreto

La formulación de mezclas de mortero de concreto es distinta a la de concreto pues se realiza al volumen. Sin embargo, estos procedimientos no se apegan a una técnica adecuada, ni buscan economía en un proyecto, se recomienda por tal motivo usar un diseño al peso que permite un control adecuado de múltiples variables y por este motivo resulta más económicos, será

necesario definir la cantidad de mortero a dosificar, según la cantidad de probetas requeridas por el ensayo (Sánchez de Guzmán, 2001).

8.2.1.1. Proceso de diseño

8.2.1.1.1. Selección del tipo de arena

El agregado fino considerado, fue de las canteras de RUMICUCHO, misma que presenta características adecuadas para la dosificación de morteros de cemento y se encuentra cercano al sitio de ensayo, como lo indica la tabla presentada a continuación y el ANEXO.

INGRESAR TABLA DE CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO.

8.2.1.1.2. Determinación de la relación agua cemento

La determinación de la relación agua cemento, está muy ligada no solamente con estos dos elementos, sino también con la arena y su módulo de finura, además de estar estrechamente relacionada con la durabilidad, retracción, adherencia y finalidad arquitectónica del mortero, cabe recalcar que distintas arenas y cementos, producen resultados distintos resultados con similares relaciones agua/cemento. El alcance de este documento ya tiene definido elementos como la arena, cemento GU y HE, así como la relación agua/cemento, como se presenta a continuación (Sánchez de Guzmán, 2001):

- Formulación de mezcla de morteros de cada tipo de cemento según la NTE INEN 488:2009 con relaciones de $A/(C+P)$: 0.4 - 0,45 y 0,50.

8.2.1.1.3. Selección de la consistencia

Escogida según los requerimientos del proyecto, para este caso de estudio la consistencia plástica es la adecuada, a continuación, la tabla presenta la distintas consistencias y porcentaje de flujo de los morteros.

Consistencia	Porcentaje de Flujo
Seca	90%
Plástica	110%
Fluida	130%

Tabla 10 - Consistencia del Mortero (Sánchez de Guzmán, 2001).

8.2.1.1.4. Requerimiento de Agua

El requerimiento de agua de la mezcla está estrechamente ligado con los requerimientos intrínsecos de la arena y del cemento, según la consistencia que se busque alcanzar. Se suele realizar un proceso de prueba y error para obtener esta cantidad, obteniendo resultados satisfactorios, producto de estos procedimientos empíricos diversos autores sugieren una expresión matemática para determinar el requerimiento de agua, misma que relaciona la consistencia con el mortero, dónde se demuestra que el requerimiento de pasta de cemento según la consistencia está dado por (Sánchez de Guzmán, 2001):

$$\frac{A}{C} = K \cdot e^{b \cdot n}$$

Ecuación 2 - Requerimiento de agua de la pasta de cemento (Sánchez de Guzmán, 2001).

Dónde:

- **A/C:** Relación Agua/Cemento.

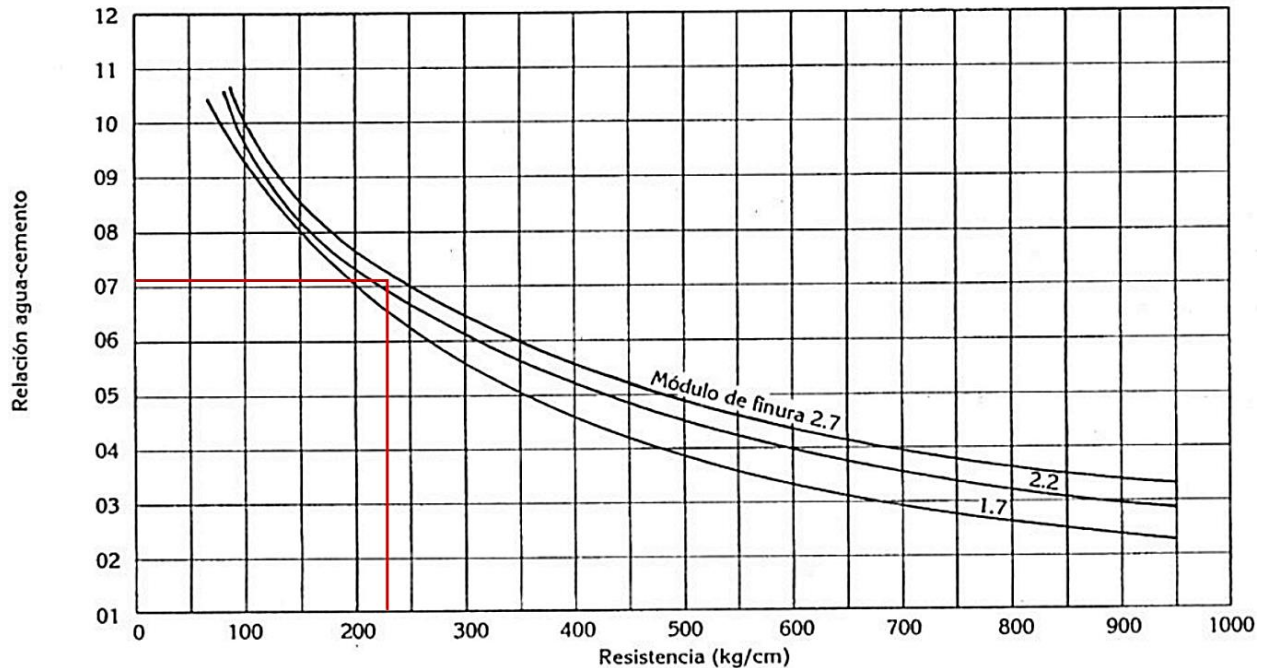


Ilustración 6 - Correspondencia entre $R_{A/C}$ y f'_c de los morteros de cemento Portland tipo I y arena de forma angular y textura rugosa (Sánchez de Guzmán, 2001).

De la ilustración 6, un valor 250 kg/cm² de resistencia a la compresión del mortero de cemento, arroja un resultado de $R_{A/C}$ de 0.72 para un módulo de finura de 2.53 (véase anexo de ensayos de laboratorio del agregado pétreo fino), siendo un buen punto de partida para calibrar la cantidad de agua requerida, evidenciando entonces un error en la hipótesis inicial de la relaciones de agua/cemento propuestas, adicionalmente esta gráfica sirve como referencia para el cemento HE, que podría requerir otro tipo de gráfica, pero al carecer de dicha información, se empleará para determinar por tanteo la relación agua/cemento necesaria para diseñar y dosificar con este tipo de cemento.

- **b:** Factor de relación de la consistencia, módulo de finura, forma y textura de la arena.

Consistencia	Módulo de Finura	Arena de granos redondos y lisos	Arena de granos angulares y rugosos

Seca (90%)	1.7	0.3293	0.3215
	2.2	0.311	0.3028
	2.7	0.2772	0.293
	3.2	0.2394	0.2494
Plástica (110%)	1.7	0.3242	0.3238
	2.2	0.3033	0.2947
	2.7	0.2734	0.2879
	3.2	0.2368	0.2477
Fluida (130%)	1.7	0.3172	0.3216
	2.2	0.2927	0.3003
	2.7	0.2687	0.2949
	3.2	0.234	0.2629

Tabla 11 - Valores de b para distintas consistencias y módulos de finura (Sánchez de Guzmán, 2001).

De la tabla 11 se obtienen los valores especificados para una arena con módulo de finura 2.53, para encontrar el valor correspondiente es necesario interpolar entre los valores 2.2 y 2.7, para agregado con granos angulares y rugosos.

Entonces:

$$b = \frac{(b_1 - b_2) \cdot (b_2 - MF)}{MF_2 - MF_1} + b_2$$

Ecuación 3 – Determinación del factor b (Sánchez de Guzmán, 2001).

$$b = \frac{(0.2947 - 0.2879) - (2.7 - 2.53)}{2.7 - 2.2} = 0.29$$

- **e:** Base de los logaritmos neperianos.
- **K:** Relación A/C con la consistencia requerida en términos de fluidez.

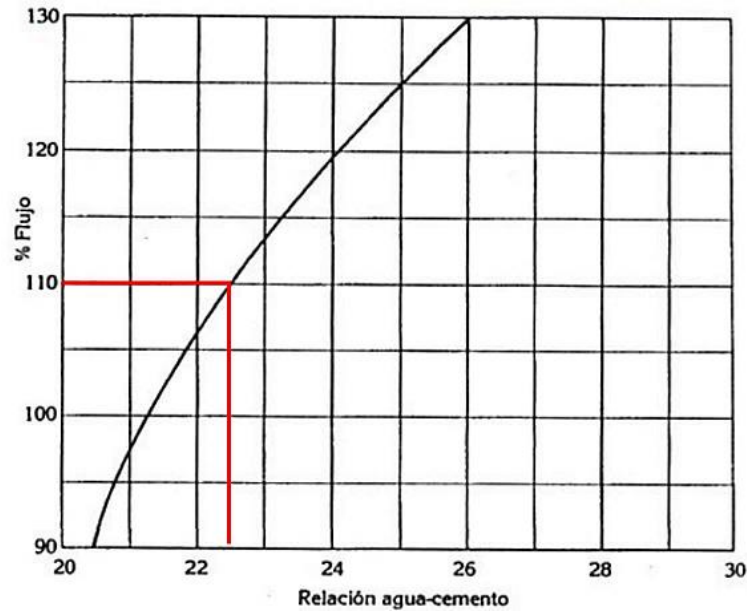


Ilustración 7 – K: Relación entre Porcentaje de Fluidez y R A/C (Sánchez de Guzmán, 2001).

