

Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

Compliance limits passed through the sieve fine 200. Influence rheological-mechanical concrete matrix.

Ing. Lisandra Martínez Zamora

Ingeniera civil

Departamento de Construcciones de la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Cuba

Teléfono 256782

DrC. Lic. Magali Torres Fuentes

Licenciada en Química

Profesor Titular

Doctora en Ciencias Técnicas

Departamento de Construcciones de la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Cuba

Teléfono 256782

E-mail: magali.torres@umcc.cu

Recibido: 12-06-13

Aceptado: 04-09-13

Resumen:

Con el propósito de obtener datos para una próxima revisión de la Norma Cubana 251 del 2005 en cuanto al contenido en finos calizos y arcillosos en arenas, se ha abordado un proyecto de investigación bastante exhaustivo. Se presentan a continuación los resultados de la influencia de diferentes contenidos de finos calizos y arcillosos en las propiedades reológicas y mecánicas de los morteros. Previamente a estos trabajos experimentales se realizó una prospección general de diferentes canteras, utilizando para los ensayos las canteras: Canal, de la provincia de Cienfuegos y Antonio Maceo de Matanzas. Según los resultados obtenidos el límite podrá elevarse hasta el 7 %, siempre que se garantice una presencia de arcilla limitada por ensayos. Se contemplan como objetivo el estudio de la idoneidad de las arenas calizas trituradas con relación a las naturales de yacimiento,

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

determinando las prescripciones de la actual instrucción, estudios y correlación de los datos de fiabilidad y uso con otras propiedades del material, estudio de los parámetros de Equivalente de arena y Azul de Metileno. Además se evalúa los efectos que provoca en las propiedades mecánicas de los morteros en función de su adherencia. Se confirma el empleo de las arenas trituradas de Matanzas, lo cual constituye una fuente de ahorro considerable por concepto de transportación. Se confirma que los productos con contenidos de finos menores que el tamiz 200 libres de arcillas contribuye al incremento de las propiedades reológicas, mecánicas y de durabilidad. Los resultados manifiestan no solo la factibilidad sino las posibilidades de aplicación de los resultados obtenidos en este estudio.

Palabras Clave: Finos, Arcilla, Mortero, Equivalente de arena, Azul de Metileno.

Abstract:

In order to obtain data for the next revision of the International Standard 251 of 2005 regarding the content in limestone and clayey fine sands, has undertaken a fairly comprehensive research project. Given below the results of the influence of different contents of fine limestone and clay in the rheological and mechanical properties of mortars. Prior to these experimental studies, surveys were conducted generally in different quarries, using trials quarries: Canal, in the province of Cienfuegos and Matanzas Antonio Maceo. According to the results the limit may be raised to 7%, while ensuring limited presence by testing clay. Are contemplated aimed at studying the suitability of crushed limestone sands relative to natural reservoir, determining the requirements of the current instruction, studies and correlation of data reliability and use with other material properties, study of the parameters Sand Equivalent and Methylene blue. Besides evaluating the effects caused by the mechanical properties of mortars based on their adherence. This confirms the use of crushed sand of Matanzas, which is a considerable saving source transportation concept. Confirmed that products with lower fines content that the screen 200 free of clays contributes to increasing the rheological, mechanical and durability. The results not only demonstrate the feasibility but the applicability of the results obtained in this study.

Keywords: Fine, Clay, Mortar, Sand equivalent, Methylene Blue.

Introducción:

La historia del hormigón constituye un capítulo fundamental de la historia de la construcción. Cuando el hombre optó por levantar edificaciones utilizando materiales arcillosos o pétreos, surgió la necesidad de obtener pastas o morteros que permitieran unir dichos mampuestos para poder conformar estructuras estables. Se idearon diversas soluciones, mezclando agua con rocas y minerales triturados, para conseguir pastas que no se degradasen fácilmente.

El hormigón es el material resultante de unir áridos con la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante. El conglomerante puede ser cualquiera, pero cuando se refiere a hormigón o mortero, generalmente es un cemento artificial y entre estos últimos, el más importante y habitual es el cemento Portland.

Los áridos proceden de la desintegración natural o trituración artificial de rocas y según su naturaleza reciben el nombre de áridos silíceos, calizos, graníticos, etc. Estos áridos se incorporan al hormigón en distintas formas, fracciones, contenidos y composición granulométrica. El árido superior a 5 mm se llama árido grueso o grava, mientras que el inferior a 5 mm se llama árido fino o arena.

La pasta formada por cemento y agua es la que le confiere al hormigón su fraguado y posterior endurecimiento, mientras que el árido es un material inerte sin participación en el fraguado y endurecimiento. El cemento se hidrata en contacto con el agua, iniciándose complejas reacciones químicas que lo convierten en un producto maleable con buenas propiedades adherentes, que en el transcurso de unas horas, derivan en el fraguado y endurecimiento progresivo de la mezcla, obteniéndose un material de consistencia pétreo.

Resulta imposible imaginar la industria de la construcción sin el recurso de utilizar masivamente los áridos, primera materia prima consumida por el hombre después del agua. El árido influye en la resistencia, la puesta en obra y la durabilidad. Tiene que ser estable químicamente ante el cemento y el medio ambiente, por lo que no se puede discutir de durabilidad dentro de las estructuras de hormigón sin aludir a la calidad de los agregados. La durabilidad es la capacidad de las estructuras para soportar durante su vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta y que podrá llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural (RILEM, 1978).

La importancia de las características de los áridos en las propiedades del hormigón ha ido creciendo exponencialmente en el tiempo: desde considerarlos como elementos inertes dentro de una masa de cemento hidratado hasta el día de hoy, cuyas propiedades determinan, por ejemplo, la auto-compacidad, la docilidad, el coeficiente de dilatación térmica del hormigón, etc.

Originalmente, los áridos se vieron como compuestos inactivos, pues solo se empleaban como elementos baratos que se mezclaban con las pastas de cemento para conseguir mayor volumen de hormigón. Pero los áridos no son verdaderamente inertes, porque sus propiedades físicas, térmicas y a veces químicas influyen en la formación de las propiedades del hormigón. Según Neville (1996), los áridos no solo limitan la resistencia del hormigón, sino que sus propiedades afectan de manera fundamental a la durabilidad, a la estructura del hormigón y su estabilidad dimensional.

Los áridos es la materia prima que representa más del 50 por ciento de todos los recursos minerales consumidos, son materiales indispensables para el sector de la construcción. Sus usos son extremadamente variados comprendiendo la preparación de hormigones, fabricación de aglomerantes asfálticos, balasto, sub.-balasto, diques, bases, sub.-bases y rellenos. Esencialmente las arenas o agregado fino es aquel que es menor que el tamiz ASTM No. 4 (4,76mm), es un material con partículas de forma redondeada en los áridos naturales de río o angulosas o cúbicas en los áridos triturados. Aunque los áridos naturales han demostrado que requiere menos agua de mezclado, se logra con los áridos triturados mayor adherencia y resistencia mecánica en las mezclas endurecidas. Estos tipos de agregados finos causan un efecto mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso. Los agregados finos tienen una mayor superficie específica y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los agregados, el recubrimiento de pasta en la mezcla se verá afectado por la proporción en que se incluyan estos. Una óptima granulometría del árido fino es determinante por su requerimiento de agua en los hormigones, más que por el acomodamiento físico.

Entre las características de los áridos que influyen en la retracción del hormigón tenemos la capacidad de estos para aminorar la retracción de la pasta y la configuración de la zona de transición, que depende directamente de las características de los áridos y de las adiciones minerales activas.

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

En el hormigón además de los áridos finos y gruesos, también se hace uso de otros tipos de fracciones de áridos que pasan por el tamiz No. 200 bien sea porque están contenidos en el árido grueso, el árido fino o en el propio cemento. Según Fernández, (1980), estos tipos de áridos son conocidos como finos o fillers y su comportamiento en el hormigón es distinto, no tan solo por el diámetro de las partículas, sino también por su composición química y mineralógica.

Por lo que se define la **situación problemática** como: la Norma Cubana 251 del 2005 no hace referencia a los métodos para conocer al contenido de finos calizos y arcillosos en arenas pasados por el tamiz 200. Estos finos tienen una gran Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón, por lo que la inclusión en la norma de un procedimiento para conocer su contenido y saber de qué manera influyen estos finos según su naturaleza dentro de la matriz del hormigón influye en la calidad con que se elabora el hormigón en los centros de producción.

El **propósito** del trabajo de diploma, permitirá estudiar la influencia de contenidos variables de finos pasados por el tamiz 200, para así suministrar datos y propuestas relativas a la modificación del contenido admisible de finos en las arenas que desea introducirse en la NC-251: 2005

A partir de lo anterior se define el **problema científico** como:

Determinación de los límites de conformidad de finos menores que el tamiz 200 inertes o activos, esencialmente libre de arcilla, que contribuyen al incremento de las propiedades reológicas-mecánicas de la matriz del hormigón.

El **objeto de la investigación**: los áridos presentes en la matriz del hormigón.

El **campo de acción** los fillers inertes o activos que están presentes en los áridos.

En correspondencia con el problema planteado y los análisis previos desarrollados se define como **hipótesis** la siguiente:

Si se determina los límites de conformidad de finos menores que el tamiz 200 inertes o activos, esencialmente libre de arcilla, contribuirá al incremento de las propiedades reológicas-mecánicas de la matriz del hormigón.

Se consideran las siguientes **variables**:

- Variable dependiente: Propiedades reológicas y mecánicas.

- Variables independientes: porcentos de fillers en la elaboración de morteros para hormigones

Por lo que el **objetivo general** de la tesis es:

Determinar los límites de conformidad en el contenido de finos pasados por el tamiz 200 y su influencia en las propiedades reológicas y mecánicas en la matriz del hormigón.

De dicho objetivo general se derivan los siguientes **objetivos específicos**:

- ✓ Estudiar el estado del conocimiento de los áridos finos y fillers para hormigón y su normativa nacional e internacional.
- ✓ Caracterizar los materiales utilizados en la elaboración de mortero tanto el cemento; los áridos; y los fillers de los centros de producción analizados para evaluar la efectividad de los áridos y el comportamiento de los finos menores que el tamiz 200 dentro de la matriz del hormigón.
- ✓ Evaluar las posibles combinaciones de fillers en los áridos para definir los límites de conformidad en la matriz del hormigón logrando satisfactorios resultados en cuanto a resistencia mecánica y durabilidad.

Por lo que las **tareas a realizar** son:

- ✓ Estudio del estado del conocimiento de los áridos finos y fillers para hormigón y su normativa nacional e internacional.
- ✓ Caracterización de los materiales utilizados en la elaboración de mortero tanto el cemento; los áridos; y los fillers de los centros de producción analizados para evaluar la efectividad de los áridos y el comportamiento de los finos menores que el tamiz 200 dentro de la matriz del hormigón.
- ✓ Evaluación de las posibles combinaciones de fillers en los áridos para definir los límites de conformidad en la matriz del hormigón logrando satisfactorios resultados en cuanto a resistencia mecánica y durabilidad.

El cumplimiento de los objetivos conduce al **siguiente resultado**:

Determinación de los límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200, y su influencia en las propiedades reológicas y mecánicas en la matriz del hormigón.

El trabajo **encierra valor** desde el punto de vista **práctico**, ya que permitirá establecer métodos y criterios para la normativa cubana de áridos para hormigones contribuyendo al enfoque sistémico que interviene en el proceso y propiciando la correcta toma de

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

decisiones para lograr eficiencia. Desde el punto de **vista social el valor** se manifiesta en que el procedimiento empleado va a tener de manera directa una repercusión en el entorno técnico-económico del personal que interviene directamente en el desarrollo de la producción de hormigón en la provincia. El **valor económico** está determinado por la optimización de los recursos materiales que intervienen en la elaboración de hormigón, el tiempo y el capital humano. Los resultados alcanzados encierran **valor metodológico** al conocerse una nueva forma de saber la presencia de finos arcillosos o no, y que porcentaje está presente incluso después de lavados los áridos; donde existe la posibilidad de mejoras económicas y la adaptación a los cambios técnicos.

Los **métodos de investigación** utilizados en el desarrollo del trabajo serán determinados por el objetivo general y las tareas de investigación previstas. A nivel reflexivo se empleará el análisis síntesis y la evolución conceptual lógica; todos ellos de gran utilidad en el estudio de fuentes de información (impresas y en formato digital), y el procesamiento de los fundamentos científicos y de las disímiles apreciaciones de los autores a consultar.

La tesis está estructurada de la siguiente manera: resumen, introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas, y anexos.

En la introducción se caracteriza la situación problemática y se formaliza el protocolo de investigación a desarrollar.

En el **Capítulo I** "Estudio del estado del arte sobre influencia de los finos en las propiedades reológicas mecánicas en la matriz de hormigón": se aporta una panorámica general sobre el estado de actual de los requisitos de calidad de los áridos, su efecto en las propiedades del hormigón fresco como endurecido, así como la influencia de los finos presentes en los áridos en la zona de interfase árido-pasta y se analiza la evolución de las normativas en relación a los volúmenes de finos.

En el **Capítulo II**, Caracterización de los materiales a utilizar, a partir de técnicas de ensayos para determinar sus propiedades mecánicas, físicas, geométricas y químicas. Ensayos reológicos, mecánicos y de durabilidad en morteros para ser utilizados en hormigones.

Por último, en el **Capítulo III**, Discusión de los resultados en morteros y la influencia que tienen los diferentes tipos de finos en las propiedades reológicas y mecánicas dentro de la

matriz del hormigón, por último, definición de los límites de conformidad de los finos pasados por el tamiz 200 teniendo en cuenta los resultados de los diferentes ensayos.

Capítulo 1: Estudio del estado del arte sobre influencia de los finos en las propiedades reológicas mecánicas en la matriz de hormigón.

1.1 Introducción.

El hormigón es un material compuesto, en el cual existe una gran variabilidad en las características de sus componentes, especialmente en los agregados pétreos. Siendo éstas de carácter físico y químico, producen diferentes efectos, tanto en la trabajabilidad del hormigón como en su comportamiento en estado endurecido, el cual regirá su vida de servicio.

Es un material pétreo artificial que se obtiene de la mezcla, en determinadas proporciones, de pasta y agregados minerales. La pasta se compone de cemento y agua, que al endurecerse une a los agregados formando un conglomerado semejante a una roca debido a la reacción química entre estos componentes. De acuerdo a Chan *et al.* 2003, para lograr las mejores propiedades mecánicas, el hormigón debe contar con un esqueleto pétreo empacado lo más densamente posible, y con la cantidad de pasta de cemento necesaria para llenar los huecos que éste deje.

El esfuerzo que el hormigón puede resistir como material compuesto está determinado principalmente, por las características del mortero (mezcla de cemento, arena y agua), de los agregados gruesos y de la interfase entre éstos dos componentes. Debido a lo anterior, morteros con diferentes calidades y agregados gruesos con diferentes características (forma, textura, mineralogía, resistencia, etc.), pueden producir hormigones de distintas resistencias (Özturan y Çeçen, 1997).

Los efectos de los áridos finos en el hormigón son muchos y muy variados, y han sido comentados a lo largo de la evolución del hormigón por numerosos autores.

Los áridos finos ejercen en el hormigón una acción directa según las características propias del mismo sobre su resistencia estructural, porosidad, elasticidad, dureza, tamaño, textura, composición, constitución y las impurezas que pueda contener. De acuerdo a Fernández, (2007), la acción indirecta dependerá de su granulometría, forma de las partículas y compacidad, por el agua requerida para la trabajabilidad.

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

Los agregados son un componente dinámico dentro de la mezcla, aunque la variación en sus características puede ocurrir también durante los procesos de explotación, manejo y transporte. Y puesto que forman la mayor parte del volumen del material, se consideran componentes críticos en el hormigón, y tienen un efecto significativo en el comportamiento de las estructuras (Chan, 1993).

La necesidad de contar con un hormigón de calidad hace indispensable conocer a detalle sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos, especialmente de los agregados. Sin embargo, de acuerdo con Chan *et al*, 2003, uno de los problemas que generalmente encuentran los ingenieros y los constructores al emplear el hormigón, es la poca verificación de las características de los agregados pétreos que utilizan y la interfase árido-pasta, lo que propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los esperados.

Los métodos de diseño de las mezclas a veces deben parecer empíricos y dan la impresión de ser poco científico, pero nuestros cálculos son solo suposiciones, sin embargo mientras mejor sea nuestro conocimiento en los diversos ingredientes más preciso pueden ser nuestras suposiciones y poder alcanzar con lo que tenemos eficiencia y calidad en el trabajo, aunque el proceso nunca puede volverse automático, tiene tanto de arte como de ciencia.

1.2 Cemento Portland

Los cementos portland se obtienen por molturación conjunta de clinker, una cantidad adecuada de regulador de fraguado y eventualmente, hasta un cinco por ciento de adiciones. Estas adiciones pueden ser una sola o varias entre escoria siderúrgica, puzolana siderúrgica, puzolana natural, cenizas volantes, filler calizos y humo de sílice (Jiménez, García y Morán, 2000).

1.2.1 Hidratación del cemento Portland.

Durante el proceso de hidratación del cemento ocurre la formación de productos con características de gel, acompañada de la liberación de grandes cantidades de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ según las siguientes reacciones, representadas de forma idealizada:



Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

Los productos de estas reacciones son conocidos bajo el nombre genérico de Silicatos de Calcio Hidratados y presentan una estructura amorfa no estequiométrica representada como $(x\text{CaO}\cdot y\text{SiO}_2\cdot z\text{H}_2\text{O})$ (Taylor, 1990).

El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ no contribuye a la resistencia mecánica y puede ser extraído de la masa del concreto en ciclos de humedecimientos y secado, dando como resultado que la porosidad del concreto aumente, incrementando su permeabilidad y su susceptibilidad al ataque de agentes químicos externos (Ramírez, 2008).

1.2.2 Durabilidad.

Según Mehta y Monteiro, (1994). La durabilidad del Hormigón es la capacidad de resistir la acción de la intemperie, ataques químicos, abrasión u otro cualquier proceso de deterioro. Un hormigón durable conservará su forma original, calidad y capacidad de utilización cuando esté expuesto al medio ambiente. Todavía ningún material es eternamente durable, un mantenimiento de las estructuras siempre existirá.

En la tecnología de las estructuras de hormigón para obtener una mejor durabilidad se trabaja con hormigones de alta resistencia que presenten una relación a/c reducida y baja permeabilidad, controlando la reacción álcali- agregado, retracciones hidráulicas y plásticas. Sin duda la permeabilidad es la principal propiedad frente a la durabilidad de los hormigones. Las degradaciones químicas como la carbonatación, ataques por sulfatos o cloruros son proporcionales a la permeabilidad del hormigón.

1.3 Definición de mortero.

Los morteros se definen como mezclas de uno o más conglomerantes inorgánicos siendo el principal el cemento. También se puede adicionar cal como segundo conglomerante para aportar trabajabilidad y plasticidad. Otros componentes son los áridos silíceos, calizos; los aditivos químicos que pueden ser aireantes, plastificantes, retenedores de agua, hidrofugantes, retardantes y el agua (Revista técnica cemento hormigón, 2008).

Según (Salamanca, 2001) "Mortero en su definición más general es toda mezcla de [cemento + arena + agua]. Puede tener función estructural o no tenerla. Los pañetes, por ejemplo, no poseen función estructural. Los morteros usados en mampostería (pega o relleno) o los usados para fundir elementos estructurales sí poseen tal función".

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

Recibe el nombre de mortero, define (Menéndez, 1945) a la mezcla de materiales aglomerantes e inertes amasados con suficientemente cantidad de agua para ser laborables.

1.4. Propiedades físicas-mecánicas del mortero.

En los morteros se van a reconocer dos etapas diferenciadas por su estado físico.

1.4.1. Estado fresco.

Son las que lo hacen laborable y deformable bajo la acción de pequeños esfuerzos. Determinan las condiciones de uso del mortero.

• Compacidad.

Una mayor compacidad no solo proporciona gran resistencia mecánica frente a esfuerzos, impactos, desgaste, vibraciones, sino una mayor resistencia física a los efectos de la helada y química frente a la acción agresiva de los agentes climatológicos. Lo anterior se fundamenta ya que al contener una cantidad mínima de huecos o porosidades las vías de penetración de los agentes exteriores también disminuyen. (Jiménez, 2000).

La compacidad según (Menéndez, 1945) es la propiedad que tienen los morteros para acomodar las partículas en un volumen determinado, a medida que aumenta ésta logramos morteros más compactos ya que de ella depende la resistencia e impermeabilización de los mismos.

• Laborabilidad y consistencia.

Un mortero laborable cubre o extiende fácilmente el material sobre el elemento, lo que logra la máxima adherencia. Esto varía de acuerdo a los siguientes factores: cantidad de agua de amasado, tamaño máximo del árido, granulometría; la docilidad aumenta con la cantidad de cemento y contenido de fino (Jiménez, 2000).

La consistencia no es más que la deformación que alcanza el mortero fresco, se mide por medio de la norma NC 170: 2002, que nos indica la fluidez necesaria para morteros de albañilería.

• Capacidad de retención de agua y cantidad de agua.

Todo mortero bien dosificado tiene la capacidad de retener la suficiente cantidad de agua que necesita para hidratar las partículas de cemento y el árido que se encuentran presentes con sus respectivas burbujas de aire en el interior de la partícula.

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

La resistencia e impermeabilización aumentan con la disminución del agua siempre que el mortero se mantenga laborable. El agua en defecto reduce la adherencia y dificulta la laboriosidad de la mezcla, en exceso el agua hace menos resistente e impermeable el mortero y disminuye la adherencia por acumulación de agua en la superficie de contacto del mortero con los otros materiales. Se debe emplear la arena que requiera el mínimo de agua para una plasticidad determinada que son precisamente las que producen una máxima compacidad. No se debe olvidar que el agua que necesita el cemento para el fenómeno químico del fraguado es aproximadamente el 8% en peso siendo por tanto todo el resto, si bien indispensable, para la laboriosidad y el mantenimiento de un grupo de humedades perjudiciales en tanto al evaporarse dejará porosa la superficie del mortero. (Menéndez, 1945).

1.4.2. Estado endurecido.

Cuando tiene la edad necesaria para adquirir resistencia mecánica.

- **Resistencia mecánica.**

Una mayor resistencia en los morteros está dada por el incremento del contenido de cemento y se hace notar un descenso de dicha resistencia con la adición de cal, arena y agua según norma NC 175: 2002. Por lo que esta actividad va a depender fundamentalmente del contenido y tipo del conglomerante, naturaleza y graduación de los áridos, la relación agua/cemento, la compacidad, las condiciones de curado y aplicación.

La resistencia a compresión de los morteros plantea (Menéndez, 1945) dependerá también del tiempo de fraguado o endurecimiento de cada adherente, siendo la cal más idónea para aglomerar las partículas del material inerte por su lento fraguado permitiendo un mejor acomodamiento de los elementos con que se encuentra en contacto.

Por tal razón se le adiciona cal a las morteros de cemento Portland que presentan un fraguado rápido para aumentar su plasticidad volviéndolos más laborables para el operario.

- **La retracción.**

Son unas series de contracciones que experimenta el hormigón lo que resulta en una pérdida del volumen inicial durante el proceso de fraguado, al perder el agua sobrante de la hidratación del mortero, ya sea por succión del material donde se coloca o mezcla, o por evaporación por medio de la acción del aire o el viento. Esta última atenta con la

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

impermeabilidad del mortero por los poros y fisuras que se forman al evaporar el agua necesaria para hidratar las partículas de cemento (Nilson, 1999).

• **La absorción de agua, porosidad e impermeabilización.**

La absorción de agua afecta a los morteros expuestos a las inclemencias meteorológicas. Si el mortero es permeable al agua transpira hasta el interior; originando la consiguiente aparición de humedad por filtración. Además favorece al tránsito de partículas o componentes no deseables para la durabilidad del elemento como por ejemplo, la aparición de eflorescencia. (Revista técnica cemento hormigón, 2008).

La porosidad en los morteros es la propiedad que tiene de dejar huecos en su masa donde se pueden alojar líquidos o gases, es lo contrario de la compacidad. Los líquidos o gases pueden penetrar en esos huecos sin ayuda de una presión externa solo por capilaridad. Cuando más pequeños y numerosos sean los huecos mayores será la tendencia a penetrar los líquidos por capilaridad (Menéndez, 1945).

La permeabilidad de los morteros es la propiedad que tienen éstos de dejarse atravesar por líquidos bajo la influencia de una diferencia de presiones entre las superficies que limitan el material. Un alto grado de impermeabilización se obtiene con un mortero bien homogéneo, compacto, con poca agua de amasado, una correcta granulometría y agregados pétreos de altas densidades para evitar el agua en los poros. El exceso de agua conlleva a las fisuras por retracción y porosidad por evaporación del agua sobrante. (Parker, 2008).

1.5 Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del mortero estructural en estado fresco.

La absorción es quizás la propiedad del agregado que más influye en la consistencia de la matriz del hormigón, puesto que las partículas absorben agua directamente en la mezcladora, disminuyendo la manejabilidad de la mezcla. Si dos tipos de agregados tienen absorción similar, otros factores secundarios serán de importancia en la consistencia de la mezcla, tales como forma, tamaño y graduación; ya que mientras mayor superficie del agregado sea necesario cubrir con pasta, se tendrá menos fluidez. (Alaejos y Fernández 1996).

En el agregado fino hay dos elementos que deben ser considerados, por un lado el módulo de finura (MF), y por el otro la continuidad en los tamaños, ya que algunas arenas pueden tener módulos de finuras aceptables (entre 2.2 y 3.1) y carecer de alguna clase

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

granulométrica. Si consideramos únicamente el módulo de finura, pueden obtenerse dos condiciones desfavorables: una de ellas existe cuando el módulo de finura es mayor a 3.1 (arena gruesa), en donde puede ocurrir que las mezclas sean poco trabajables, faltando cohesión entre sus componentes y requiriendo mayores consumos de cemento para mejorar su trabajabilidad; la otra condición es cuando el módulo de finura es menor a 2.2 (arena fina), en este caso puede ocurrir que los morteros sean pastosos y que haya mayores consumos de cemento y agua para una resistencia determinada, y también una mayor probabilidad que ocurran agrietamientos de tipo contracción por secado (Uribe 1991).

1.6 Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del mortero estructural en estado endurecido.

Frecuentemente la variación de la resistencia del mortero puede explicarse con el cambio de la relación a/c, no obstante existe evidencia en la literatura que éste no siempre es el caso. Además por consideraciones teóricas, independientemente de la relación a/c, las características de las partículas del agregado tales como el tamaño, la forma, la textura de la superficie y el tipo de mineral, influyen en las características de la zona de transición, y por lo tanto, afectan la resistencia (Mehta y Monteiro 1998).

En cuanto a la interrelación mecánica entre la matriz y el agregado, la textura superficial de éste es principalmente responsable de la adherencia. El árido producto de la trituración produce una adherencia superior comparado con el árido de canto rodado; aunque en la adherencia también tiene influencia la relación a/c que afecta tanto física como químicamente la zona de interfase. (Özturan y Çeçen 1997).

Es conocido que a mayor porosidad mayor fuerza de adhesión, de manera que los agregados con una mayor densidad y resistencia al desgaste presentan una menor porosidad, y como consecuencia menor adherencia y cantidad de finos que pasan por la malla N° 200 (Cerón *et al.* 1996).

1.7 Influencia de los agregados pétreos en la zona de interfase.

Ante la aplicación de cargas, el micro agrietamiento se inicia generalmente en la zona de interfase (ITZ) entre el agregado y la pasta de cemento que lo rodea; y posteriormente en el momento de la falla ante el incremento de las cargas, el patrón de grietas siempre incluye a la interfase; lo anterior subraya la importancia de esta zona. Por ello es necesario darle la

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

debida importancia a las propiedades y el comportamiento de la zona de interfase (Neville, 1999).

La zona de interfase tiene su propia microestructura. La superficie del agregado se cubre con una capa de cristales orientados de Ca(OH)_2 , (hidróxido de calcio) con un espesor aproximado de $0.5 \mu\text{m}$, tras de ésta hay una capa de silicato de calcio hidratada, también de aproximadamente $0.5 \mu\text{m}$ de espesor; estas capas son conocidas como la película doble. Más alejada de los agregados está la zona de interfase principal de unos $50 \mu\text{m}$ de espesor, conteniendo productos de hidratación del cemento con cristales más grandes de Ca(OH)_2 , pero menores que los de cualquier cemento hidratado (Neville, 1997).

La zona de interfase no sólo existe en la superficie de las partículas del agregado grueso sino también alrededor de las partículas de la arena, aquí el espesor de la zona de interfase es más pequeña, pero la suma de las zonas individuales generan un volumen muy considerable, al grado que el volumen total de la ITZ está entre un tercio y un medio del volumen total de la pasta de cemento endurecida. La microestructura de la zona de interfase es grandemente influenciada por la situación que existe en la cubierta final, en esta zona las partículas de cemento son incapaces de unirse estrechamente con las partículas relativamente grandes del agregado; en consecuencia, la pasta de cemento endurecida en la zona de interfase tiene una porosidad mucho mayor que la pasta de cemento endurecida más alejada de las partículas del agregado.

Según Cetin y Carrasquillo (1998), la diferencia entre los módulos de elasticidad del agregado y de la pasta de cemento endurecido influye en la tensión en la interfase de los dos materiales; una mejor conducta monolítica se logra cuando la diferencia entre los módulos de elasticidad es baja. Bajo este contexto, es importante considerar la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento endurecida que lo rodea, reconociendo a la interfase como un elemento de gran importancia en el modelo estructural del hormigón.