Para un porcentaje de fluidez del 100%, se obtiene de un valor $K = 0.225$, para la relación agua/cemento, requerida.

- **n:** Factor de proporción de la mezcla.

Se determina la porción 1:n, para lo cual previamente se debió encontrar los valores de A/C, K y b, entonces n será igual a:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{A}{C}\right) - \ln(K)}{b}$$

Ecuación 4 - Determinación del factor n (Sánchez de Guzmán, 2001).

Dónde:

- **A/C:** Relación agua cemento.
- **K:** Coeficiente obtenido de la ilustración 7, según el porcentaje de fluidez del mortero.

- **b:** Factor de relación de la consistencia, módulo de finura, forma y textura de la arena.

$$n = \frac{\ln(0.72) - \ln(0.225)}{0.29} = 4.008$$

8.2.1.1.5. Cálculo del contenido de cemento

El contenido de cemento por unidad de volumen, viene dado por la siguiente expresión:

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{G_c} + \frac{n}{G_a} + \frac{A}{C}}$$

Ecuación 5 - Determinación del contenido de cemento (Sánchez de Guzmán, 2001).

Dónde:

- **C:** Cemento en kg.
- **a:** Arena en kg.
- **A:** Agua en kg o l.
- **G_c:** Peso específico del cemento.
- **G_a:** Densidad aparente seca de la arena.

$$C_c = \frac{1000}{\frac{1}{3.06} + \frac{4.008}{1.688} + 0.72} = 292.30 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

8.2.1.1.6. Contenido de agua

El contenido de agua por unidad de volumen, viene dada por la siguiente expresión:

$$A = \frac{A}{C} \cdot C_c$$

Ecuación 6 - Contenido de agua (Sánchez de Guzmán, 2001).

Dónde:

- **A/C:** Relación agua cemento.
- **Cc:** Contenido de cemento.

$$A = 0.72 \cdot 292.30 = 210.45 [kg/m^3]$$

8.2.1.1.7. Contenido de arena

El contenido de arena por unidad de volumen, viene dada por la siguiente expresión:

$$a = n \cdot Cc$$

Ecuación 7 - Contenido de arena (Sánchez de Guzmán, 2001).

Dónde:

- **n:** Factor de proporción de la mezcla.
- **Cc:** Contenido de cemento.

$$a = 4.008 \cdot 292.30 = 1171.54 [kg/m^3]$$

8.2.1.1.8. Cuadro de resumen de diseño de mezcla de mortero

Material	Peso seco	Peso específico	Volumen
	[g]	[g/cm ³]	[m ³]
Cemento	292.3	3.06	0.175
Arena	1171.54	1.688	0.700
Agua	210.45	1.000	0.126
TOTAL	1674.29		1.000

Tabla 12 - Cuadro de resumen de diseño de mezcla de mortero $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

8.2.2. Toma de muestras de morteros de cemento

8.2.2.1. Equipo

Masas y balanzas: Cumplimiento con la norma ASTM C1005, la balanza debe ser comprobada con una variación y precisión de 2000 g (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Probetas de vidrio graduadas: Deben tener suficiente volumen para medir el agua necesaria para el ensayo, lectura adecuada con precisión $\pm 2 \text{ cm}^3$ a 20°C . Con subdivisiones cada 5 cm^3 , líneas de gradación cada 10 cm^3 en probetas de 250 cm^3 y 15 cm^3 en las de 500 cm^3 , las líneas de marcación deben ser fácilmente diferenciables (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Moldes para especímenes: Probetas cúbicas de 50 mm, con máximo 3 compartimentos, separables hasta en 2 partes, deben unirse con precisión. Constituidos por metal duro con dureza de Rockwell (HBR) para moldes nuevos > 55 , no susceptible al mortero de cemento, de espesor suficiente para evitar deformaciones, con superficies planas y deberán cumplir con el rango de tolerancias que presenta la siguiente tabla (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

PARÁMETRO	MOLDES CÚBICOS DE 50 mm	
	NUEVOS	EN USO
Lisura de los lados	$< 0.025 \text{ mm}$	$< 0.05 \text{ mm}$
Distancia entre lados opuestos	$50 \text{ mm} \pm 0.13 \text{ mm}$	$50 \text{ mm} \pm 0.50 \text{ mm}$
Altura de cada compartimiento	$50 \text{ mm} [-0.13 \text{ a } + 25 \text{ mm}]$	$50 \text{ mm} [-0.38 \text{ a } + 25 \text{ mm}]$
Ángulo entre cara adyacentes	$90 \pm 0.5^\circ$	$90 \pm 0.5^\circ$

Tabla 13 - Tolerancias admisibles en moldes para mortero de cemento (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Mezcladora, tazón y paleta: Debe cumplir con la NTE INEN 155 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Pisón: Conformado por caucho con dureza Shore A (80 ± 10), o madera (roble curado, impermeabilizado con parafina). Las dimensiones son mostradas a continuación, la cara para apisonar debe ser plana (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Dimensión	Magnitud
Largo	25 [mm]
Ancho	13 [mm]
Longitud	120 - 150 [mm]

Tabla 14 - Dimensiones del Pisón.

Espátula: Hoja de acero con longitud de 100 – 150 mm y bordes rectos.

Cámara de curado: Debe cumplir con la ASTM C 511.

8.2.2.2. Materiales

Arena graduada normalizada: Arena de sílice natural, debe cumplir con NTE INEN 873.

Preparación de moldes: Cubrir las caras de los moldes con desmoldante, si es aerosol aplicarlo a 150 – 200 mm de distancia, quitar el exceso de ser necesario con un paño, consiguiendo una película fina y uniforme en las caras internas (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Asegurar la estanqueidad de los moldes con grasa, de tal forma que al ajustar los moldes se expulse un poco de grasa. Limpiar el exceso con un paño (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Al colocar la placa base y sujetarla al molde, colocar un sellante impermeable (parafina, cera o 3 partes de resina por 5 de resina, licuar la mezcla calentándolo a 110 – 120°C), aplicarlo en las juntas, limpiar el exceso con un paño (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Preparación de las muestras: Usar una relación de cemento: arena de 1:2.75, la cantidad de agua para cementos que no sean portland será la necesaria para producir una fluidez de 110 +/- 5, las relaciones agua/cemento para ciertos tipos de cemento portland las presenta la siguiente tabla.

Material	Muestras	
	6	9
Cemento [g]	500	740
Arena [g]	1375	2035
Agua [cm ³]		
- Portland (a/c = 0.485)	242	359
- Portland con incorporador de aire (a/c = 0.460)	230	340
- Otros (para un flujo de 100 +/- 5)	-	-

Tabla 15 - Dosificación de muestras de mortero de cemento Portland (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Preparación del mortero: Amasado según la NTE INEN 155.

Determinación de la fluidez: La fluidez será estimada según la NTE INEN 2 502. En cementos portland con o sin inclusor de aire, registrar fluidez, dado el caso de otros cementos se elaboran muestras de mortero para realizar pruebas con distintos contenidos de agua y obtener la fluidez requerida. De ser requerido se regresa la muestra de la mesa de fluidez y se mezcla con la muestra total durante 15 segundos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Moldeo de especímenes: Compactar el mortero por apisonado manual u otros métodos aceptados, dichos métodos se pueden profundizar en la NTE INEN 488:2009 – sección 6.6.4.3. El proceso de moldeo se describe en el cuadro a continuación.

PROCEDIMIENTO	DESCRIPCIÓN
Tiempo de inicio	Fabricar las probetas, 2 minutos y 30 segundos, después elaborar la masa de mortero.
Número de capas	Dos capas de 25 mm.
Compactación	Apisonar cada capa 8 veces en 4 rondas, con dirección perpendicular entre rondas, para un total de 32 apisonadas, con la fuerza adecuada para llenar el molde uniformemente.
Nivelado	En la segunda capa reincorporar con los dedos enguantados el mortero rebosante. Al finalizar, retirar el exceso con espátula, alisando la superficie en dos ocasiones de forma transversal y longitudinal al molde.
Terminación	Aplanar la superficie al ras del borde, con la espátula casi perpendicular al molde y movimiento aserrado en toda su longitud.

Tabla 16 - Procedimiento de elaboración de probetas de mortero de cemento (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

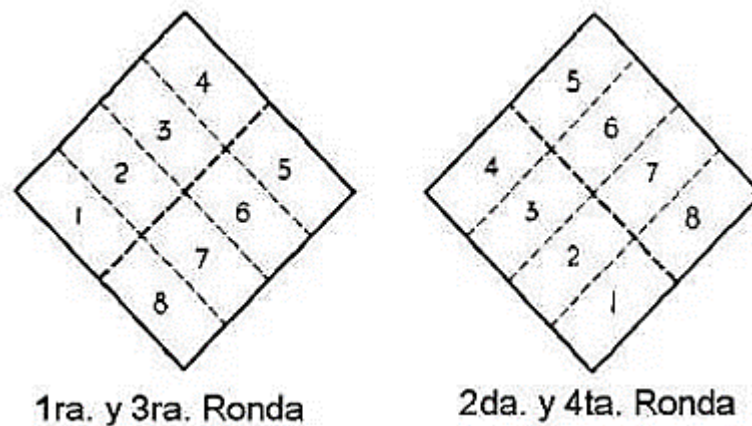


Ilustración 8 - Proceso de apisonamiento de morteros de cemento.

Procedimiento de calificación: Los procedimientos de calificación de otros métodos de compactación constan en la NTE INEN 488:2009 – sección 6.6.4.3 hasta el 6.6.4.5.

8.2.3. Curado de muestras de mortero de cemento

Finalizado el moldeo, ingresar las probetas en el cuarto de curado, mantenerlas sobre las placas del molde por 20 a 72 horas, con las caras expuestas al aire húmedo, protegidas del goteo de agua. Si son retirados antes de las 24 horas ingresar en el cuarto de curado hasta que cumpla este tiempo, el restante de muestras sin ensayar deberán ser curadas en agua con cal, esta agua deberá ser cambiada según el requerimiento para mantener las características adecuadas de curado (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

8.2.4. Ensayo de compresión simple de muestras de mortero de cemento

8.2.4.1. Equipo

En general la máquina debe tener una precisión del $\pm 1\%$, con un sistema de lectura confiable (dial o digital). Los bloques de apoyo deben alinearse perfectamente, centrados y

fabricados con acero endurecido, para garantizar la uniformidad de la carga, la siguiente tabla indica algunos aspectos importantes a tener en cuenta en cuanto a la máquina de compresión.

Revisión	Requisitos principales	Precisión
Máquinas con dial (Análogo).	- Hidráulica o de tornillo.	- Lectura +/- 1% de la carga.
	- Espacio suficiente para colocar aparatos de verificación.	- Escala legible 0.1% más cercano.
	- Lectura de carga en el dial.	- Rango útil ≥ 100 veces el menor incremento de lectura.
		- Ajuste a cero y dispositivo de carga máxima visible, precisión +/- 1%.
Máquinas con Visor Digital.	- Visor numérico con lectura adecuada.	- Precisión: +/- 1%.
	- Incremento numérico $\leq 0.10\%$, escala total.	- Cargas < 100 veces el menor incremento.
	- Indicador de carga máxima.	- Cero ajustado correctamente.
Bloques de apoyo y centrado.	- Bloque superior: acero endurecido montado sobre semiesfera centrada.	- Dureza mínima: HRC 60.
	- Bloque inferior: Acero de endurecido.	- Planitud nueva $\leq 0.0013\text{mm}$, uso en $\leq 0.025\text{mm}$.
	- Permitir el centrado del espécimen.	- Diámetro de apoyo entre 70.7 - 73.7mm

Tabla 17 - Aspectos en consideración respecto a la máquina de compresión simple de probetas (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

8.2.4.2. Proceso de ensayo de resistencia a la compresión simple

El proceso de ensayo a la compresión simple de morteros de cemento tipo GU y HE, se contempla en la tabla a continuación.

ASPECTO	REQUISITOS
Ensayo	- Ensayar las muestras apenas retiradas del cuarto de curado (Ver los rangos admisibles de tiempo de espera previo al ensayo en la siguiente en la tabla).
Condiciones previas al ensayo	- Muestras de edad de 24 horas, cubrirlas con paño.
	- Muestras de mayor edad, sumergidas completamente en agua a $23 \pm 2^\circ\text{C}$.
Preparación del espécimen	- Secar la muestra hasta dejarla con superficie seca.
	- Eliminar granos sueltos o incrustaciones en la superficie de la muestra.

Colocación y aplicación de carga	- Verificar la planitud de las caras con una regla, si no es regular esmerilar la superficie o descartar.
	- Controlar el área de la sección transversal, si excede las limitaciones descartar la muestra.
	- Centrar la muestra bajo el cabezal.
	- Aplicar carga sobre las caras planas del molde.
	- Asegurar que el cabezal pueda bascular libremente.
	- No usar en los cabezales materiales amortiguadores.
	- Cargar uniforme y continuamente, velocidad entre 900 - 1800 N/s hasta que falle.
	- Registrar la carga máxima total alcanzada.

Tabla 18 - Proceso de ensayo a la compresión de morteros de cemento.

9. Análisis e interpretación de resultados

9.1. Procesamiento y cálculo de datos

Los resultados obtenidos después de los procedimientos de toma de muestras de mortero de cemento arrojaron los siguientes resultados:

PROBETA N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE ELAB.	FECHA DE PRUEBA	TIPO CEMENTO	RELACIÓN	RELACIÓN	EDAD MUESTRA	CARGA	RESISTENCIA OBTENIDA	RESISTENCIA REQUERIDA
					A/C	C/AF				
1.1	PPMOR-CGU25217-M01.1	21/7/2025	24/7/2025	GU	0.485	1:4	3	97.5	126.59	12.42
1.2	PPMOR-CGU25217-M01.2	21/7/2025	28/7/2025	GU	0.485	1:4	7	120.5	156.45	15.35
1.3	PPMOR-CGU25217-M01.3	21/7/2025	4/8/2025	GU	0.485	1:4	14	145.3	188.65	18.51
1.4	PPMOR-CGU25227-M01.4	21/7/2025	18/8/2025	GU	0.485	1:4	28	152.7	198.25	19.45
1.5	PPMOR-CGU25227-M01.9	22/7/2025	25/7/2025	GU	0.55	1:4	3	85.9	111.53	10.94
1.6	PPMOR-CGU25227-M01.10	22/7/2025	29/7/2025	GU	0.55	1:4	7	105.7	137.23	13.46
1.7	PPMOR-CGU25217-M01.11	22/7/2025	5/8/2025	GU	0.55	1:4	14	128.9	167.35	16.42
1.8	PPMOR-CGU25217-M01.12	22/7/2025	19/8/2025	GU	0.55	1:4	28	143.2	185.92	18.24
1.9	PPMOR-CHE25237-M02.1	23/7/2025	26/7/2025	HE	0.485	1:4	3	120.3	156.19	15.32
1.10	PPMOR-CHE25237-M02.2	23/7/2025	30/7/2025	HE	0.485	1:4	7	152.7	198.25	19.45
1.11	PPMOR-CHE25237-M02.3	23/7/2025	6/8/2025	HE	0.485	1:4	14	180.9	234.87	23.04
1.12	PPMOR-CHE25237-M02.4	23/7/2025	20/8/2025	HE	0.485	1:4	28	190.9	247.85	24.31
1.13	PPMOR-CHE25247-M02.9	24/7/2025	27/7/2025	HE	0.55	1:4	3	110.8	143.85	14.11
1.14	PPMOR-CHE25247-M02.10	24/7/2025	31/7/2025	HE	0.55	1:4	7	148.5	192.80	18.91

1.15	PPMOR-CHE25247-M02.11	24/7/2025	7/8/2025	HE	0.55	1:4	14	162.4	210.85	20.68
1.16	PPMOR-CHE25247-M02.12	24/7/2025	21/8/2025	HE	0.55	1:4	28	175.8	228.24	22.39
1.17	PPMOR-CGU25257-M03.1	25/7/2025	28/7/2025	GU	0.485	1:2.75	3	107.8	139.96	13.73
1.18	PPMOR-CGU25257-M03.2	25/7/2025	1/8/2025	GU	0.485	1:2.75	7	125.8	163.33	16.02
1.19	PPMOR-CGU25257-M03.3	25/7/2025	8/8/2025	GU	0.485	1:2.75	14	158.9	206.30	20.24
1.20	PPMOR-CGU25257-M03.4	25/7/2025	22/8/2025	GU	0.485	1:2.75	28	175.2	227.47	22.31
1.21	PPMOR-CGU25267-M03.9	26/7/2025	29/7/2025	GU	0.55	1:2.75	3	94.7	122.95	12.06
1.22	PPMOR-CGU25267-M03.10	26/7/2025	2/8/2025	GU	0.55	1:2.75	7	118.3	153.59	15.07
1.23	PPMOR-CGU25267-M03.11	26/7/2025	9/8/2025	GU	0.55	1:2.75	14	145.2	188.52	18.49
1.24	PPMOR-CGU25267-M03.12	26/7/2025	23/8/2025	GU	0.55	1:2.75	28	160.2	207.99	20.40
1.25	PPMOR-CGU25287-M04.1	28/7/2025	31/7/2025	HE	0.485	1:2.75	3	140.1	181.89	17.84
1.26	PPMOR-CGU25287-M04.2	28/7/2025	4/8/2025	HE	0.485	1:2.75	7	172.9	224.48	22.02
1.27	PPMOR-CGU25287-M04.3	28/7/2025	11/8/2025	HE	0.485	1:2.75	14	210.6	273.43	26.82
1.28	PPMOR-CGU25287-M04.4	28/7/2025	25/8/2025	HE	0.485	1:2.75	28	225.9	293.29	28.77
1.29	PPMOR-CGU25297-M04.9	29/7/2025	1/8/2025	HE	0.55	1:2.75	3	133.7	173.59	17.03
1.30	PPMOR-CGU25297-M04.10	29/7/2025	5/8/2025	HE	0.55	1:2.75	7	166.7	216.43	21.23
1.31	PPMOR-CGU25297-M04.11	29/7/2025	12/8/2025	HE	0.55	1:2.75	14	191.1	248.11	24.34
1.32	PPMOR-CGU25297-M04.12	29/7/2025	26/8/2025	HE	0.55	1:2.75	28	208.4	270.57	26.54