1.8 Definición de Reología.

Con el desarrollo de los materiales de construcción artificiales y de otros productos que deben presentar propiedades mecánicas definidas: se ha llegado a la necesidad de superar las teorías "elásticas" o las propias de la "viscosidad", dado su carácter elemental. Se ha tratado así de constituir una nueva rama de la ciencia que estudie el mecanismo de las deformaciones de los materiales en la comprensión de su constitución íntima. Ella es la

Reología o ciencia de la fluencia y las deformaciones de la materia. A diferencia de la Mecánica, que trata de los sistemas de puntos materiales y de cuerpos y sistemas de cuerpos indeformables, la Reología estudia las deformaciones como consecuencia de los movimientos relativos: de las partículas de un cuerpo, las unas con respecto a las otras, y de acuerdo a las propiedades específicas de la materia que lo forma. El objetivo de la Reología está restringido a la observación del comportamiento de materiales sometidos a deformaciones muy sencillas. Por medio de la observación y del conocimiento del campo de deformación aplicado, el reólogo puede en muchos casos desarrollar una relación constitutiva o modelo matemático que permite obtener, en principio, las funciones de los materiales o propiedades que caracterizan el material. (Reiner, 1955).

1.9 Sustancias dañinas (arcillas)

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados:

-Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 0,2 mm).

-Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico (material suelto o sedimentos), con características bien definidas. Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 0,2 mm.

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 0,2 mm. Según esto todos los filosilicatos (son un tipo de silicato capaces de retener grandes cantidades de agua por absorción) pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan las 0,2 mm. Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan (García y Suárez, sf).

1.9.1. Propiedades físico-químico de las arcillas.

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 0,2 mm).
- Su morfología laminar (filosilicatos).
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interaccionar con diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales (García y Suárez, sf)

-Superficie específica

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g . Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

-Capacidad de Intercambio catiónico

Es una propiedad fundamental de las esmectitas. Son capaces de cambiar, fácilmente, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes. La capacidad de intercambio catiónico (CEC) se puede definir como la suma

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral.

A continuación se muestran algunos ejemplos de capacidad de intercambio catiónico (en meq/100 g):

Tabla 1.1. Capacidad de intercambio catiónico de las arcillas.

Caolinita:	3-5
Halloisita:	10-40
Illita:	10-50
Clorita:	10-50
Vermiculita:	100-200
Montmorillonita:	80-200
Sepiolita-paligorskita:	20-35

Fuente: Tomada de (García y Suárez, sf)

-Capacidad de absorción

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmectitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita).

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso.

-Hidratación e hinchamiento

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmectitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

-Plasticidad

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (Jiménez Salas, et al. , 1975).

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

1.10 Generalidades sobre las arenas de trituración.

Las arenas de trituración también conocidas como arenas manufacturadas o artificiales, son el producto de la trituración de rocas de cantera o canto rodado, que provienen de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. La producción de este tipo de agregado fino surge de la necesidad de obtener arenas de composición mineralógica uniforme, granulometría más controlada y con menor grado de material orgánico. También posee la característica de ser un agregado fino formado de partículas angulosas que proporcionan mayor adherencia en las mezclas de hormigón, favoreciendo el incremento de las resistencias iniciales y finales. Por sus especiales características, las arenas de trituración han provocado que el uso de las arenas naturales, se reduzca a ciertos tipos de trabajos. Esto se debe a que las arenas naturales son de forma redondeada y lisas mejorando la trabajabilidad, pero su adherencia es menor; con granulometría variable y diverso grado de contaminación (Palencia, 1999)

1.11 Tratamiento Normativo.

La principal causa de la limitación en el contenido de finos viene dado porque existen algunas partículas no deseadas, como son las arcillas que se agrupan formando una delgada capa sobre la superficie de los áridos, disminuyendo así su adherencia. Y como ya se ha comentado en este mismo capítulo, la adherencia es uno de los factores más influyentes en la resistencia.

Según González Martínez (1992), para que realmente sea perjudicial para la adherencia del árido, las partículas tienen que encontrarse en gran cantidad y ser muy finas de manera que exista una película impenetrable por el conglomerante durante la hidratación con el árido. Las limitaciones impuestas al contenido de finos han sido matizadas con ensayos específicos sobre los finos para determinar el contenido de arcilla (Azul de Metileno) o su influencia (equivalente de arena).

1.11.1 Evolución.

El redactado de una normativa en relación al hormigón, surge de la necesidad de garantizar la seguridad de las personas y los bienes afectados por las obras de hormigón, y de establecer prescripciones, con objeto de asegurar su funcionalidad.

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

Pero no es hasta la NC 251:2011 que se hace restricción en referencia a los ensayos que determinen la cantidad de arcilla dentro de los áridos finos. Si bien la NC 251:2005 en su artículo 1 sobre áridos, admite que puede emplearse arenas y rocas machacadas:

NOTA: “Los áridos que no cumplan con algunos de los requisitos establecidos en esta norma se consideran NO CONFORMES. En este caso solo podrán comercializarse si satisfacen las exigencias de los clientes atendiendo al uso para el que será destinados o si existen experiencias de uso en casos similares para las categorías de hormigones exigidos por los clientes que avalen el comportamiento idóneo de dichos áridos”

El artículo 4.2.3 se limitan los terrones de arcilla, según la NC 185:2002 pero sin hacer referencia a la arcilla en polvo que puedan llevar los áridos finos. Se limitan los finos que pasan por el tamiz 200 referente de la NC 200:2000 al 5% en peso para el árido fino. Como se mencionó anteriormente referente al control de áridos para el hormigón se especifica que el no cumplimiento de estos artículos es condición suficiente para calificar el árido como no apto para fabricar hormigón.

El motivo por el que se decidió cambiar la normativa reside en los estudios de las actuales tendencias internacionales al comportamiento de los finos libre de arcilla dentro de las mezclas, debido que el problema recae en el por ciento de las mismas dentro del árido fino, su presencia ya explicada anteriormente hace que sea necesario su estudio y correcta evaluación.

Esta investigación avalada por el personal del Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales para la Construcción (CTDMC) pretende confirmar la nueva modificación de la norma cubana y que en hormigones el problema reside en otros factores que son los que marcan la pérdida de resistencia. De aquí que surja la necesidad de modificar la NC 251:2005 en materia de finos, limitado su uso por el contenido de arcilla de los finos menores que el tamiz 200, por eso se propone una condición que englobe ambos conceptos, cantidad de finos y contenido de arcilla en ellos, por tanto este es el fundamento de porque se decide variar la norma. Estudios realizados por Urreta, 2006 destacan que en ausencia de arcilla la resistencia a la compresión no se ve perjudicada.

Como se observa en la **Tabla 1.2** existe una pérdida importante de resistencia al aumentar el contenido de arcilla, comparado con masas completamente limpias y con contenidos de

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

finos, entre el 10 y el 15 por ciento. Por tanto se deriva que el incremento de arcilla hace caer en escalón las resistencias obtenidas.

Tabla 1.2 Pérdida de resistencia en función del porcentaje de contenido de arcilla.

Arcilla en la arena (%)	Perdida de resistencia (%)
1	11
2	15
3	19
4	23

Fuente: Tomada de Urreta (2006)

El control de la limpieza de las arenas, en la NC 251:2011, se ejerce por medio del contenido en finos, el equivalente de arena y Azul de Metileno. Como ya se ha comentado, uno de los ensayos que caracteriza el contenido arcilla es el Equivalente de Arena (EA) (UNE-EN 933-8:2000). El objetivo del ensayo es determinar la fracción granulométrica 0,2mm o 0,4mm de los áridos finos y de la mezcla total de los áridos. Se fundamenta en liberar de la muestra de ensayo los posibles recubrimientos de arcilla adheridos a las partículas de arena mediante la adición de una solución floculante que favorece la suspensión de las partículas finas sobre la arena, determinando su contenido respecto a las partículas de mayor tamaño. Por tanto con este ensayo se puede determinar la proporción de arcilla y el contenido de finos que existen en la muestra de arena.

Para Urreta, (2006), el problema de esta prueba índice es que podría permitir arenas con moderados contenidos de finos y altas proporciones de arcilla, combinaciones que conduce a bajos resultados

Para mitigar el efecto negativo del Equivalente de Arena en la normativa se combina con el ensayo del Azul de Metileno (AM) (UNE-EN 933-9:1999). El objeto de este ensayo es determinar el valor de Azul de Metileno de la fracción granulométrica de los áridos finos o de la mezcla total de los áridos. Se fundamenta en la adición de pequeñas dosis de disolución de Azul de Metileno a una suspensión de la muestra de ensayo en agua, comprobando la absorción de colorante por parte de la muestra y realizando una prueba de coloración sobre papel de filtro.

Los ensayos realizados por Urreta (2006) muestran que es un ensayo con poca dispersión y sensible al incremento de arcilla. Al incrementar los finos en cada nivel de arcilla, el Azul

de Metileno requerido aumenta de una forma lineal. Combinando los resultados del AM con los de resistencia se aprecia que un incremento de arcilla supone un decremento de resistencia y un incremento de azul. Según Urreta (2006), por otra parte, dentro de un mismo nivel de arcilla, un incremento de finos totales implica una disminución limitada de la resistencia y un aumento de Azul de Metileno.

1.12 Conclusiones parciales

1. En la matriz del hormigón en estado fresco, se ha observado que las arcillas y los finos favorece la compacidad y la trabajabilidad al reducir el nivel de espacios vacíos, pero también hay que tener en cuenta que un aumento produce segregación, aumenta la superficie específica y por tanto aumenta la relación agua- cemento.
2. En la matriz del hormigón en estado endurecido las partículas indeseables forman una capa delgada sobre la superficie de los áridos que reduce la adherencia entre el mortero y el árido. La resistencia a compresión disminuye al aumento de arcilla porque se incrementa la relación a/c y el por ciento de espacios vacíos crece exponencialmente.
3. En relación a la normativa y el estudio de la conformidad de la limpieza de las arenas ha evolucionado hacia una restricción del contenido de arcilla en éstos con ensayos como el Azul de Metileno y el Equivalente de Arena.

Capítulo 2: Materiales y métodos utilizados en la obtención de la matriz del hormigón con diferentes porcentos de fillers.

2.1 Introducción.

Este capítulo tiene como objetivo aplicar el método experimental, como parte de los métodos particulares empíricos de investigación científica para caracterizar áridos con alto contenido de filler y morteros elaborados con estos áridos a través de la medición de propiedades físicas y mecánicas. Se define las bases de los ensayos experimentales realizadas en el CTDMC (Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción) y las pruebas que se llevaron a cabo para la caracterización de los áridos finos de los diferentes centros de producción, para confirmar el cumplimiento de requisitos

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

de conformidad del contenido de fillers establecidos en las normas cubanas para áridos finos y establecer los límites de utilización de estos últimos.

2.2 Materiales y métodos.

La campaña experimental que se desarrolló en el presente trabajo de diploma pretendió conseguir resultados válidos y significativos en la confirmación del comportamiento del contenido de fillers establecidos en la NC 251: 2011, y el comportamiento de la matriz del hormigón ante la presencia de arcilla de acuerdo a su relación con la adherencia entre la interfase árido-pasta en el mortero estructural.

La tarea experimental comenzó con la caracterización de los materiales para determinar los requisitos de conformidad de los finos.

Primero se realizará la caracterización de los materiales, comprobando los ensayos de la nueva norma cubana.

2.3 Materiales:

En el diseños de mortero con arena y filler de las cantera Canal de Cienfuegos y Coliseo de Matanzas, el cemento utilizado fue el Portland 35 (P 350) proveniente de la planta de cemento de Cienfuegos "Carlos Marx".

La caracterización físico-química y mecánica abarcó:

- Análisis químico del cemento.
- Consistencia y tiempo de fraguado por aguja VICAT.
- La granulometría de las arenas.
- Material más fino que el tamiz 0,074mm.
- Equivalente arena.
- Azul de Metileno.
- El peso específico y absorción de agua de las arenas.
- Pesos volumétricos y el porcentaje de vacíos de las arenas.
- Consistencia del mortero en la mesa de sacudida.
- Flexión y compresión en mortero.

2.3.1 Cemento

- **Componentes del cemento P 350**

El cemento Portland se obtiene de la pulverización del Clinker, el cual es producto de la calcinación de materiales calcáreos y arcillosos. Está constituido por los siguientes componentes:

- ✓ Silicato tricálcico o alita (C_3S): el cual le confiere su resistencia inicial e influye directamente en el fraguado con un alto calor de hidratación.
- ✓ Silicato bicálcico o belita (C_2S), el cual define la resistencia a largo plazo, de los componentes es el que presenta más bajo calor de hidratación.
- ✓ Aluminato tricálcico (C_3A), es un catalizador en la reacción de los silicatos y ocasiona un fraguado violento y gran retracción. Para retrasar este fenómeno es preciso añadirle yeso durante la fabricación del cemento.
- ✓ Ferrito aluminato tetracálcico (C_4AF), gran velocidad de hidratación y tiene bajo calor de hidratación.

2.3.2. Agua.

El agua utilizada en la elaboración, amasado y curado de los morteros fue potable, libre de aceites, materia orgánica y sustancias que pudiesen afectar el endurecimiento del mortero. Su función principal según criterio del autor fue hidratar el cemento, pero también se usó para mejorar la laborabilidad de la mezcla. Se agregó durante la elaboración de los morteros agua en pequeñas cantidades cuidando que se cumpliera con parámetros como la fluidez.

2.3.3. Áridos.

En su mayoría, las rocas existentes en el territorio nacional son sedimentarias de origen calizo, las que alcanzan más del 80% de nuestro suelo. La caliza es una roca que se forma en los mares cálidos y poco profundos de las regiones tropicales por lo que predomina este tipo de roca en nuestro país (Gayoso y Herrera, 2007).

Las calizas son rocas sedimentarias que contienen por lo menos 50% de minerales de carbonato de calcio conocido como calcita ($CaCO_3$) y dolomita ($Ca Mg (CO_3)_2$), predominando la calcita, también puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo (Coordinación general de minería, 2005).

El material inerte utilizado fue arena y filler procedente de las canteras Canal de la Provincia de Cienfuegos y Coliseo de la Provincia de Matanzas.

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

La arena de la cantera Canal utilizada presentó un porcentaje pasado mayor que el 90% corresponde al tamiz N° 4 con una apertura de 4,76mm hasta llegar a las partículas más finas de tamiz N° 100 de apertura de 0,149 mm con un 5 % de material pasado. Y la arena de la cantera Coliseo, presentó un porcentaje pasado por el tamiz N° 4 de 95% y por el tamiz N° 100 un 8 %.

Con el objetivo de conocer las propiedades fundamentales que rigen el buen comportamiento de los áridos se le realizaron ensayos a través de la medición de sus propiedades físicas y geométricas como lo indican las normas correspondientes.