PROBETA N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE ELAB.	FECHA DE PRUEBA	TIPO CEMENTO	RELACIÓN	RELACIÓN	EDAD MUESTRA	CARGA	RESISTENCIA OBTENIDA	RESISTENCIA REQUERIDA
					A/C	C/AF	DÍAS	KN	kg/cm²	MPa
1.33	PPMOR-CGU25217-M01.1	21/7/2025	24/7/2025	GU	0.485	1:4	3	107.9	140.09	13.74
1.34	PPMOR-CGU25217-M01.2	21/7/2025	28/7/2025	GU	0.485	1:4	7	132.6	172.16	16.89
1.35	PPMOR-CGU25217-M01.3	21/7/2025	4/8/2025	GU	0.485	1:4	14	148.1	192.28	18.86
1.36	PPMOR-CGU25227-M01.4	21/7/2025	18/8/2025	GU	0.485	1:4	28	156.4	203.06	19.92
1.37	PPMOR-CGU25227-M01.9	22/7/2025	25/7/2025	GU	0.55	1:4	3	94.2	122.30	12.00
1.38	PPMOR-CGU25227-M01.10	22/7/2025	29/7/2025	GU	0.55	1:4	7	116.3	150.99	14.81
1.39	PPMOR-CGU25217-M01.11	22/7/2025	5/8/2025	GU	0.55	1:4	14	137.5	178.52	17.51
1.4	PPMOR-CGU25217-M01.12	22/7/2025	19/8/2025	GU	0.55	1:4	28	149.1	193.58	18.99
1.41	PPMOR-CHE25237-M02.1	23/7/2025	26/7/2025	HE	0.485	1:4	3	127.2	165.15	16.20
1.42	PPMOR-CHE25237-M02.2	23/7/2025	30/7/2025	HE	0.485	1:4	7	163.9	212.79	20.88
1.43	PPMOR-CHE25237-M02.3	23/7/2025	6/8/2025	HE	0.485	1:4	14	197.3	256.16	25.13
1.44	PPMOR-CHE25237-M02.4	23/7/2025	20/8/2025	HE	0.485	1:4	28	207.8	269.79	26.47

1.45	PPMOR-CHE25247-M02.9	24/7/2025	27/7/2025	HE	0.55	1:4	3	123.6	160.47	15.74
1.46	PPMOR-CHE25247-M02.10	24/7/2025	31/7/2025	HE	0.55	1:4	7	156.8	203.58	19.97
1.47	PPMOR-CHE25247-M02.11	24/7/2025	7/8/2025	HE	0.55	1:4	14	166.3	215.91	21.18
1.48	PPMOR-CHE25247-M02.12	24/7/2025	21/8/2025	HE	0.55	1:4	28	182.2	236.55	23.21
1.49	PPMOR-CGU25257-M03.1	25/7/2025	28/7/2025	GU	0.485	1:2.75	3	119.3	154.89	15.19
1.5	PPMOR-CGU25257-M03.2	25/7/2025	1/8/2025	GU	0.485	1:2.75	7	145.1	188.39	18.48
1.51	PPMOR-CGU25257-M03.3	25/7/2025	8/8/2025	GU	0.485	1:2.75	14	166	215.52	21.14
1.52	PPMOR-CGU25257-M03.4	25/7/2025	22/8/2025	GU	0.485	1:2.75	28	183.2	237.85	23.33
1.53	PPMOR-CGU25267-M03.9	26/7/2025	29/7/2025	GU	0.55	1:2.75	3	100.7	130.74	12.83
1.54	PPMOR-CGU25267-M03.10	26/7/2025	2/8/2025	GU	0.55	1:2.75	7	124.4	161.51	15.84
1.55	PPMOR-CGU25267-M03.11	26/7/2025	9/8/2025	GU	0.55	1:2.75	14	150.8	195.79	19.21
1.56	PPMOR-CGU25267-M03.12	26/7/2025	23/8/2025	GU	0.55	1:2.75	28	162.1	210.46	20.65
1.57	PPMOR-CGU25287-M04.1	28/7/2025	31/7/2025	HE	0.485	1:2.75	3	157.7	204.74	20.09
1.58	PPMOR-CGU25287-M04.2	28/7/2025	4/8/2025	HE	0.485	1:2.75	7	184.3	239.28	23.47
1.59	PPMOR-CGU25287-M04.3	28/7/2025	11/8/2025	HE	0.485	1:2.75	14	219.1	284.46	27.91
1.6	PPMOR-CGU25287-M04.4	28/7/2025	25/8/2025	HE	0.485	1:2.75	28	241.1	313.02	30.71
1.61	PPMOR-CGU25297-M04.9	29/7/2025	1/8/2025	HE	0.55	1:2.75	3	140.2	182.02	17.86
1.62	PPMOR-CGU25297-M04.10	29/7/2025	5/8/2025	HE	0.55	1:2.75	7	172.7	224.22	22.00
1.63	PPMOR-CGU25297-M04.11	29/7/2025	12/8/2025	HE	0.55	1:2.75	14	199.1	258.50	25.36
1.64	PPMOR-CGU25297-M04.12	29/7/2025	26/8/2025	HE	0.55	1:2.75	28	215.5	279.79	27.45

Tabla 19 - Resistencia a la Compresión de Probetas Cúbicas de Cemento, según su tipo R A/C y R C/AF.

9.2. Interpretación técnica estadística de resultados

Luego de obtener valores del esfuerzo de compresión de las probetas cúbicas de mortero de cemento, resulta adecuado representar gráficamente cada uno de los casos que se han estudiado, para interpretarlos técnicamente.

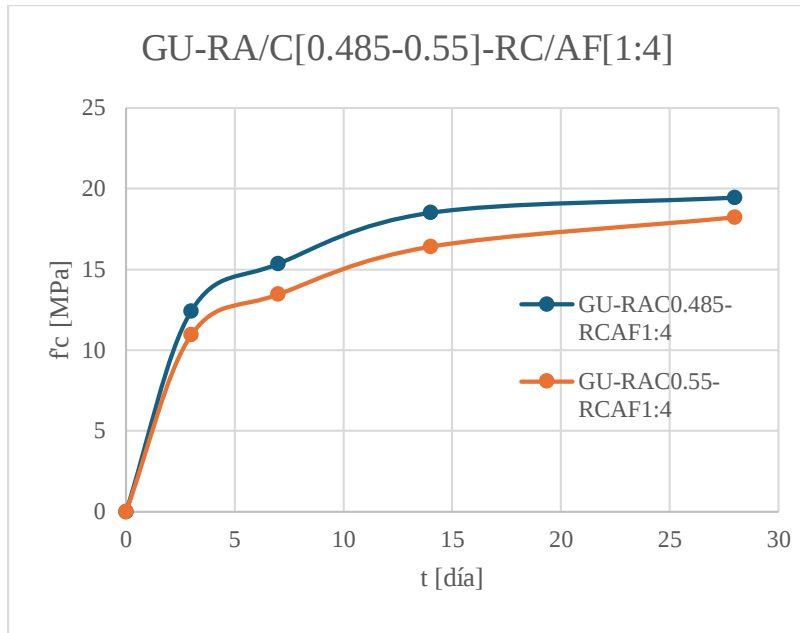


Ilustración 9 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C 0.485-0.55 RC/AF 1:4. Valores Mínimos.

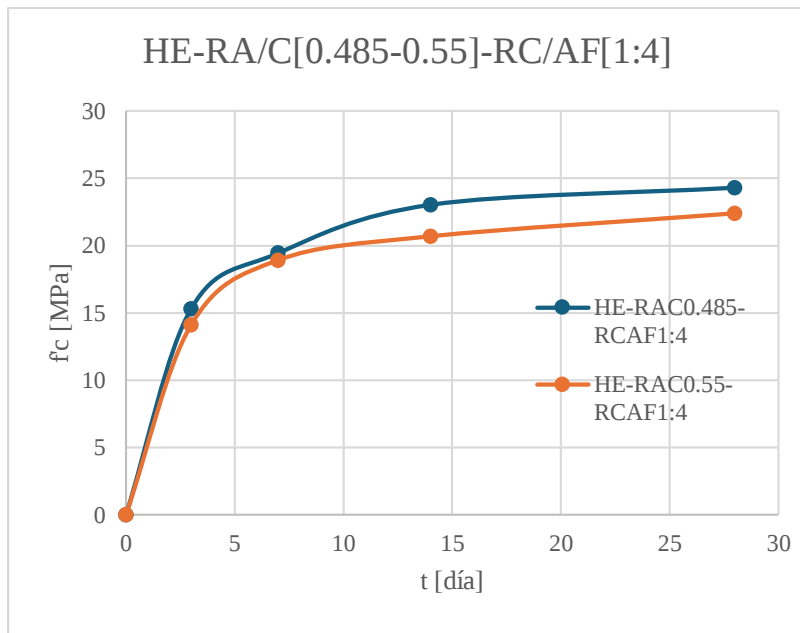


Ilustración 10 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento HE. R A/C 0.485-0.55 RC/AF 1:4. Valores Mínimos.