2.4 Criterios de conformidad de los fillers.

Para el estudio se tomaron muestra de las arenas del yacimiento de Canal de la provincia de Cienfuegos y del centro de producción de Matanzas, específicamente el del municipio de Coliseo. Las muestras estuvieron clasificadas de acuerdo a la metodología de desarrollo del estudio.

Es también importante conocer el proceder de las arenas antes del proceso de limpieza y comprender los efectos que trae consigo esta disminución de fillers en los áridos, y demostrar que el contenido de finos menores que el tamiz 200 inertes o activos contribuyen al incremento de las propiedades reológicas y mecánicas y al consumo de cemento Pórtland en las mezclas de mortero y hormigones durables. El procedimiento de toma de muestras fue en la Empresa de Hormigón Varadero después del proceso de lavado de la arena. Sería también curioso conocer el comportamiento de los residuales que se obtienen del proceso de lavado denominados por la comunidad “arcillas”, que aunque no se producen en grandes cantidades, son productos que también pudieran ser comercializados y buscar una aplicación para la sociedad. De estos residuales también se tomaron muestras, para así poder introducirle el porcentaje de filler intencionalmente.

La investigación de la influencia de las partículas de finos menores que el tamiz 200 inertes o activas, incluye el estudio cualitativo en el tiempo de las transformaciones que ocurren en la pasta cemento–arena mediante los ensayos mecánicos realizados a morteros de calidad con los áridos finos después del lavado, a diferentes edades (3, 7 y 28 días) y las variaciones de resistencias que ocurre cuando muestras de estas pastas son sometidas a la presencia intencional de partículas no deseadas. La metodología de preparación del mortero según NC 173: 2002 Mortero endurecido, siendo las muestras de ensayo, prismas

de 40 x 40 x 160 mm. Se realizan dos amasadas por edad de cuatro series para cada porcentaje de filler, obteniendo 48 probetas por cantera para ensayos mecánicos de flexión y compresión.

Las pastas se realizaron con una dosificación de acuerdo a morteros de calidad (3:1), es decir 1 500 gr de arena y 500 gr de cemento Portland.

De acuerdo al estudio acerca de las investigaciones de los ensayos de mortero, se partió en comenzar a tantear el valor de la relación agua/cemento y compactación manual, manteniendo constante la fluidez, entre valores de 100 - 110 mm para el ensayo mecánico en la meza de fluidez (ASTM).

Los resultados obtenidos en estos morteros permiten evaluar la calidad de los áridos utilizados en la provincia de Matanzas y definir los límites de conformidad de los fillers de las propias canteras, uno producto de la trituración de la roca (Coliseo) y otro de origen natural (Canal). Otra técnica a realizar son los nuevos ensayos de la norma cubana NC 251: 2011, Azul de Metileno y Equivalente de Arena como ya se ha explicado a lo largo del desarrollo del presente trabajo de diploma, confrontando con los ensayos físicos de los materiales que se aglutinan en el proceso reológico y mecánico de las mezclas.

2.5. Métodos utilizados.

Los métodos utilizados fueron los métodos experimentales.

2.5.1 Análisis químico del cemento.

- Fundamentos del método.

Estos ensayos se efectuaron siguiendo los requerimientos normativos, al tratar químicamente hasta obtener una valoración aproximada del contenido de los diferentes óxidos y de los sulfatos. Los análisis químicos tienen como objetivo determinar la composición mineralógica de la roca, lo que permite establecer su procedencia o naturaleza, así como su clasificación.

Se permite determinar los contenidos porcentuales de SiO₂; CaO; Al₂O₃; Fe₂O₃; MgO; SO₃. Estos compuestos se encuentran en forma de Alita, Belita, Aluminato Tricálcico y Ferroaluminato Tetracálcico. Las normativa que regulan estos ensayos son la NC 180:2002 Partículas ligeras, NC 183:2002 Estabilidad a la acción de los sulfatos de sodio y magnesio

y la NC 185:2002 Impurezas orgánicas, basados en las recomendaciones de la norma española UNE-EN 12620:2002.

2.5.1.1- Determinación de la consistencia normal y tiempo de fraguado por aguja Vicat.

- Fundamentos del método.

El método de ensayo consiste en la determinación de la consistencia normal y el tiempo de fraguado inicial y final del cemento hidráulico mediante la aguja Vicat. Con este método se determinó la cantidad de agua requerida para preparar la pasta de cemento hidráulico a ensayar. La norma que se utilizó para el procedimiento fue NC 524: 2007.

- Preparación de la muestra.

El procedimiento consistió en:

- + Se colocó en la amasadora la paleta y el recipiente, bien secos en la posición como para mezclar.
- + Se puso toda el agua destilada de la mezcla en el recipiente.
- + Se le añadieron 650 g de cemento al agua y se dejó que absorbiera esta durante 30s.
- + Luego se mezcló en velocidad lenta (140 rpm) por 30 s.
- + Se detuvo la amasadora después de este tiempo por 15 s, y durante este tiempo se raspó con la espátula, de modo que cualquier cantidad de pasta que quedó en las paredes del recipiente se pudo incorporar a la mezcla.
- + Se mezcló de nuevo a velocidad rápida (285 rpm) por 1 min.
- + Rápidamente se formó una bola de la pasta de cemento con las manos enguantadas, se lanzó 6 veces de una mano a la otra hasta que se produjo una masa esférica que pudo ser introducida fácilmente en el anillo Vicat, por la parte más ancha sin demasiada manipulación. Luego se colocó el anillo por su base mayor y se enrasó la pasta sin presionar la misma.

- Procedimiento para determinar la consistencia.

Rápidamente después se centró la pasta confinada en el anillo, que descansa en el plato, bajo la barra. El extremo sumergible se puso en contacto con la superficie de la pasta y se apretó el tornillo de fijación, se fijó el indicador movable en una lectura inicial y se liberó rápidamente la barra.

- Procedimiento para determinar el tiempo de fraguado.

Se mantuvo la muestra en la cámara o local húmedo durante 30 min después del moldeo sin perturbarla, luego se determinó la penetración de la aguja de 1 mm en ese momento y cada 15 min posteriores hasta que se obtuvo una penetración de 25 mm o menos (este es el tiempo de fraguado inicial). El tiempo de fraguado final se determinó cuando la aguja no se hundió visiblemente dentro de la pasta.

2.5.2. Propiedades geométricas del árido.

2.5.2.1- Determinación de la granulometría.

- Fundamentos del método.

El procedimiento consiste en la determinación de las fracciones granulométricas de la arena de las canteras Canal y Coliseo por medio de un tamizado mecánico garantizando la continuidad del movimiento de la muestra sobre la superficie del tamiz, como indica la norma NC 178: 2002.

- Preparación de la muestra.

La muestra se determinó por el sistema de cuarteo de una muestra representativa del material a ensayar, en este caso arena de las canteras Canal y Coliseo.

El peso de la muestra una vez secado en la estufa a peso constante y a una temperatura de 105 a 110 °C fue de 500 g como lo indica el análisis granulométrico en la Tabla 2 de la norma NC 178: 2002.

- Procedimiento para determinar la granulometría.

Seguido de sacar la muestra de la estufa se dejó enfriar a temperatura ambiente. La arena, definida como las partículas de dimensión 4,76 hasta 0,074 mm, se le realizó un proceso de tamizado, en el cual se utilizó una serie de tamices de igual apertura que su granulometría. Los tamices que se usaron fueron los de malla cuadrada de la serie ASTM que van desde el N°4 – 4.76 mm hasta el N°200 – 0,074 mm, siendo la apertura de cada tamiz el doble de la siguiente y mitad del anterior.

El tamizado se realizó en una tamizadora manual la cual somete a las partículas del material ensayado a un movimiento lateral y vertical del tamiz, este movimiento también

incluye la acción de sacudida. La muestra se movió continuamente sobre la superficie del tamiz.

Una vez tamizada la muestra se procedió a pesar el material retenido en cada tamiz por medio de la balanza, cada cantidad de material retenido en los tamices cumplió las especificaciones granulométricas de la norma NC 657: 2008 y NC 251: 2005.

2.5.2.2- Determinación del material más fino que el tamiz (No. 200).

- Fundamentos del método.

El ensayo consiste en lavar el material a ensayar en reiteradas ocasiones hasta que el agua quede limpia y tamizar al mismo tiempo las partículas finas que pasan por el tamiz N°200 - 0,074 mm existentes en los áridos, como lo indica NC 181: 2002.

- Preparación de la muestra.

La muestra se tomó con suficiente humedad para evitar la segregación y pérdida de las partículas finas del agregado pétreo. Se secó en la estufa a peso constante por 24 horas a una temperatura constante entre los 105 °C y 110 °C.

Se le realizó el sistema de cuarteo de una muestra representativa del material a ensayar, en este caso, arena de la cantera Canal y Coliseo. El peso de la muestra seca en la estufa a peso constante a una temperatura de 105 a 110 °C fue de 500 g como lo indica la Tabla 1 de la norma NC 181: 2002 determinación del material más fino que el tamiz de N°.200-0,074 mm.

- Procedimiento.

La muestra después de enfriarse a temperatura ambiente se colocó en un recipiente con agua potable hasta cubrirla totalmente para proceder a mezclarla y agitarla con cuidado de que no se produzcan pérdidas del árido ni de agua.

Una vez que se agitó la solución, las partículas finas se suspenden en la superficie del recipiente, acto seguido se vertió el contenido en el tamiz N°200 desechando cualquier partícula del material menor que 0,074 mm.

El procedimiento de lavado se repitió varias veces hasta que el agua en el recipiente estuvo totalmente limpia y transparente. Después de lavado el material retenido en el tamiz N°200 se secó en la estufa a peso constante durante 24 horas a temperatura entre los 105 y 110 °C.

- **Expresión de los resultados.**

La muestra inicial secada fue de 500 g, cuando se le realizó el proceso de lavado y tamizado se volvió a pesar, se determinó la diferencia de peso entre las dos fases de la muestra, se dividió entre el total y se multiplicó por cien. Se obtuvo el porcentaje de fino en la muestra cómo se expresa en la fórmula siguiente:

$$Pf = \left(\frac{a - b}{a} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

Leyenda:

- Pf: Porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (N°200).
- a: Peso de la muestra original seca.
- b: Peso de la muestra seca después de lavada.

2.5.2.3- Equivalente de arena.

Este ensayo designado generalmente en Francia por sus iniciales E.S, procede de California. El ensayo indica la proporción entre los elementos granulares y arcillosos de un árido, es particularmente útil para analizar áridos con elevados contenidos de tamaños inferiores a 0,074 mm.

- Fundamentos del método.

El ensayo consiste en liberar de la muestra de arena los posibles recubrimientos de arcilla adheridos a las partículas de arena mediante la adición de una adición coagulante que favorece la suspensión de las partículas finas sobre la arena, determinando su contenido respecto a las partículas de mayor tamaño.

-Preparación de la muestra.

Se le realizó el sistema de cuarteo de una muestra representativa del material a ensayar, en este caso, arena de la cantera Canal y Coliseo. La muestra se tomó con suficiente humedad para evitar la segregación y pérdida de las partículas finas del agregado pétreo.

La masa de del material seleccionado no fue menor a 700 g. Esta se pasó por el tamiz N° 4 tomando la fracción más fina de este.

- Procedimiento.

A cada probeta se le adicionó la solución lavadora de Cloruro de Calcio (que fue previamente preparada) hasta que se alcanzó la maraca inferior de 10 cm, manteniendo las probetas siempre en posición vertical.

Se golpeó varias veces la base de cada probeta sobre la palma de la mano, para desalojar las burbujas de aire que pudieron estar dentro de ellas y favorecer el contacto total de la disolución con la sub muestra. Luego se dejó reposar cada probeta durante 10 min; al pasar este tiempo se tapó con un tapón de caucho y se fijó en la máquina de agitación para comenzar a sacudir por 30 s, transcurrido este tiempo la probeta se volvió a colocar en la mesa de ensayo en posición vertical. (Y así mismo con la segunda probeta).

Luego se quitó el tapón de caucho y se volvió a adicionar solución lavadora de cloruro de calcio para terminar el proceso de lavado del árido.

Al terminar el proceso se mantuvo la probeta en posición vertical, dejando que la solución lavadora realice su función para que favorezca la subida de los finos y los componentes arcillosos. La probeta después de este proceso se colocó en el equipo y se le aplicó un movimiento lento de rotación hasta que el nivel de líquido se aproximó a la marca superior de la probeta (38 cm). Una vez que el tubo se retiró por completo se comenzó a medir el tiempo de sedimentación. (Se repitió todo este proceso con la segunda probeta).

- Expresión de los resultados.

A continuación se mide la altura total (h_1) y la altura del depósito de arena (h_2).

Por definición, se denomina equivalente arena a la expresión:

$$E.S = 100 \times \frac{h_2}{h_1} \quad (2.2)$$

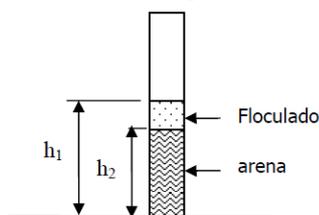


Figura 2.1 Esquema de ensayo.
Fuente: Gayoso y Rosa, 2007.

2.5.2.4- Azul de Metileno.

- Fundamentos del método.

El ensayo consiste en determinar las propiedades de absorción de las arcillas y su consiguiente efecto de colorante sobre las soluciones acuosas de Azul de Metileno; es decir

se evalúa de forma cuantitativa la presencia de arcilla en los áridos finos de la fracción de 0–0,2 mm.

-Preparación de la muestra.

La muestra que se tomó fue superior a 200 g de acuerdo con la norma NC 885: 2012, la cual se mantuvo húmeda durante su almacenamiento para así evitar la segregación del agregado fino que se desea evaluar.

Antes de ser ensayada fue secada en estufa una sub muestra de 200 g de la fracción granulométrica de 0–2 mm, hasta peso constante a una temperatura de 105 a 110 °C.

Una vez que estuvo seca la sub muestra se tamizó a través del tamiz de 2 mm, rechazando lo que quede por encima.

Posteriormente se pesó la muestra y se anotó su masa, conservándola en el secador.

-Procedimiento de ensayo

- Se preparó la solución indicadora de Azul de Metileno.
- Se clasificó la muestra de árido fino pasado por el tamiz 200 (75 μ) y se secó en estufa.
- Se pesó 200 g de la muestra y se secó nuevamente en estufa. Se mezcló, la muestra seca de 200 g con 500 mL de agua, en un beaker hasta lograr su homogeneidad durante 5 minutos.
- Se conectó a la mezcladora una bureta con 100 mL de la solución normal de Azul de Metileno, introduciendo dentro del beaker, con la muestra de árido fino pasado por el tamiz 200.
- Se añadió el Azul de Metileno de 5 en 5 mL goteando progresivamente las variaciones sobre un papel de filtro para determinar la saturación de la muestra y valorar el resultado del ensayo.

- Expresión de los resultados.

El valor de Azul de Metileno es expresado en gramos de colorante por 1 000 gramos de la fracción granulométrica analizada 0–2 mm y se calcula con la siguiente expresión:

$$MB = \frac{V}{M} \times 10 \quad (2.3)$$

MB: Valor de Azul de Metileno, expresado en g/1000 g de muestra

V: Volumen total de la solución de Azul de Metileno añadido, mL.

M: Masa de la muestra, g.

Nota: El valor 10 de la fórmula es la concentración de Azul de Metileno y tiene dimensión (g/L).

2.5.3. Propiedades físicas del árido

2.5.3.1 - Pesos específicos y absorción de agua.

- Fundamentación del método.

Se obtienen los pesos específicos y la absorción de agua por medio del pesaje de la arena en estado seco y saturado en agua como indica la norma NC 186: 2 002.

- Preparación de la muestra.

Se obtuvo mediante el sistema de cuarteo una muestra representativa de 1 000 g. Se secó en la estufa a una temperatura mantenida de 105 a 110 °C hasta peso constante durante 24 horas, se sumergió en agua y se dejó por un período de otras 24 horas.

Se extendió la muestra en una superficie plana con el objetivo de disecar la superficie de la partícula por medio de una plancha metálica caliente moderadamente, mientras se zarandeó para que la disecación sea uniforme.

Esta disecación de la arena se le realizó hasta que las partículas fluyeron libremente sin adherirse unas con otras. Para garantizar que no se adhirieran las partículas, se llenó el molde cónico, ligeramente se apisonó 25 veces con la varilla de compactación y se levantó el molde verticalmente. Se comprobó que la primera vez las partículas se adhirieron ente sí, manteniendo el cono su forma original. Se le siguió realizando el proceso de secado hasta que se volvió a ejecutar la prueba y las partículas se desmoronaron suavemente, dando señal de que se secó superficialmente.

- Procedimiento.

Se vertió la muestra preparada en un frasco de 500 mL y se le añadió agua destilada hasta la marca de enrase. Para que se expulsaran todas las burbujas de aire en el interior del grano se sometió la muestra a un baño de María y se mantuvo en ebullición por 2 horas aproximadamente.

Seguidamente se enfrió la muestra a temperatura ambiente en agua por 1 hora aproximadamente, transcurrido el tiempo se le añadió agua destilada hasta alcanzar la marca de enrase y se determinó el peso total en la balanza.

La muestra se sacó del recipiente y se secó a peso constante en la estufa a una temperatura mantenida de 105 a 110°C, luego se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó en la balanza.

- Expresión de los resultados.

$$PEC = \frac{A}{C + B + C_1} \quad (2.4)$$

$$PES = \frac{B}{C + B - C_1} \quad (2.5)$$

$$PEA = \frac{A}{C + A + C_1} \quad (2.6)$$

$$\% ABS = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (2.7)$$

Leyenda:

- PEC: Peso específico corriente. El peso específico de las partículas desecadas incluyendo en el volumen los poros accesibles al agua y los no accesibles.
- PES: Peso específico saturado. El peso específico de las partículas saturadas de agua y con la superficie seca, incluyendo en el volumen los poros accesibles al agua y los no accesibles.
- PEA: Peso específico aparente. El peso específico de las partículas desecadas incluyendo en el volumen sólo los poros inaccesibles al agua.
- %ABS: Porcentaje de absorción de agua.
- A: Peso en gramos de la muestra secada en la estufa.
- B: Peso en gramos de la muestra saturada con superficie seca.
- C: Peso en gramos del frasco lleno con agua.
- C1: Peso en gramos del frasco con la muestra y agua hasta la marca del enrase.

2.5.3.2 - Determinación de los pesos volumétricos y porcentaje de vacío.

- Fundamentación del método.

La determinación del peso volumétrico se realizó mediante pesadas del material con un recipiente calibrado de volumen conocido, según la norma NC 181: 2002.

- Preparación de la muestra de arena.

La muestra se secó en la estufa hasta peso constante a una temperatura mantenida de 105-110 °C por 24 horas.

- Procedimiento para determinar los pesos volumétrico, compactado y suelto.

✓ **Determinación del peso compactado.**

El recipiente se llenó en tres capas a una altura no mayor de 50 mm para evitar la segregación de las partículas y en cada una se golpeó 25 veces con la varilla de compactación.

Los golpes fueron esparcidos uniformemente en el interior de la superficie del recipiente y la compactación en las capas solo fueron del espesor de la misma en cada una de las capas correspondientes. Después se enrasó la superficie con la misma varilla de compactación en un solo movimiento acelerado.

✓ **Determinación del peso suelto.**

Se llenó el recipiente hasta el colmo utilizando una cuchara a una altura no mayor de 50 mm para evitar la segregación de las partículas. Luego se enrasó la superficie con la varilla de compactación sin que se hiciera girar la misma.

- Expresión de los resultados.

Se obtuvo mediante el pesado: el PMS (peso del material suelto) y el PMC (peso del material compacto). Para obtener el peso volumétrico (suelto y compacto) se le sustrae a los PMS y PMC la tara del recipiente que es de 2583 g y se divide por el volumen conocido del recipiente calibrado que es de 2900 mL a 23.5 °C.

- Determinación del porcentaje de vacíos según NC 177: 2002.

$$\% PV = \frac{PEC - PUC}{PEC} \times 100 \quad (2.8)$$

Leyenda:

- PV= Por ciento de vacíos
- PEC= Peso específico corriente
- PUC= Peso unitario compacto.

2.5.4 Propiedades mecánicas.

2.5.4.1. Mortero fresco.

- **Determinación de la consistencia en la mesa de sacudidas.**

- Procedimiento.

La consistencia se estableció midiendo la extensión del diámetro en una muestra de mortero fresco moldeado en un molde de tronco cónico de dimensiones especificadas en la NC 170: 2002 cuando la mesa de sacudida se elevó a una altura de 12,7 mm, dando 25 golpes en 15 s mediante un mecanismo girando la manivela con una velocidad constante.

- Preparación del mortero fresco.

Se colocaron los materiales en la amasadora según la dosificación deseada y con el volumen suficiente para llenar la muestra de tres briquetas.

Estas se mezclaron en seco para ser más homogénea la colada, luego se le agregó el agua hasta que la mezcla llegó a la consistencia deseada en la mesa de fluidez y se continúa el mezclado por otros 120 s.

Este paso es el más importante a consideración del autor, pues la adición de agua es la que va a regular la fluidez del mortero y a garantizar la mínima relación agua-cemento.

Los morteros deben cumplir con una condición normada NC 175: 2002 en cuanto a la resistencia, pero su posición de ser fluidos le da la posibilidad al mortero de ser más compacto y a su vez lograr con esto ser lo más impermeable posible, lo que se resume en tener una mayor durabilidad.

Se dice que ser fluidos es aconsejable, pero demasiada fluidez atenta con la consistencia provocando la desagregación de las partículas áridas y la pérdida de adherencia por estar recubiertas estas películas, del agua sobrante en la dosificación impidiendo la adherencia del mortero con la superficie en contacto.

Cuando se vertió el agua se le agregó menos cantidad según criterio del autor para no exceder la dosis ya que cada tipo de material pétreo en este caso arena y filler de las respectivas canteras Canal y Coliseo tienen un porcentaje de porosidad que le permite retener agua NC 186: 2 002. Se le adicionó pequeñas porciones de agua a consideración del autor en el transcurso del tiempo de mezclado inicial de 120 s. Se le realizó el ensayo de fluidez a la colada a medida que se le adicionó el agua hasta que se obtuvieron los valores deseados, quedando conforme con la norma NC 170: 2002.

- Determinación de la consistencia.

Para comenzar el ensayo tanto la superficie de la mesa de sacudida como el molde de tronco cónico se limpió con un paño húmedo y el equipo se accionó no menos de 10 veces para asegurarnos que fueran uniformes los golpes que posteriormente se realizaron.

El molde de tronco cónico se situó en el centro de la mesa de sacudida y se relleno hasta la mitad de su capacidad, se compactó accionando 20 golpes y sujetando el recipiente, luego se enrasó la superficie con una regla metálica y se volvió a compactar por medio del pisón y con 20 golpes uniformes sujetando el recipiente. El molde previamente limpio y engrasado para evitar que la porción de material en su interior se adhiriera a él, se levanto con un movimiento acelerado.

La mesa de sacudida se dejó caer a una altura de 12,7 mm por 25 veces en un período de 15 s aproximadamente por medio de la manivela con un movimiento uniforme. El diámetro del mortero extendido sobre el disco de la mesa de sacudida se midió en milímetros, tomando cuatro de los valores que ofreció la plantilla graduada sobre el disco de la mesa de sacudida y promediándolo se obtuvo el resultado de la fluidez de la muestra.

- **Expresión de los resultados.**

El valor final de la consistencia se determinó como la media de los tres valores parciales obtenidos en la mesa de sacudida.

$$Fluidez = \frac{\sum_{n=1}^3 (d_1 + d_2 + d_3 + d_4)}{4} \quad (2.9)$$

Leyenda:

- d1, d2, d3, d4= Diámetros del mortero esparcido.

2.5.4.2. Mortero endurecido.

• **Determinación de la resistencia a flexión y compresión.**

- **Procedimiento.**

Se realizó la rotura a flexión de la briqueta por la acción de una carga concentrada.

Esta briqueta rompió en dos mitades las cuales se ensayaron a compresión sobre las caras laterales del mortero de (40x40) mm según NC 54-207:1980 y NC 506: 2007.

- **Amasado del mortero.**

A los materiales componentes del mortero, arena, filler procedentes de las respectivas canteras y cemento, se les realizaron la dosificación volumétrica y gravimétrica por medio

del pesado con la balanza. Inmediatamente se vertieron el material inerte y el cementante en estado seco en el recipiente de mezclado, se batieron por 30 s a una velocidad media para homogenizar la mezcla.

Después se agregaron una porción de agua suficiente para hidratar las partículas del conglomerante y garantizar la fluidez del mortero. Se mezclaron por 120 s y se le agregaron pequeñas porciones de agua adicionales en dependencia de los resultados de la consistencia en la mesa de sacudida en no más de cuatro ocasiones por mezclado de iguales características.

- Compactación.

Se colocó el molde en la plataforma de compactación, se ajustó la tolva y se llenó a su media capacidad para proceder con 60 golpes. Luego se llenó hasta el tope garantizando un rebozo para su posterior compactado, nuevamente con 60 golpes.

- Enmoldado.

El molde se encontraba limpio, estanco, sus partes bien fijadas unas con otras y antes de verter la colada se recubrió con una capa fina de grasa para asegurar el fácil desprendimiento del mortero. Una vez que se realizó el proceso de compactación se retiró la tolva y se enrasó el molde con una regla metálica.

- Conservación de la probeta.

Después de confeccionadas las briquetas se conservaron en los moldes por un período de tiempo de 24 horas, las mismas estuvieron exentas de golpes o vibraciones que afectaran los resultados de su rotura. Transcurridas las 24 horas se desmoldaron y se conservaron en la cámara de curado.

- Determinación de la resistencia a flexión.

El aditamento que se colocó en la prensa donde se realizó la rotura a flexión consta de tres cilindros de acero de 10 mm de diámetro, los dos primeros son los encargados de sostener la probeta encontrándose en un mismo plano y paralelos entre sí a la distancia de 100 mm, el tercero fue el que, mediante una carga apoyándose en el lado opuesto a los dos primeros, rompió en dos mitades a la briqueta de mortero.

Esta probeta sólo fue capaz de asimilar la carga a flexión, descartando la posibilidad de torsiones en la misma por la acción de mecanismos entre los cilindros de carga y soporte.

La briqueta se colocó sobre los cilindros de soporte, quedando su eje longitudinal perpendicular a los ejes de estos y con respecto al cilindro de carga, el eje transversal de la briqueta quedó paralelo y en el mismo plano que el del tercer cilindro.

- Expresión de los resultados a flexión.

La carga fue aplicada verticalmente por el cilindro de carga sobre la cara opuesta de la briqueta, quedando representada por la fórmula de acuerdo con la norma NC 506: 2007:

$$R_f = \frac{1,5 \times Ft \times l}{b^3} \quad (2.10)$$

Leyenda:

- Rf= Resistencia a flexión (N/mm²) (MPa), 1 N/mm² = 1MPa.
- Ft= Carga aplicada en el medio del prisma en la rotura (N).
- l= Distancia entre soportes (mm).
- b= Lado de la sección cuadrada del prisma (mm).

- Determinación de la resistencia a compresión.

Una vez concluido con el ensayo a flexión con cada una de las mitades resultantes del ensayo anterior se acometió el ensayo a compresión aplicando el esfuerzo en una sección de 40x40 mm sobre las dos caras laterales de la briqueta.

La prensa estaba dotada de dos placas de acero de espesor mínimo de 10 mm las cuales eran planas. Los planos fueron guiados sin una fricción apreciable durante el ensayo para poder mantener siempre la misma proyección horizontal.

La placa superior de rotura del aditamento que rompió la briqueta accionó una carga que fue transmitida por la placa superior de la prensa a través del deslizamiento, el cual fue capaz de oscilar verticalmente sin fricción apreciable en el aditamento que dirige el movimiento.

- Expresión de los resultados a compresión.

La resistencia a la compresión se calculó de la siguiente forma como indica la norma NC 506: 2007:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (2.11)$$

Leyenda:

- Rc = Resistencia a compresión (MPa).
- Fc =Carga máxima de rotura (N).
- 40x40 = 1600 mm², superficie de los platos o placas auxiliares.

- 1N/mm² = 1MPa.

2.6 Ensayos de mortero.

Los trabajos de fundición de morteros se realizaron en abril, con los materiales que se muestran en la temática 2.3. La dosificación de estos fueron realizadas para hormigones, y el procedimiento fue según la NC 173:2002 Mortero endurecido. Determinación de la resistencia a flexión y compresión, también se utilizó la norma cubana NC 175:2002 Mortero de albañilería. Especificaciones, además de la NC 170:2002 Consistencia en la mesa de sacudida.

Como se mencionó anteriormente en la primera quincena de abril específicamente el día 1 se realizaron un total de 48 probetas, 4 probetas por edad y proporción de 40x40x160 mm. Este diseño partió de una relación agua/cemento variable y plasticidad constante, con las siguientes combinaciones. Canal lavada (Patrón), Canal lavada (3% de filler), Canal lavada (5% de filler) y Canal lavada (7% de filler). A partir de este mismo principio de diseño se fundió la segunda amasada el día 8 de abril con las siguientes composiciones Coliseo lavada (Patrón), Coliseo lavada (3% de filler), Coliseo lavada (5% de filler) y Coliseo lavada (7% de filler).