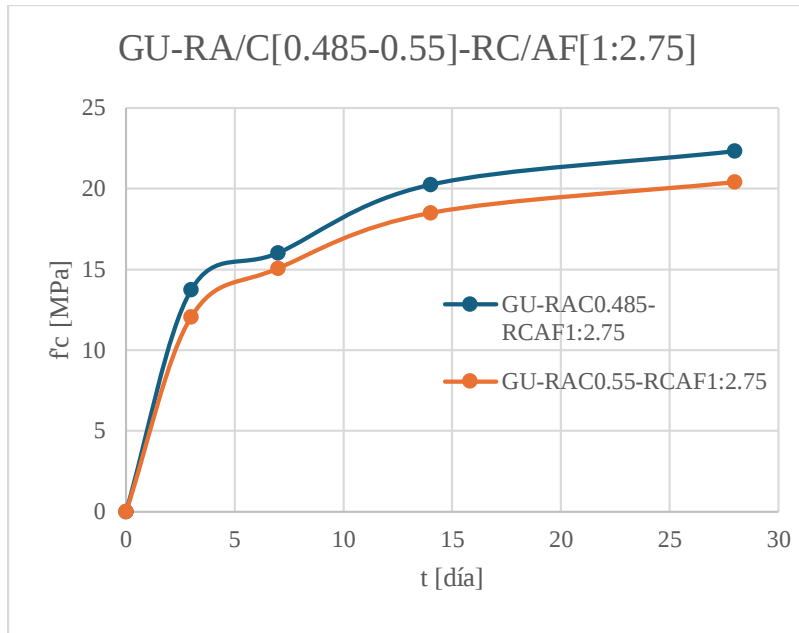


Ilustración 11 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C 0.485-0.55 RC/AF 1:2.75. Valores Mínimos.

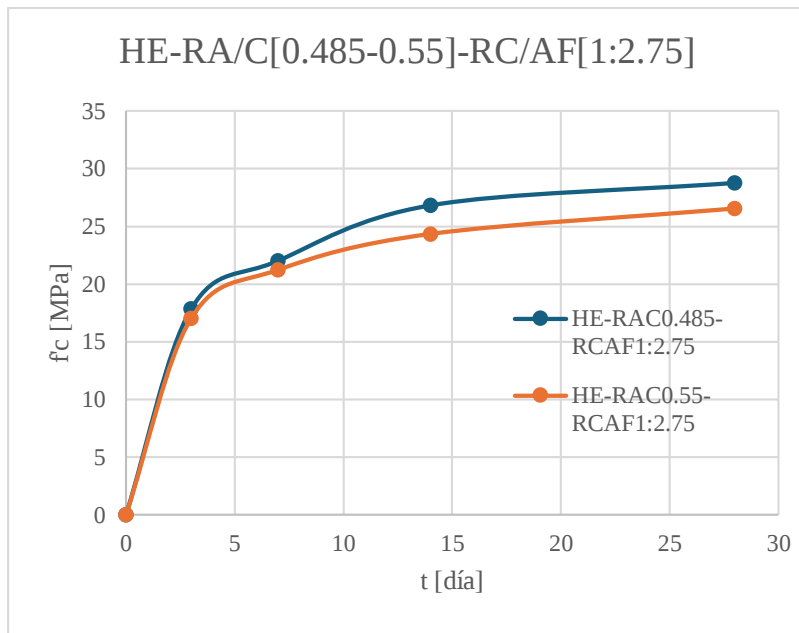


Ilustración 12 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento HE. R A/C 0.485-0.55 RC/AF 1:2.75. Valores Mínimos.

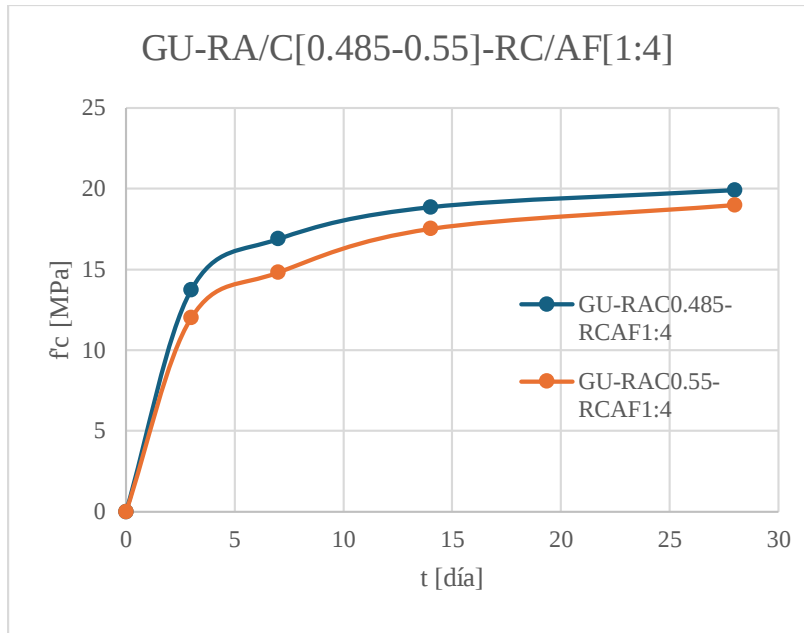


Ilustración 13 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C 0.485-0.55 RC/AF 1:4. Valores Máximos.

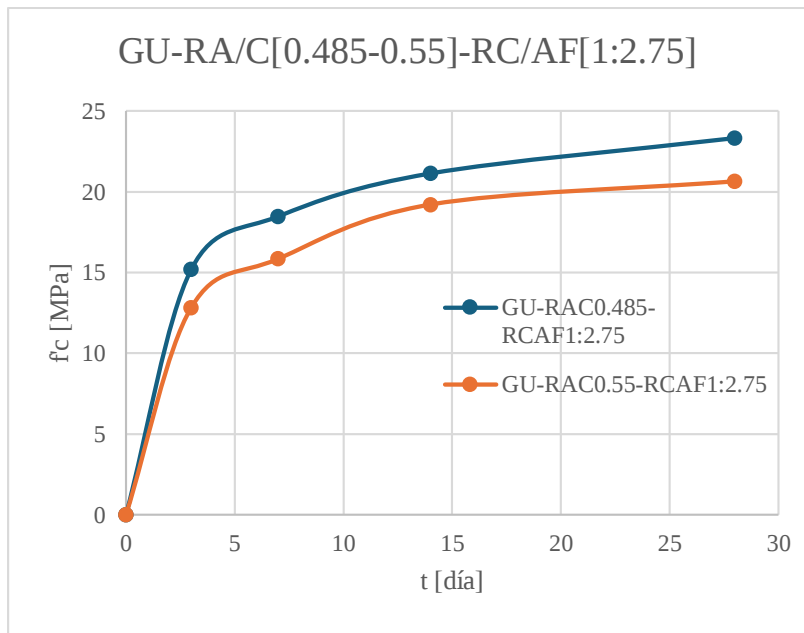


Ilustración 14 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C 0.485-0.55 RC/AF 1:2.75. Valores Máximos.

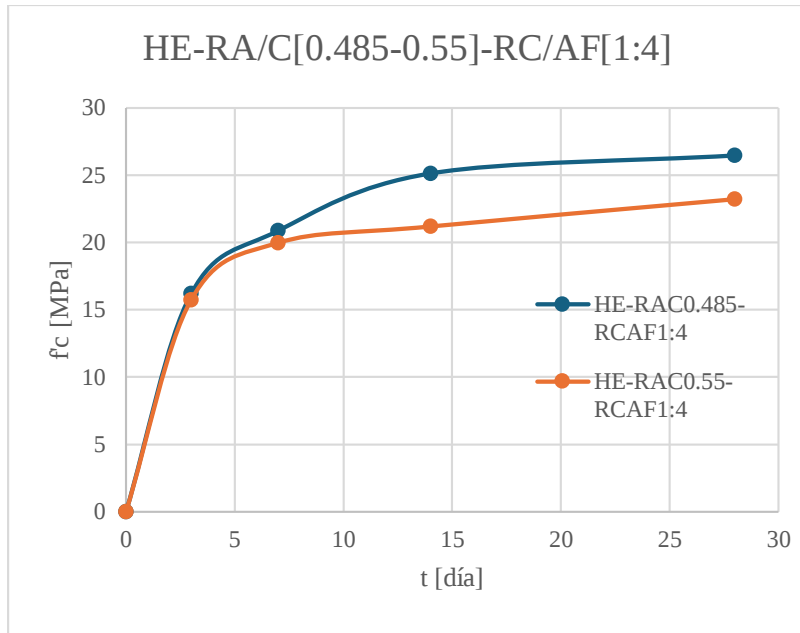


Ilustración 15 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento HE. R A/C 0.485-0.55 RC/AF 1:4. Valores Máximos.