De acuerdo a los estudios de las normas UNE-EN 1504-3:2006 en los cuales se plantea que el procedimiento de ensayo para mortero se debe realizar con tecnología de compactación mecánica en dos capas con 60 golpes por capas para que la pasta tenga buen acomodo en el proceso. La fluidez se realizó según la NC 170:2002, tomando la lectura de los 4 vértices que se hacen tomar en la mesa de fluidez luego de haber aplicado 25 golpes con la palanca sobre el mortero vertido sobre un molde de un cono truncado.

2.7 Ensayo de durabilidad.

La durabilidad de un material es la capacidad de resistir la acción de la intemperie, ataques químicos, abrasión u otro cualquier proceso de deterioro (Mehta y Monteiro, 1994).

2.7.1 Determinación de la absorción de agua por capilaridad.

- Fundamentos del método.

Este método es de utilidad para el establecimiento de requisitos de durabilidad y se realiza mediante la NC 345: 2005.

-Preparación de la muestra.

Probeta de 40x40x160 mm curada por 28 días; tomadas del mismo proceso de mezclado y con la misma dosificación que las probetas ensayadas a flexión y compresión.

-Procedimiento de ensayo

Luego de ser secadas en la estufa fueron pesadas y colocadas sobre un lecho de arena fina de no más de 10 mm de espesor estanco, con una altura de agua por encima del lecho de arena de 5 mm. Para mantener el nivel del agua en el recipiente se llenó una probeta de agua y se colocó en posición invertida a 5 mm sobre el lecho de arena. Se utilizó agua potable. Estas se volvieron a pesar a las edades de 4; 8; 24; 72; 120 y 168 horas contadas desde el inicio del ensayo o su contacto con el agua.

2.8 Conclusiones parciales.

1. La introducción de métodos de evaluación de las propiedades de los áridos establecidos en las normas deben ser también evaluados en su comportamiento mecánico, para poder establecer sus ensayos confiablemente.
2. La caracterización de los áridos sirven para esclarecer los métodos analíticos de laboratorio, no pueden ser solo ensayos de rutina, ya que estos pueden contribuir a buscar confiabilidad.
3. La influencia de los fillers fue demostrada mediante pruebas mecánicas en mortero para hormigones, homologando los resultados con los referidos a Azul de Metileno y Equivalente de Arena.

Capítulo 3: Evaluación y discusión de resultados

3.1 Introducción

En los capítulos anteriores se ha hecho un estudio de los inconvenientes de las arcillas dentro de la matriz del hormigón, y se han planteado métodos de ensayo para verificar la presencia de estas partículas indeseables que ocasionan efectos negativos en el estado endurecido. El capítulo 2 muestra la planificación de la campaña experimental llevada a cabo en el Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción (CTDMC) con el propósito de definir límites permisibles en el contenido de finos pasados por el tamiz 200 dentro de la matriz del hormigón.

El objetivo del presente capítulo es dejar constancia del contenido de filler utilizado para lograr el mayor porcentaje de compacidad en las mezclas y mostrar los ensayos realizados en función de las propiedades mecánicas y de durabilidad analizadas. Los métodos utilizados tanto en la fabricación de las probetas como en la realización de los ensayos se encuentran detallados en el capítulo anterior.

3.2 Análisis químico y mineralógico del cemento.

Las normativa que regulan estos ensayos son la NC 180:2002 Partículas ligeras, NC 183:2002 Estabilidad a la acción de los sulfatos de sodio y magnesio y la NC 185:2002 Impurezas orgánicas, basados en las recomendaciones de la norma española UNE/EN 12620:2002 y la NC 54 -203 /1979.

3.2.1.- Composición química y mineralógica del cemento Pórtland.

El cemento utilizado para la elaboración de mortero con diferentes porcentos de filler es de Cienfuegos (P-350). Los resultados obtenidos se encuentran expresados en la **Tabla 3.1**.

Tabla 3.1. Composición química del cemento Cienfuegos.

Oxido	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	PPI	RI
Cienfuegos	23,03	3,17	58,88	2,87	2,41	2,54	2,04	2,53

Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 3.2 Composición mineralógica del cemento Cienfuegos.

Fase	UM	Cienfuegos	Requisitos permisibles.
Silicato Tricálcico (C ₃ S)	%	31,99	20-30
Silicato dicálcico (C ₂ S)	%	41,89	45-60
Aluminato Tricálcico (C ₃ A)	%	3,55	4 -12
Ferrito aluminato Tricálcico (C ₄ AF)	%	8,73	10-20

Fuente: Elaborada por el autor

En la **tabla 3.1** se muestran los resultados del análisis químico del cemento Portland (P-350). Del mismo se obtuvo que cumplen con los requisitos establecidos en la NC 54 -203 /1979 el dióxido de silicio (SiO₂), óxido de hierro (III) (F₂O₃), óxido de aluminio(Al₂O₃), óxido de calcio(CaO), óxido de magnesio (MgO), en cemento, trióxido de azufre (SO₃), residuo insoluble (RI) , pérdida por ignición(PPI) no siendo así en el caso de la cal libre.

Un cemento Portland puro tiene contenido de Residuo Insoluble (RI) menor o igual que 2%, cuando este se sobrepasa se dice que tiene adiciones, como el caso del cemento portland

de Cienfuegos, de 2,53 % de Residuo Insoluble (RI), siendo el requisito permisible máximo de 4% queriendo decir que la adición que contiene es tolerable.

En cuanto a la pérdida por Ignición (PPI) se puede decir que el cemento de Cienfuegos cumple el requisito, controlándose así la reacción del mismo.

Del análisis mineralógico mostrado se pudo observar que de los componentes de cemento Portland como se muestra en la **tabla 3.2** el silicato tricálcico (C_3S) (Alita), silicato dicálcico (C_2S) (Belita) cumplen los requisitos establecidos, no siendo así el caso del aluminato tricálcico (C_3A) y ferro aluminato tetracálcico (C_4AF) (Celita).

Según Harmsen (2002), el Silicato Tricálcico (C_3S), presenta una gran velocidad de hidratación; un fuerte calor de hidratación; confiere al cemento resistencias mecánicas elevadas en las primeras edades; aunque su estabilidad química es aceptable, debido a que desprende al hidratarse gran cantidad de $Ca(OH)_2$, contribuye a determinados tipos de corrosión del hormigón. El Silicato Bicálcico (C_2S) contiene una pequeña velocidad de hidratación; un calor de hidratación mucho más débil que el del C_3S ; confiere al cemento buenas resistencias mecánicas, aunque a plazos largos y buena estabilidad química.

En cuanto a los resultados mostrados en la tabla 3.2 se observa que el Silicato Bicálcico (C_2S) Belita es mayor que Silicato Tricálcico (C_3S) Alita según criterio de la autora esto influye en la resistencia de las pastas a edades tempranas ya que la adición que presenta el cemento influye en la formación de la alita que es la que confiere al cemento resistencias mecánicas elevadas en las primeras edades.

Acevedo, (1985), comenta que los cementos de un elevado contenido de C_3S , alcanzarán resistencias más grandes en las primeras edades de endurecimiento que aquellos que contengan una menor cantidad de este compuesto y relativamente mayor cantidad de C_2S , sin embargo si se mantienen las condiciones de humedad, todos los cementos Portland tendrán la misma resistencia a los 180 días manteniendo todas las otras condiciones en igualdad.

El no cumplimiento del contenido de Aluminato Tricálcico (C_3A) significa que el cemento Portland de la planta Carl Marx de Cienfuegos a criterio de la autora disminuye el tiempo de fraguado, ya que (C_3A) es el primero en el proceso de reacción, encargado de aportar calor de hidratación; mientras más se acerque al requisito permisible máximo, mayor será fraguado en la mezcla pues según Jiménez, (2000) el Aluminato Tricálcico (C_3A), presenta

una velocidad de hidratación muy grande, confiriéndole al cemento alguna resistencia mecánica dentro de las primeras veinticuatro horas.

3.2.2- Determinación de la consistencia normal y tiempo de fraguado por aguja Vicat.

El ensayo comenzó a las 9:20 AM, y se realizó por la NC 524: 2007.

Se utilizaron:

- Cemento: 650 g
- Agua: 161 mL
- Peso de la tara: 332 g

Tiempo de fraguado inicial para consistencia normal: 40 min.

Tabla 3.3. Tiempo de fraguado.

Tiempo	Penetración de aguja en la pasta
10:00 AM	40 mm
10:15 AM	40 mm
10:30 AM	40 mm
10:45 AM	35 mm
11:15 AM	24 mm

Fuente: Elaborada por el autor.

- 1^{er} tiempo de fraguado: 115 min
- Fraguado final: 12:20 PM

Al realizar el ensayo de Aguja Vicat para determinar el tiempo de fraguado y consistencia deseada el tiempo de fraguado demoró debido al bajo contenido de Aluminato Tricálcico (C_3A).

Harmsen, (2002) plantea que el ferrito aluminato tetracálcico (C_4AF), tiene gran velocidad de hidratación y tiene bajo calor de hidratación, confiriéndole al cemento escasa o prácticamente nulas resistencias mecánicas.

El valor obtenido de ferro aluminato tetracálcico (Celita) (C_4AF) como se muestra en la **tabla (3.2)** es alto respecto al Aluminato Tricálcico (C_3A) a criterio de la autora se demuestra que el fundente del cemento de Cienfuegos es el hierro (menos temperatura), mientras más contenido de hierro contenga menos contenido de sílice, más peso específico presenta, siendo lo que caracteriza dicho cemento por lo que influyen en el tiempo de fraguado.

3.3 Propiedades geométricas del árido

- Determinación de la granulometría para la arena.

“Mientras más densamente pueda empaquetarse el agregado mayor será la resistencia” (Nilson, 1999). Razón por la cual resulta fundamental en el diseño de morteros la graduación de los materiales pétreos con el fin de producir este empaquetamiento.

Para obtener los resultados deseados se usaron los tamices de malla cuadrada de la serie normada ASTM que van desde el N° 3/8” - 9,52mm hasta el N°200 - 0,075 mm, siendo la apertura de cada uno el doble del siguiente y mitad del anterior.

El material se sometió por medio del tamizado manual con un movimiento lateral y vertical del tamiz, este movimiento también incluyó la acción de sacudida. La muestra se movió continuamente sobre la superficie del tamiz, el retenido en cada tamiz se pesó por medio de una balanza con sensibilidad de 0,5 g y capacidad máxima de 5 000 g. Los resultados se muestran en las (**Anexo I, tablas 1 y 2**) según lo indicado en las normas NC 657: 2008 y NC 54-264: 1984.

3.3.1. Módulo granulométrico o de finura.

Se denomina "modulo granulométrico" a la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices, del 4.76mm hasta 0.149mm dividida por 100.

$$Mf = \frac{\sum (\% RA_{(hasta 0,149)})}{100} \quad (3.1)$$

$$Mf_{Canal} = \frac{\sum (2 + 20 + 47 + 70 + 85 + 95)}{100} = 3.2$$

$$Mf_{Coliseo} = \frac{\sum (5 + 33 + 57 + 74 + 87 + 92)}{100} = 3.5 = \mathbf{3.5}$$

Leyenda:

Mf: Módulo de finura.

RA: Retenido Acumulado.

El módulo granulométrico se nombra cuando se emplean los tamices de la serie española (UNE) y recibe el nombre de "módulo de finura" o de Abrams cuando se emplea la serie de tamices americana (ASTM).

Según la NC 251. 2005 el rango del módulo de finura para los áridos finos será entre 2,2 y 3,58.

El módulo de finura representa el tamaño medio del árido empleado en un mortero. Mientras más pequeño sea éste, más fino es el agregado pétreo y viceversa.

Nunca el módulo de finura será índice de la granulometría. Pueden existir infinidad de áridos con el mismo módulo de finura que tengan granulometrías totalmente diferentes.

Es necesario conocer dicho valor debido a que todas las mezclas de áridos que poseen el mismo módulo precisan la misma cantidad de agua para producir morteros de la misma docilidad y resistencia, siempre que empleen idéntica cantidad de cemento. Cuando hayan variaciones en el módulo de los áridos indica que han ocurrido alteraciones en el contenido de cemento y por consiguiente un aumento o disminución de agua (Menéndez, 1948).

Los resultados de la granulometría y el módulo de finura de las arenas de las canteras Canal y Coliseo se encuentran expresados en el **(Anexo I; tablas 1 y 2)**.

Una vez realizado el análisis de los resultados obtenidos, según los documentos normalizados mencionados con anterioridad se determinaron a consideración del autor, que las arenas de las canteras Canal y Coliseo cumplen con los parámetros granulométricos de las normas NC 657: 2008 y NC 54-264: 1984.

Según el módulo de finura, las arenas objeto del mismo se encuentran entre los límites del mismo, por lo tanto las partículas componentes del agregado cumplen los escalones granulométricos normados y tendrán un acoplamiento adecuado en la mezcla de mortero. Esto trae consigo que exista una mínima cantidad de espacios vacíos entre las partículas inertes por un debido acomodamiento de éstas.

Los espacios vacíos entre las partículas de arena los ocuparán a criterio del autor, la pasta de cemento, por lo que habrá un ahorro de pasta; esto comprende tanto al cemento como al agua en la mezcla de mortero.

3.3.2 Determinación del material más fino que el tamiz (No. 200)

Para realizar una masa de mortero lo suficientemente dócil, trabajable y que no se disgregue durante el transporte, puesta en obra y compactación debe tener un óptimo contenido de granos finos. Al aumentar el contenido de granos finos disminuye la compacidad del árido y será necesario aumentar la cantidad de cemento y agua. En cada caso habrá que satisfacer ambos aspectos: la compacidad del árido y el contenido óptimo de finos (Jiménez, 2000).

Los resultados se presentan en el **(Anexo I; tabla 3)**, y por medio de la ecuación **(2.1)** se obtiene el porcentaje de finos en el agregado.

$$Pf = \left(\frac{a - b}{a} \right) \times 100$$

$$Pf_{Canal} = \left(\frac{500 - 479,5}{500} \right) \times 100 = 4,1\%$$

$$Pf_{Coliseo} = \left(\frac{500 - 481,5}{500} \right) \times 100 = 3,7\%$$

Leyenda:

Pf: Porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0.074 mm (N°200) (%).

a: Peso de la muestra original seca (g).

b: Peso de la muestra seca después de lavada (g).

El autor considera, basándose en las normas NC 657: 2008 que el porcentaje de material que pasa por el tamiz 0,074mm (No.200) de la cantera Canal de 4,1% y de la cantera Coliseo de 3,7% es un resultado válido para la elaboración de mezclas de morteros ya que la norma considera aceptable hasta un 10 % de material más fino que el tamiz 200 con respecto a su peso seco. En el criterio del autor el cumplimiento de este ensayo según lo normado, hace que se cumplan todas las propiedades expuestas por Jiménez, 2000 anteriormente citado.