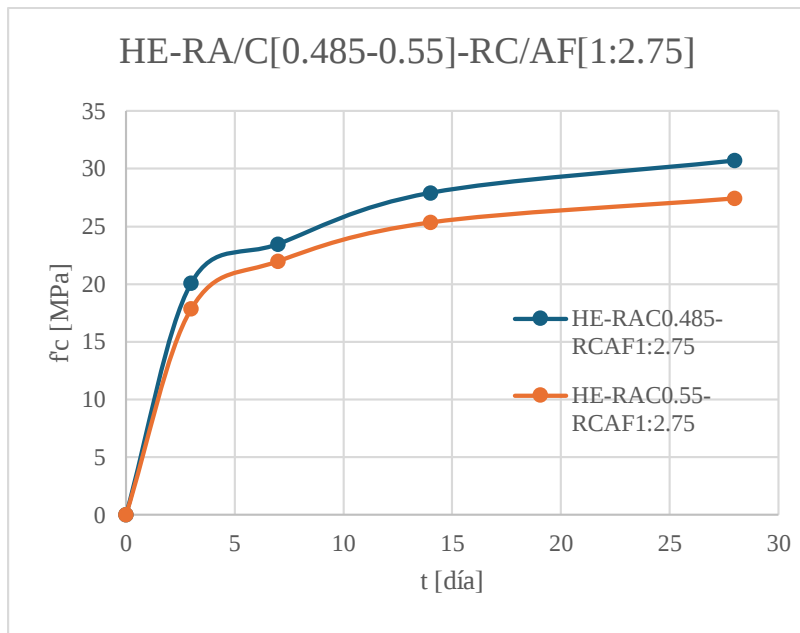


Ilustración 16 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento HE. R A/C 0.485-0.55 RC/AF 1:2.75. Valores Máximos.

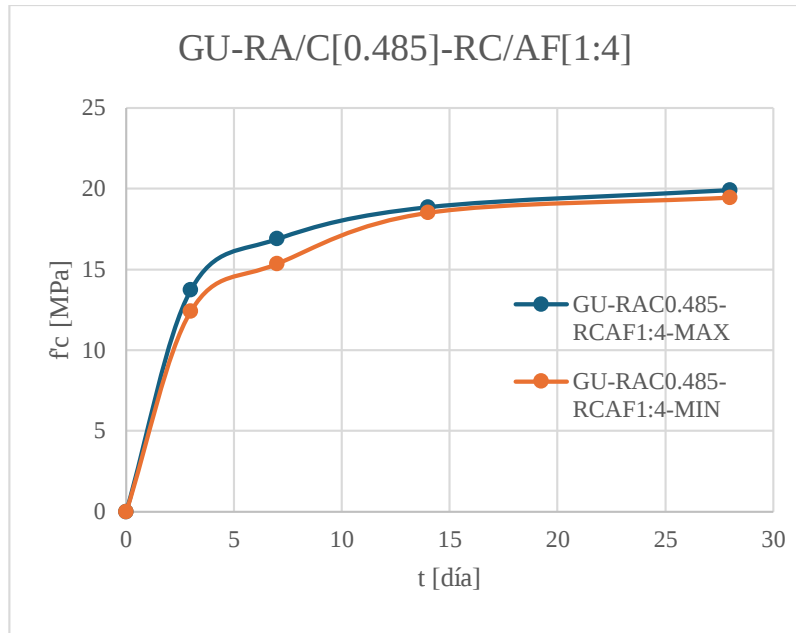


Ilustración 17 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C 0.485, RC/AF 1:4.

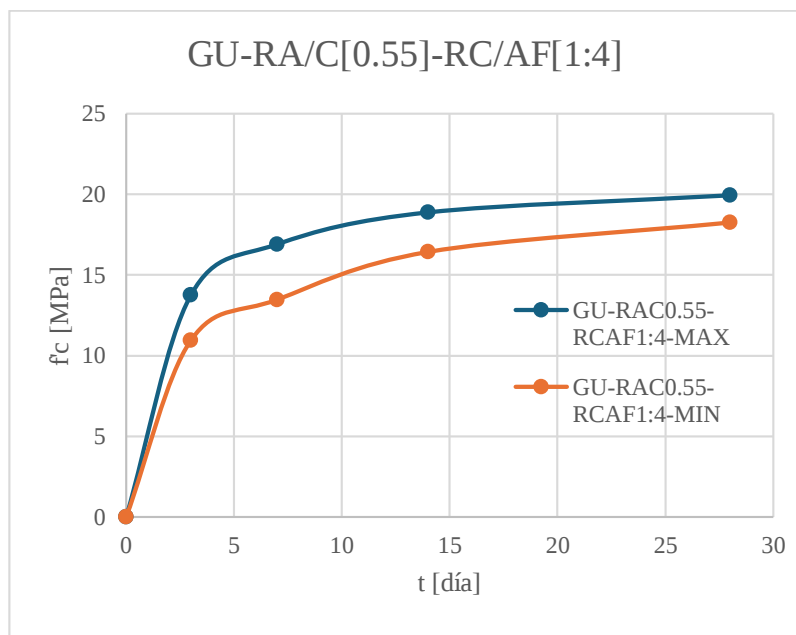


Ilustración 18 - Ilustración 17 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C 0.55, RC/AF 1:4.

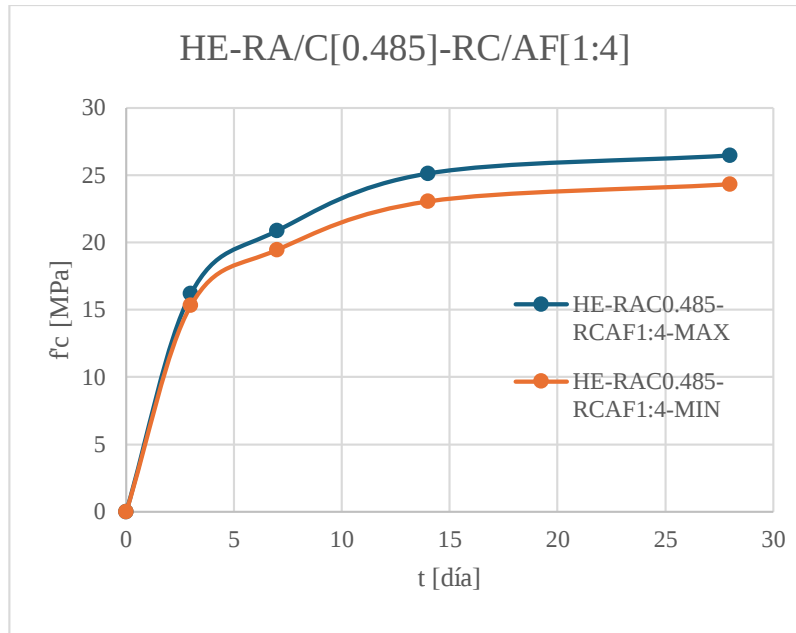


Ilustración 19 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento HE R A/C 0.485, RC/AF 1:4.

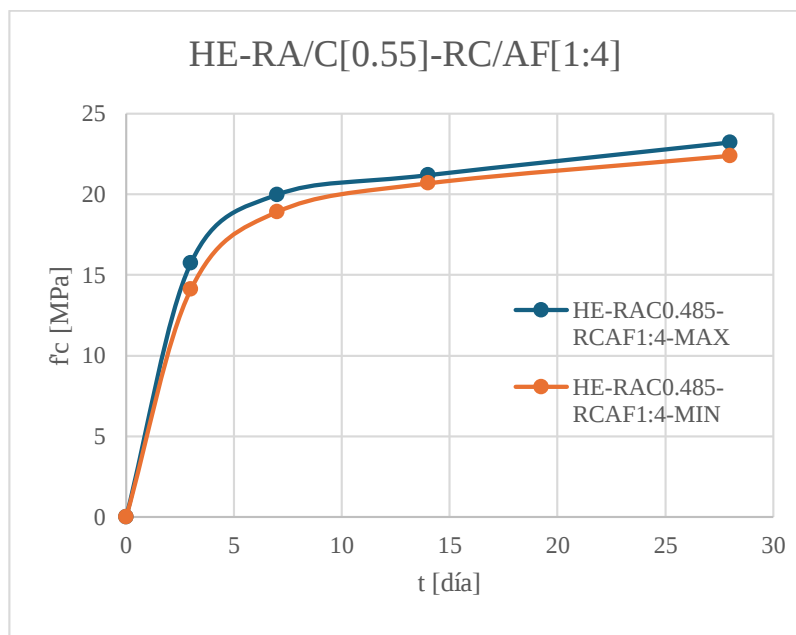


Ilustración 20 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento HE R A/C 0.55, RC/AF 1:4.

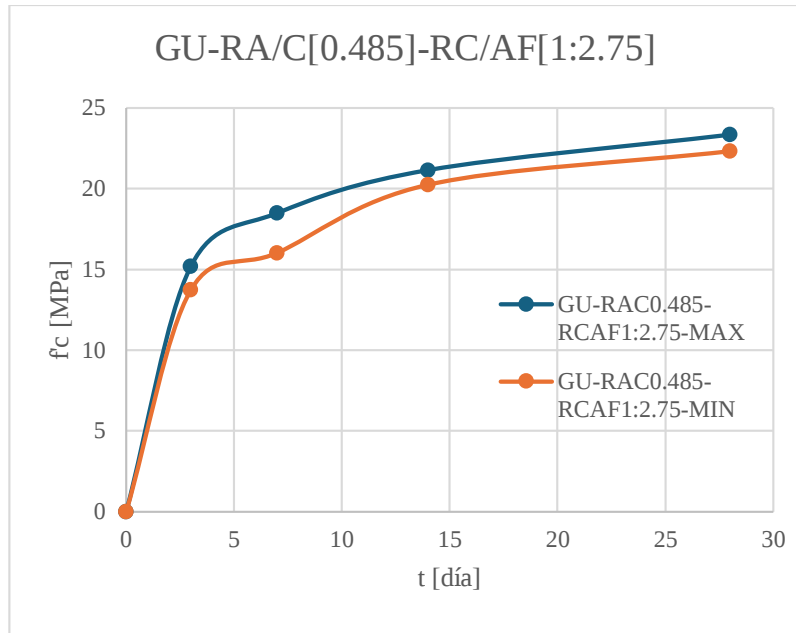


Ilustración 21 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C 0.485, RC/AF 1:2.75.

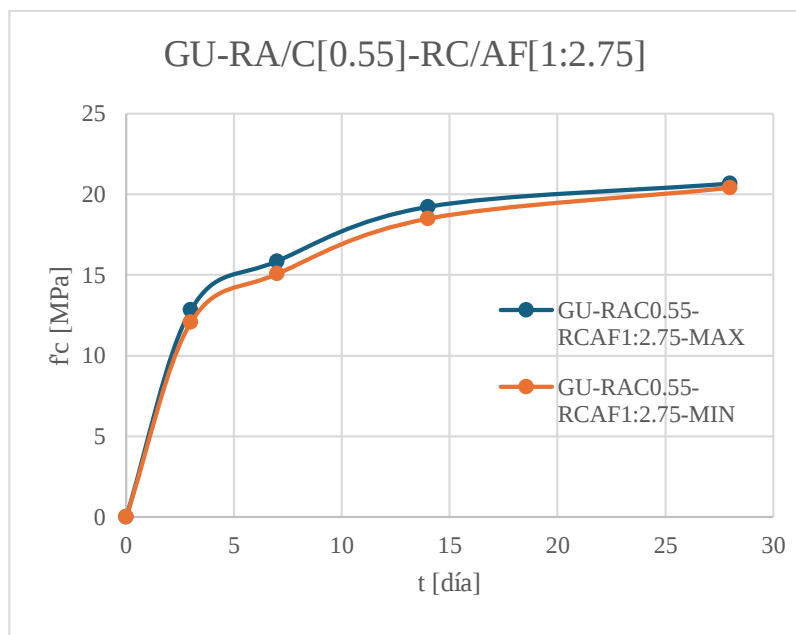


Ilustración 22 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C 0.55, RC/AF 1:2.75.

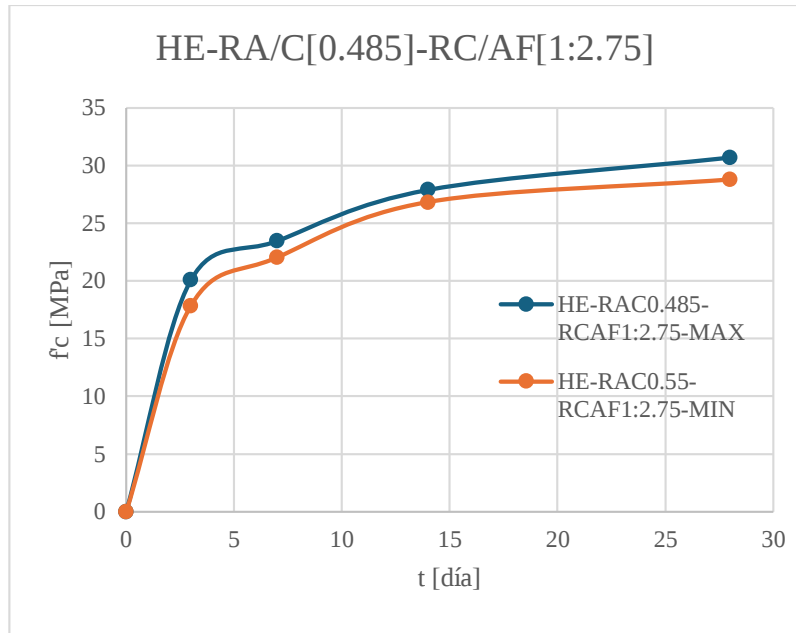


Ilustración 23 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento HE. R A/C 0.485, RC/AF 1:2.75.

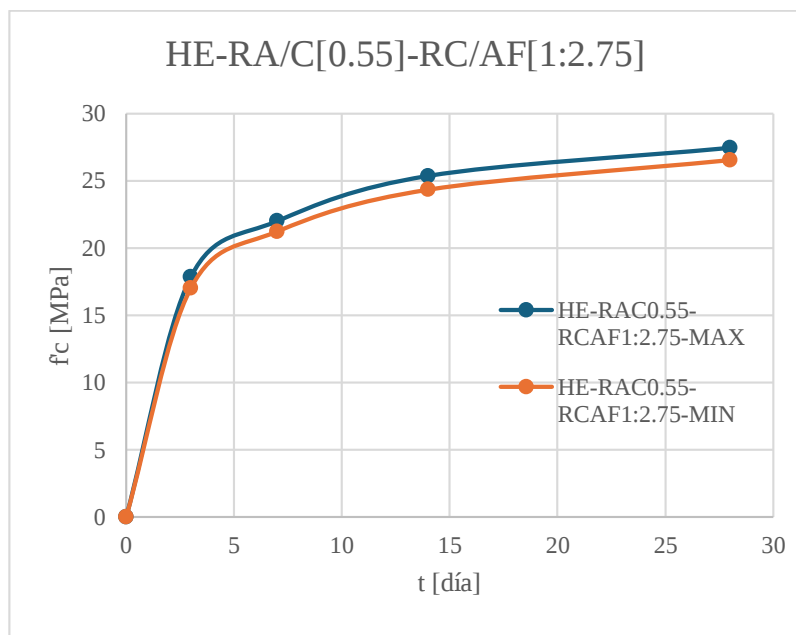


Ilustración 24 - Comparación de Resistencia de Probetas de Mortero de Cemento GU. R A/C 0.55, RC/AF 1:2.75.

10. Conclusiones

La industria de la construcción produce cemento a través de dos modalidades bien definidas. Por una parte, la cocción de compuestos químicos en un porcentaje tal que produzca Clinker con una característica en específico, por ejemplo, la de alta resistencia a sulfatos, altas resistencias iniciales entre otras, como se mencionó con anterioridad. La segunda forma sería la de trabajar con una base de cemento, pero que al mismo se le añadan compuestos especiales, para que según esto actúe de una forma en específico. En teoría estas dos modalidades suponen tener los mismos resultados, pero con diferente modo de producirlos, por lo que estas dos formas producen en general los llamados cementos hidráulicos.

Luego de la cocción de los componentes del cemento se generan como residuos algunos compuestos residuales, en un porcentaje mínimo de la masa total de cemento, algunos de ellos se presentan como en la naturaleza (estado puro) como lo son el CaO (cal libre) y el MgO (periclasa) sin generar efectos adversos en el comportamiento del cemento, pero otros compuestos también generados producto de esta reacción deben tomarse en cuenta al momento de evaluar el comportamiento del cemento, ya que los compuestos químicos conocidos como álcalis (Na_2O y K_2O), generan efectos adversos en el comportamiento del material, incluso lograrían en un porcentaje determinado degradar el elemento de concreto y también afectar la resistencia final y su tiempo límite para alcanzar la máxima resistencia última.

Puesto que el proceso de hidratación se produce de manera paulatina reduciendo su velocidad en el tiempo, ya que se da desde la parte exterior hasta la parte interior de los granos de cemento, e incluso en algunos casos no llega a hidratarse completamente, por lo que muchas partículas, principalmente las que tienen mayor masa o volumen nunca podrán reaccionar con el agua. Es indispensable aprovechar los días iniciales (al menos de los 7 días iniciales) de cualquier tipo de masa de aglomerado que incluya en su composición cemento de cualquier tipo, para generar

la mayor reacción de hidratación de los granos, a través de un proceso llamado curado que, al aplicarlo de forma inmediata y constante, mejor resultado de resistencia se obtendrá.