3.3.3 Determinación del Equivalente de arena.

El ensayo de Equivalente de Arena, designado generalmente en Francia por sus iniciales E.S, procede de California, teniendo inicialmente por finalidad la apreciación de la calidad de los suelos más o menos arenosos empleados en la construcción de pavimentos. Sin embargo pronto se comprobó que este ensayo podía también aplicarse al estudio de otros materiales y en particular al de las arenas empleadas en la composición de los hormigones (Gayoso y Rosa, 2007).

Este ensayo indica la proporción entre los elementos granulares y arcillosos de un árido; es particularmente útil para analizar áridos que contienen alto contenido de tamaños inferior a 0,074 mm.

Los resultados del Equivalente de arena de las arenas de las canteras en estudio Canal y Coliseo se presentan en la **Tabla 3.4**.

Tabla 3.4: Equivalente de arena

Canteras	E.A (sin lavar)	E.A (lavada)
Arena de Canal	83	87
Arena de Coliseo	93	91

Fuente: Elaborada por el autor.

Leyenda:

E.A (sin lavar): Equivalente de arena con la arena lavada en la cantera.

E.A (lavada): Equivalente de arena con la arena lavada en el laboratorio.

El autor considera basándose en las normas NC 886: 2012 Áridos. Evaluación de finos. Arena, NC 251-2011 Áridos para hormigones hidráulicos y la norma española y de la comunidad europea UNE-EN 933-8. Evaluación de los finos. Ensayo del equivalente de arena; que los resultados obtenidos son aceptables ya que el Equivalente de Arena para una arena totalmente limpia es de E.A= 100, lo que vale la pena señalar que no hay presencia de finos arcillosos en la muestra patrón de los morteros posteriormente ensayados ya que se admiten valores mayores de E.A= 70, como especifica la norma NC: 251- 2011.

Estos resultados según consideración del autor no son del todo confiables debido al color rojizo de la arena de Coliseo y el color negruzco de la arena de Canal, además de los resultados de ensayos anteriores a dichas arenas realizado por Díaz, 2012; por lo que se hicieron los ensayos de Azul de Metileno para descartar del todo la presencia de material arcilloso.

3.3.4 Determinación de Azul de Metileno.

Este ensayo tiene como objeto caracterizar la naturaleza de los finos menores que el tamiz 200 presentes en los áridos, ya que los finos de ciertas arcillas propician alteraciones de volumen, intensificando la retracción y disminuyendo la resistencia (Gayoso y Rosa, 2007). Los resultados de los ensayos a las arenas de las canteras Canal y Coliseo se encuentran expresados en la **Tabla 3.5**.

Tabla 3.5: Azul de Metileno.

Canteras	M.B. (sin lavar)
Arena de Canal	5,25
Arena de Coliseo	1,25

Fuente: Elaborada por el autor.

Leyenda:

M.B (sin lavar): Azul de Metileno con la arena lavada en la cantera.

El autor considera basándose en las normas NC 885.2012 Áridos. Evaluación de finos. Ensayo del Azul de Metileno y NC 251-2011 Áridos para hormigones hidráulicos; que los resultados obtenidos no son del todo satisfactorios ya que según UNE-EN 933-9 1999, el valor de la arena de Canal es demasiado alto, lo que indica presencia de arcilla en la muestra. Coliseo por su parte se encuentra en el rango permisible por la NC 251-2011 quedando descartada la presencia de arcilla en esta arena.

3.4. Propiedades físicas del árido.

3.4.1 Pesos específicos y absorción de agua.

El peso específico es una importante característica de la composición mineralógica y natural de la roca. Respecto a la calidad de un árido, su interés se basa en una medida de la homogeneidad, pues variaciones en su valor indican cambios en la naturaleza de la roca de donde procede. (Gayoso y Herrera, 2007)

El objetivo fundamental de la obtención del peso específico del árido radicó en la determinación de los porcentos de vacíos, factor fundamental para desarrollar el diseño de la mezcla de hormigones o morteros.

Los pesos específicos se determinaron por la relación entre el peso y el volumen que ocupan. La diferencia entre los distintos pesos específicos que se calcularon está en los volúmenes de las partículas que se consideraron en cada caso como lo muestra el (**Anexo II; tabla 1**) obtenidos estos pesos por medio de las fórmulas (2.4), (2.5), (2.6) y (2.7).

- Peso Específico Corriente:

$$PEC = \frac{A}{C + B + C_1}$$

$$PEC_{Canal} = \frac{493,8}{627,4 + 500 + 943,1} = 2,68g / cm^3$$

$$PEC_{Coliseo} = \frac{494,6}{629,7 + 500 + 945,95} = 2,69g / cm^3$$

- Peso Específico:

$$PES = \frac{B}{C + B - C_1}$$

$$PES_{Canal} = \frac{500}{627,4 + 500 - 943,1} = 2,71 \text{ g / cm}^3$$

$$PES_{Coliseo} = \frac{500}{629,7 + 500 + 945,95} = 2,72 \text{ g / cm}^3$$

- Peso Específico Aparente:

$$PEA = \frac{A}{C + A + C_1}$$

$$PEA_{Canal} = \frac{493,8}{627,4 + 493,8 + 943,1} = 2,77 \text{ g / cm}^3$$

$$PEA_{Coliseo} = \frac{494,6}{629,7 + 494,6 + 945,95} = 2,77 \text{ g / cm}^3$$

- Absorción de agua:

$$\% ABS = \frac{B - A}{A} \times 100$$

$$\% ABS_{Canal} = \frac{500 - 493,8}{493,8} \times 100 = 1,26\%$$

$$\% ABS_{Coliseo} = \frac{500 - 494,6}{494,6} \times 100 = 1,09\%$$

La absorción de un árido se define como la cantidad de agua que contiene el árido en sus poros, grietas y otros vacíos. Se determina con el fin de controlar el contenido neto de agua en el hormigón o mortero y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla (Gayoso y Herrera, 2007).

Los resultados de los pesos específicos de la arena, según el autor, cumplieron con la condición establecida en la norma NC 251: 2005 pues los pesos específicos obtenidos fueron mayores que 2.5 g/cm^3 y su absorción no superó el 3 % de la masa seca del mismo. Según el diseño de la mezcla, la absorción a consideración del autor, influyó en la consistencia del mortero ya que al adicionarle agua en la amasadora las partículas absorbieron agua provocando una disminución de la laborabilidad de la mezcla.

3.4.2 Determinación de los pesos volumétricos y porcentaje de vacíos.

El volumen que ocupa un árido según su peso es un indicador de las características del mismo en cuanto a ligereza, porosidad y permeabilidad, propiedades que pueden afectar al hormigón o mortero en un mayor requerimiento de cemento para una resistencia específica y con esto una influencia directa sobre la economía de la mezcla (Gayoso y Herrera, 2007). Se determinaron los pesos volumétricos suelto y compactado de las arenas de la cantera Canal y Coliseo por medio de los pesajes de los materiales en cuestión en un recipiente de volumen conocido. Luego se calcularon los pesos unitarios de las arenas, éstos se emplearon para establecer relaciones prácticas entre volumen-peso y se usaron para calcular el porcentaje de vacíos en el agregado inerte como lo indica la ecuación (2.8) tal como lo muestran el (Anexo II; tabla 2)

- Determinación del porcentaje de vacíos.

$$\% PV = \frac{PEC - PUC}{PEC} \times 100$$

$$\% PV_{Canal} = \frac{2,68 - 1,590}{2,68} \times 100 = 40,65\%$$

$$\% PV_{Coliseo} = \frac{2,69 - 1,621}{2,69} \times 100 = 39,74\%$$

Leyenda:

PV: Porcentaje de vacíos (%)

PEC: Peso específico corriente (g/cm³).

PUC: Peso unitario compacto (g/cm³).

Se hace referencia al término “porcentaje de vacío” como los espacios entre las partículas de los áridos sometidos a ensayo y se expresa como un por ciento del volumen total.

Estos vacíos, según el autor, son ocupados por la pasta de cemento, por lo que se logran morteros más resistentes y económicos con una granulometría continua.

Estos espacios entre las partículas no están referidos en ninguna norma cubana, por lo que no se cuenta con un máximo de vacíos para definir la conformidad o no de los áridos.

3.5 Diseño del experimento.

Las probetas de mortero de 4x4x16 cm, siendo un total de 96 en 4 series de 6 amasadas con combinaciones de diferentes arenas de los centros de producción de Matanzas (Coliseo) y Cienfuegos (Canal).

Para demostrar las propiedades mecánicas de la matriz del hormigón se realizó ensayos de flexión y compresión a las muestras de mortero a las diferentes edades para conocer con mayor exactitud la resistencia en la interfase árido-pasta; con varias combinaciones de áridos finos, sustituyendo este por el equivalente en un porcentaje determinado de filler, tomando como patrón la arena totalmente lavada, para conocer en primer lugar como afectan los finos dentro del aglomerado y comparar los resultados mecánicos entre los áridos antes mencionados.

El ensayo en la mesa de fluidez se realizó 4 veces por adición para tener la certeza de mantener la reología constante.

El diseño de experimento se realizó como se muestra en el (Anexo III; tabla 1).

En la gráfica siguiente se muestra como aumenta la relación a/c cuando se mantiene la fluidez constante (fig. 3.1).

Según consideraciones del autor se puede apreciar como para las arenas de la cantera Canal es necesaria mucho más agua que para la cantera Coliseo, esto se debe a que el filler de Canal contiene material arcilloso lo que provoca que las partículas absorban agua directamente en la mezcladora, aumentando la relación a/c con relación al filler de la cantera coliseo que es de origen calizo, para mantener la fluidez constante de 110 mm en la mesa de fluidez.

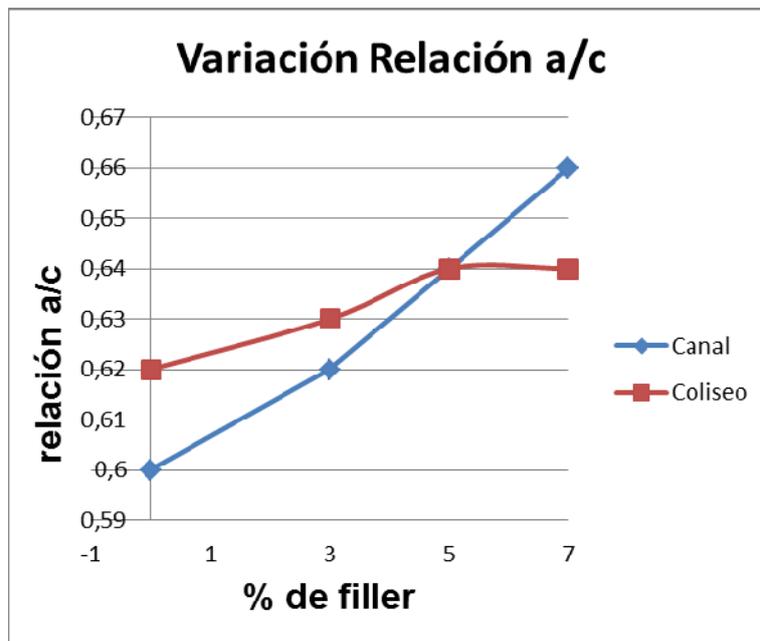


Fig. 3.1 Variación de la relación agua – cemento.
Fuente: Elaborada por el autor.

3.6 Dosificación

Para la dosificación se tomaron 3 partes de arena y 1 de cemento Portland, sustituyendo en por ciento, el filler por la arena. Todo esto se llevó a cabo manteniendo la fluidez constante y variando la relación agua-cemento. En la experimentación se tomó una muestra patrón que es la que no presenta filler, es decir, 0 % de filler, como se muestra en el **(Anexo III: tabla 2)**; lo que provocó que al no tener material más fino que el tamiz 200 se alterara la reología al aumentar la cantidad de agua, provocando segregación en la mesa de fluidez, es por esa razón que los resultados de la muestra patrón con respecto a la fluidez son más bajos comparados con los resultados adicionándole filler a la muestra lavada y secada en estufa.

3.7 Propiedades reológicas en morteros con adición de filler.

Las propiedades analizadas son las reológicas que se manifiestan en la laborabilidad de la mezcla y las propiedades mecánicas de resistencia a flexión y compresión por ser afectadas por la adición de finos menores que el tamiz 200.

En el Capítulo 1 se hace referencia a la laborabilidad, como una de las principales propiedades que debe tener el mortero.

Según (Naville, 1997), la laborabilidad o trabajabilidad es la propiedad del hormigón recién mezclado que determina la facilidad y la homogeneidad con la cual pueden ser mezclados, lanzados, adosados, y acabados.

Por tanto la laborabilidad es uno de los parámetros más importantes a medir en la dosificación. Es afectada principalmente por el agua suministrada a la mezcla, entre otros factores que también influyen como es la granulometría, forma y textura del agregado pétreo.

La granulometría influye directamente en la cantidad de agua necesaria para obtener mezclas laborables, ya que de no cumplir con las especificaciones de la norma, implicaría una ausencia de diferentes tamaños de partículas en la mezcla quedando gran cantidad de porcentos de vacíos en su interior lo que afectaría de manera considerable la impermeabilidad del material.

La laborabilidad también aumenta cuando la forma de las partículas tiende a ser esférica; los agregados de superficie lisa se deslizan con mayor facilidad en el interior de la mezcla, mejorando la trabajabilidad; cosa que no pasa con los áridos producto de la trituración de la

roca, donde disminuye la trabajabilidad ya que este tipo de árido tiene forma irregular provocando que no se deslicen fácilmente las partículas dentro de la mezcla.

La laborabilidad es una de las propiedades más importantes que deben cumplir las mezclas. En el mortero con adición de filler aumenta la trabajabilidad al mismo tiempo que aumenta la relación agua-cemento, ya que al aumento de fino, aumenta la superficie específica a cubrir y si en el fino menor que el tamiz 200 existe presencia de material arcilloso como pasa en el caso de la cantera Canal de Cienfuegos, aumenta mucho más la relación agua-cemento, ya que la arcilla es un material absorbente que le quita agua a la mezcla provocando que aunque sea una arena natural, es decir, la textura es esférica lo que provoca una mayor laborabilidad, pero al contener material arcilloso cambia el concepto de trabajabilidad para esta arena necesitando una mayor cantidad de agua para alcanzar la trabajabilidad deseada.

3.8 Propiedades mecánicas en morteros con adición de filler.

Una de las formas de demostrar la eficacia de los áridos finos fue a partir de la realización de mortero; el cual es el que densifica la interfase árido-pasta, los materiales fueron suministrado por la Empresa de Hormigón Varadera (EHV), sede de las Empresas del MICONS en Varadero.

Se realizaron un total de 96 probetas de 40x40x160 mm. La forma de acometer los ensayos de mortero es manteniendo la fluidez constante, debido a que la aplicación de esta propiedad es esencial para la laborabilidad de los trabajos.