El almacenamiento del cemento es fundamental para obtener resultados reales de resistencia, mientras mayor es la finura del cemento, más susceptible es a reaccionar con la humedad al ser el área de contacto de las partículas menor, generara mayor hidratación, a tal punto que puede hidratarse con la humedad ambiente o humedad generada por diversos agentes externos, para evitar su deterioro es necesario almacenarlo en un lugar seco y evitar que el empaque que lo recepta sea permeable y tenga contacto directo con humedad ambiente o de otra índole. La finura también incide en el grado de retracción que tendrá la muestra evaluada, al generar un mayor calor de hidratación esta puede agrietarse significativamente, por lo que conocer una propiedad con la finura del cemento es de alta importancia, al momento de realizar diseños de mortero o concreto.

El ensayo del aparato de Vicat el cual determina la consistencia normal de las pastas de cemento y morteros de cemento, no es un ensayo correlativo de la trabajabilidad del concreto; se ha demostrado que cementos con granos más finos requieren más agua para llegar a su consistencia normal, pero este no es el caso del concreto, contradictoriamente un grano más fino de cemento lo hace más trabajable, esto se debe a que el ensayo de Vicat mide la viscosidad de la pasta de cemento, mientras que el cono de Abrams determina la lubricación y acomodo de partículas del hormigón.

El falso fraguado es producto de las temperaturas altas en las moliendas de cemento, generalmente cuando superan los 100°C , esto hace que el yeso que funciona como retardador de la mezcla de C3A que genera el fraguado relámpago de no controlarse, se deshidrate de forma parcial o total, dando la impresión de que existe una falta de agua en la mezcla, así pues es necesario diferenciar este tipo de fraguado a través de la temperatura de la mezcla, ya que este tipo

de fraguado no aumenta su temperatura y se puede modificar la trabajabilidad solamente dejando mezclar por más tiempo, sin que se necesite más agua, lo cual reduciría la resistencia final, por generar una variación en la relación A/C.

Realizar un ensayo de granulometría de los agregados para mortero o concreto, permite conocer las deficiencias que tiene según la masa faltante en cada tamiz, respecto a curvas granulométricas de referencia, este ensayo permitirá aceptar o descartar un material mal gradado para el proceso de producción, el uso de estos agregados da como resultado patologías muy conocidas en el concreto como poca trabajabilidad, resistencias bajas, segregación y una menor durabilidad. En casos especiales al ser requerido un hormigón especial, pueden obviarse estas deficiencias, siempre y cuando sean establecidas por requerimiento, tal es el caso para hormigones de alta permeabilidad o con fines arquitectónicos.

Respecto a las impurezas que puedan tener los agregados de mortero, si es que el ensayo de coloración para detectar contenido de orgánicos no produce resultados aceptables, no significa que tenga presencia de los mismos como tal, puede reaccionar debido a otros componente mineralógicos del agregado, para solventar las dudas existentes se puede realizar un ensayo de resistente de probetas cúbicas de mortero de cemento, comparadas con otro ensayo de mortero de cemento con una arena comprobada, la resistencia alcanzada por los morteros en ensayo deberá ser del 95% de la resistencia alcanzada por la arena de resistencia aceptable. Este resultado demostrará que la arena no presenta un porcentaje inadecuado de material orgánico.

Es indispensable controlar el agua de mezcla en una muestra de mortero, al evaporarse deja espacios vacíos a manera de micro-canales, mismos que cambian el comportamiento físico mecánico de las muestras solidificadas. Al tener más espacios vacíos, directamente reduce la densidad, aunque no sea un parámetro directo de medición de la resistencia hace que esta reduzca

al ser evaluada en contraste con una más densa, en la que se ha controlado la cantidad de agua empleada. Estos canales son vía de transporte para agentes nocivos al mortero haciéndolo muy permeable, mismo que puede ser atacado por productos de diversa índole, reduciendo en general su durabilidad, resistencia y empeorando el comportamiento mecánico, físico y químico del mortero en el tiempo. Dados los cambios de temperatura en los ciclos de dilatación y contracción del concreto estos canales pueden contraerse y colapsar generando su colapso fisuras de consideración e incluso iniciando procesos de corrosión del acero.

Es de alta importancia evaluar el agua que compondrá todos los elementos de la mezcla de mortero, ya que incluso previo a su mezcla es de importancia determinar la calidad de agua, se ha demostrado que agua contaminada afecta a los agregados al lavarlos, creando películas peligrosas en su superficie que disminuyen su adherencia, dificultan su trabajabilidad, cambian los tiempos de fraguado planteado y reducen su resistencia. Siempre que el agua tenga composiciones fuera de los valores límite, se deberá comparar su eficacia, contrastándola con otra agua de aceptables propiedades, realizando cubos de mortero, estos morteros al menos deberán tener el 90% de la resistencia a la compresión del agua de condiciones adecuadas, caso contrario el agua contaminada deberá ser descartada, encontrar un método de mejorar sus características o sino cambiar la fuente de obtención.

Es indispensable en la selección del material pétreo fino para diseño y dosificación de muestras de concreto, que la arena sea limpia y bien gradada, puesto que de sus características intrínsecas depende la trabajabilidad y penetración del agua, así como el comportamiento en general del mortero en cuanto a consistencia y resistencia respecta. Como es de conocimiento mientras mayor módulo de finura tenga una arena, mayor área específica tendrá el agua que recorrer para saturar el material, dando origen a morteros que tienden a agrietarse con mayor

facilidad, por ser más porosos y menos resistentes, además requerirán mayor cantidad de cemento para llegar a una similar resistencia de una mezcla similar con distinto módulo de finura del agregado fino.

En una pasta pura de cemento, el contenido de agua de la mezcla será el parámetro que controle la fluidez, en los morteros la existencia de agregados, su forma, tamaño de partículas influyen para que la mezcla posea una buena consistencia sin la necesidad de añadir más agua, esto se debe a que la forma y disposición de las partículas del agregado ayudan a que se produzca un deslizamiento más eficaz de la mezcla, funcionan como poliedros o esferas lubricantes.

11. Recomendaciones

Buscar para el agregado fino con mayor finura, el mismo deber ser óptimo tanto geográfica como económicamente, contemplando la finalidad y terminado del mortero a preparar; así pues, morteros para tabiquería, relleno pueden admitir agregados finos un módulo de finura más grueso, que los que se utilizan para terminados arquitectónicos como el enlucido. Adicionalmente se debe contemplar la procedencia de los agregados, que previenen comportamientos inadecuados en el mortero, así como aumentan la resistencia, por ejemplo, el agregado de río o natural consigue resistencias mayores que los agregados finos obtenidos en canteras (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

La arena normalizada debe manipularse cuidadosamente para evitar su segregación, ya que cualquier cambio en su granulometría puede alterar la consistencia del mortero. Durante el vaciado de los recipientes o sacos, es importante evitar la formación de montículos o huecos que favorezcan el deslizamiento de las partículas más gruesas. Los contenedores deben tener dimensiones adecuadas para permitir un manejo uniforme del material, y no se deben utilizar sistemas de

descarga por gravedad, ya que estos tienden a producir separación variaciones en la curva granulométrica del agregado fino (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Para asegurar la impermeabilidad de los moldes, puede emplearse una mezcla de parafina y resina para sellar las uniones con las placas base; sin embargo, esta combinación suele dificultar la limpieza posterior de los moldes. En caso de utilizar únicamente parafina, se deberá garantizar que las uniones queden completamente selladas, aunque por su baja resistencia se recomienda usarla solo cuando la fijación del molde a la placa base se realice mediante otro sistema de sujeción (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Elaborar una muestra representativa y homogénea de cemento durante el proceso de calificación, sirviendo como patrón secundario para la verificación y evaluación del método de ensayo. La realización periódica de pruebas con esta muestra permite detectar de manera temprana posibles variaciones en el desempeño o calibración de los equipos utilizados (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Para obtener resultados confiables en los ensayos de resistencia, es indispensable que las caras de los especímenes cúbicos sean planas y estén libres de irregularidades. Cualquier deformación o imperfección puede reducir significativamente el valor real de la resistencia. Por esto, es recomendable mantener los moldes limpios y en buen estado, empleando herramientas de limpieza más blandas que el propio material del molde para evitar su desgaste. Si alguna cara del espécimen presenta irregularidades, puede nivelarse frotando suavemente sobre una superficie plana cubierta con papel abrasivo fino, aplicando una presión moderada. Cuando la corrección requiera eliminar material en exceso, descartar la probeta y preparar una nueva (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

12. Bibliografía

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). *Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de Morteros en Cubos de 50mm de Arista*. Quito - Ecuador: INEN.

Mantalla Rodríguez, R. (2019). *El concreto. Fundamentos y nuevas tecnologías* (Vol. 1). (J. F. Londoño, Ed.) Bogotá, Colombia: Corona.

Rivera L., G. A. (2002). *Concreto Simple*. Cauca: Universidad del Cauca.

Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Bhandar.