En el caso del mortero estructural con adiciones de filler provenientes de la propia cantera donde pertenece el árido, el mortero patrón se logró mediante el lavado del árido fino hasta que estuviese libre de filler, luego se le fue adicionando deferentes porcentos de finos menores que el tamiz 200 en proporciones de 3, 5 y 7 % como plantea la NC 251: 2005.

La resistencia a flexión está dada por la carga necesaria para romper cada probeta en dos mitades, siendo el resultado para el mortero la determinación de la resistencia calculada por la **ecuación (2.10)**

La resistencia a compresión se determinó a continuación sobre cada una de las mitades mediante la aplicación hasta la rotura de una carga uniformemente repartida.

Estos ensayos fueron realizados según NC 173:2002 la cual establece el procedimiento establecido para la realización de los mismos y el cálculo de ambas resistencias se

determinó mediante las ecuaciones **2.10** y **2.11** las cuales se establecen en la NC 54-207:89.

Los resultados de los ensayos a flexión y compresión a los 3, 7 y 28 días se pueden apreciar en el (**Anexo IV; tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6**) y con mayor claridad se puede apreciar su variación en las figuras **3.2** y **3.3** que aparecen a continuación.

Los resultados de trabajo con relación a/c variable y plasticidad constante, con las arena de los centros de producción de Cienfuegos y Matanzas fueron a los 3; 7 y 28 días posteriores de la fundición, ver (**Anexo III**) donde se exponen todas las muestras a flexión y compresión con las diferentes combinaciones de áridos, con relación a/c variable y plasticidad constante.

Es pertinente señalar que en las series de la arena matancera con los diferentes porcentos de finos pasados por el tamiz 200, los valores en flexión y compresión son superiores a los resultados obtenidos con los áridos de la provincia de Cienfuegos, debido a que existe una mayor adherencia entre las partículas de arena y la pasta de cemento.

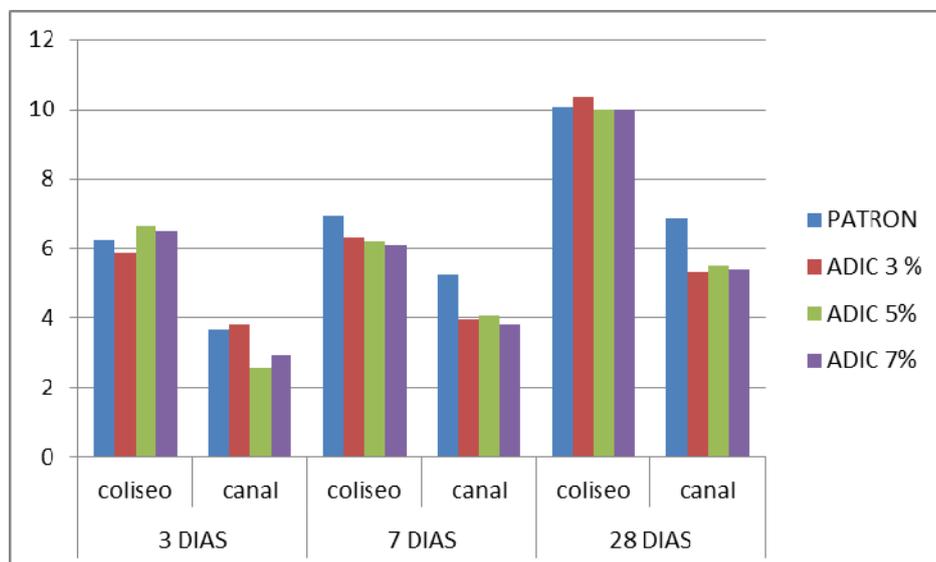


Fig. 3.2 Resultados de resistencia de morteros a flexión con a/c variable
Fuente: Elaborada por el autor.

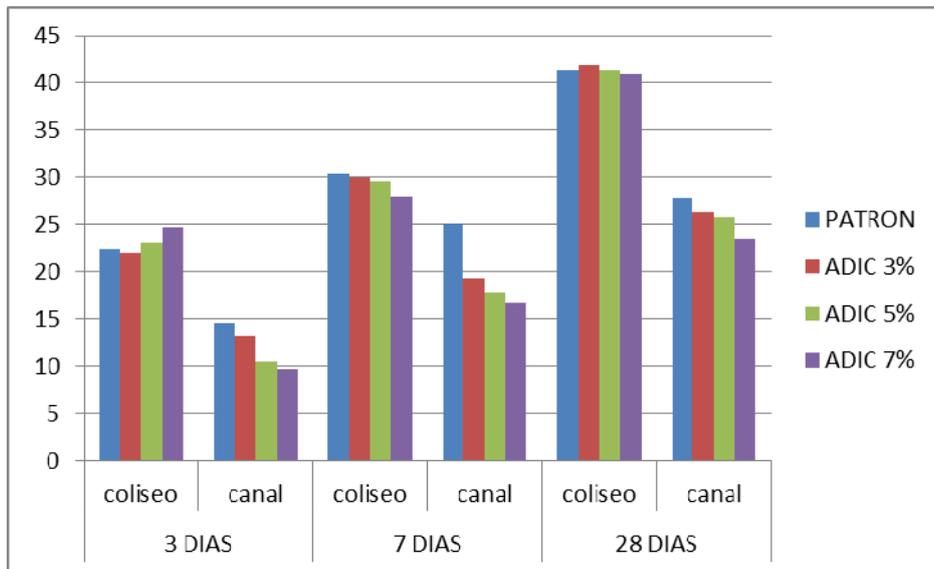


Fig. 3.3 Resultados de resistencia de morteros a compresión con a/c variable
Fuente: Elaborada por el autor.

Las arenas de Coliseo en esos resultados se comportaron de manera ascendente en cuanto a la resistencia mecánica, ya que como se ha comentado anteriormente estas son artificiales, producto de la trituración de a roca, lo que provoca una mayor adherencia árido-pasta; también se ha demostrado en el ensayo de Azul de Metileno que no contiene presencia de sustancias indeseadas que pudieran provocar la caída de la resistencia, otro factor que se muestra en la **figura 3.3** es que a los 28 días la resistencia casi no varía al aumentar el porcentaje de finos menores que el tamiz 200 ya que el filler es calizo sin contenido de material arcilloso en su volúmen, lo que hace que aumente la relación a/c pero sin variar la resistencia ya que este filler provoca que la mezcla sea más compacta, y por lo tanto más resistente al ocupar este los espacios vacíos y poros que pudiera contener la mezcla, lo que hace a esta arena ideal para hormigones.

3.9 Analogías entre los ensayos.

Los nuevos ensayos que da la norma cubana NC 251:2011, Equivalente arena (E.A) y Azul de Metileno (M.B), permiten hacer un estudio de conformidad de los filler.

Tabla. 3.6 Analogía de ensayos.

Identificación	Tamiz 200	M. F	M. B (sin lavar)	E. A (lavada)	E. A (sin lavar)	Resistencia MPa Edad 28 días		Relación a/c
						Flexión	Comp.	
Canal 0%	4,1	3,2	5,25	87	83	6,84	27,90	0,60
Canal 3%						5,32	26,33	0,62
Canal 5%						5,49	25,78	0,64
Canal 7%						5,38	23,51	0,66
Coliseo 0%	3,7	3,5	1,25	93	91	10,06	41,32	0,62
Coliseo 3%						10,36	41,88	0,63
Coliseo 5%						10,00	41,37	0,64
Coliseo 7%						10,00	40,94	0,64

Fuente: Elaborada por el autor.

Leyenda:

M.B –Azul de Metileno

E.A (lavada) –Equivalente de Arena lavada en el laboratorio

E.A (sin lavar) –Equivalente de Arena lavada en la cantera

MF –Modulo de Finura

Según los resultados obtenidos es apreciable la relación entre los resultados de Azul de Metileno (M.B) y el tamiz 200, se puede destacar entre las arenas de las canteras Canal y Coliseo que a mayor porcentaje pasado por el tamiz 200, mayor valor de Azul de Metileno, disminuyendo con esto el Equivalente de arena mientras mayor sea el contenido de filler, es decir, la arena sin lavar presenta un Equivalente de arena mayor que la arena lavada; donde se puede apreciar que la cantera Canal presenta mayores resultados en el Equivalente de arena que la cantera Coliseo, esto se debe a que la arena de la cantera Canal presenta un alto contenido de fino menor que el tamiz 200 incluso después de ser lavada; todo esto ocurre sin que varíe apreciablemente el módulo de finura (M.F) entre las arenas de las canteras analizadas.

Se estableció una comparación entre los ensayos E.A y A.M donde se apreció que no existía correspondencia entre los valores de estos ensayos, esto se relacionó fundamentalmente con la serie Canal puesto que a valores inferiores a 70 de Equivalente de arena como plantea la norma NC 251-2011 es necesario realizar el ensayo de Azul de Metileno; y como se muestra en la **tabla 3.13** dichos valores de E.A son relativamente altos para realizar el ensayo. Pero debido al color negruzco de dicha arena y a ensayos anteriores realizados por Díaz, (2012); se le realizó el ensayo para observar la reacción del mismo, lo que obtuvo como resultado la presencia de material arcilloso en dicha arena.

Se observa en los resultados de los morteros sometidos a flexión y compresión de la cantera Canal que cuando existen altos valores de M.B la resistencia disminuye debido a la presencia de material arcilloso, lo cual no ocurre igual para la cantera Coliseo que al aumentar el porcentaje de filler la resistencia no varía. Estos resultados permiten concluir que la presencia de altos porcentajes de finos no es la que afecta la resistencia, lo determinante es la presencia de partículas no deseadas que afectan la adherencia demostrada con el ensayo de Azul de Metileno.

Con las arenas de Matanzas y Cienfuegos, los valores de tamiz 200 son aceptables, pero a flexión y compresión la arena de Matanzas (Cantera Coliseo) son superiores a los valores de la arena natural de Cienfuegos que habitualmente cumple con los requisitos geométricos de conformidad de las normas morteros y hormigón por lo que se deduce que estos valores inferiores en los ensayos a flexión y compresión, es por presencia de limo o arcillas que no percibimos pero se demuestran en forma cuantitativa con el ensayo de Azul de Metileno que plantea la nueva norma NC 251: 2011; además como se ha comentado en los apartados anteriores la geometría de las partículas redondeadas de las arenas naturales disminuye considerablemente la adherencia entre sus partículas.

Como se ha visto en capítulos anteriores, el uso de una mayor cantidad de finos aumenta la superficie específica, hecho que requiere más agua para obtener una misma consistencia y como se puede apreciar en los resultados obtenidos a flexión y compresión, al aumentar el porcentaje de filler, aumenta la relación a/c manteniendo la fluidez constante.

Pero en la cantera Canal de la provincia de Cienfuegos donde existe presencia de material arcilloso (demostrado este hecho en el ensayo anterior de Azul de Metileno); se requiere de mucha más agua para el amasado del mortero comparado con la arena de la cantera Coliseo de la provincia de Matanzas, hecho por lo cual aumenta la relación a/c disminuyendo las resistencias mecánicas.

3.10 Resultados de durabilidad.

Con relación a los resultados de la absorción capilar de los áridos finos de la cantera Canal comparados con los de la cantera Coliseo, se puede decir que la evaluación de estos presenta valiosas novedades en la interpretación de los límites de contenidos de finos

menores que el tamiz 200 que se especifican en las normas ya que su influencia determinan la durabilidad de morteros y hormigones estructurales sometidos al ambiente marino de nuestras costas.

El ensayo de la absorción de agua por capilaridad fue realizado mediante la NC 345: 2005 y los resultados del mismo se encuentran expuestos en el **(Anexo V; tabla 1)**.

En la fig. 3.3 se muestra la comparación de los diferentes morteros de Canal y Coliseo con las diferentes adiciones de filler.

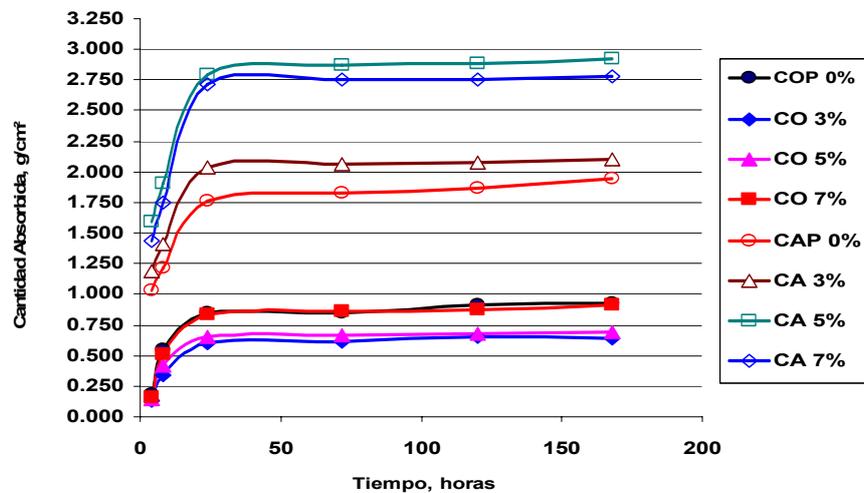


Fig. 3.3: Absorción por capilaridad.

Fuente: Elaborada por el autor.

Leyenda:

- COP 0%: Coliseo Patrón; 0% de adición. - CAP 0%: Canal Patrón; 0% de adición
- CO 3%: Coliseo; 3% de adición. - CA 3%: Canal; 3% de adición.
- CO 5%: Coliseo; 5% de adición. - CA 5%: Canal; 5% de adición.
- CO 7%: Coliseo; 7% de adición. - CA 7%: Canal; 7% de adición.

Los resultados muestran como aumenta la absorción en el tiempo a medida que aumenta el porcentaje de fino menor que el tamiz 200. Incluso se puede ver con mayor claridad en el **(Anexo V; tabla 1)** como la muestra patrón de Coliseo presenta mayor porcentaje de absorción que la muestra de la misma cantera con un 7% de adición de filler, esto se debe a que esta arena es de origen calizo y el filler lo que hace es ocupar los espacios vacíos de la mezcla haciéndola más trabajable y compacta, dándole mejores propiedades mecánicas a flexión y compresión como ya se comprobó anteriormente.

Como se puede apreciar, los morteros elaborados con árido fino y filler de la cantera Coliseo de la Provincia Matanzas presentan menores valores de absorción que los morteros elaborados con áridos y filler de la cantera Canal de Cienfuegos esto se debe a las características del filler de Canal que contiene material arcilloso como ya se comprobó en *Revista de Arquitectura e Ingeniería*. 2013, vol.7 no.3 ISSN 1990-8830 / RNPS 2125

los ensayos de Equivalente de arena y Azul de Metileno realizados a estas arenas. Esta característica provoca una mayor absorción ya que la arcilla absorbe agua directamente en la mezcladora provocando una mayor relación agua-cemento, pero esta agua no se queda en la mezcla sino que se evapora dejando a su paso un mortero poroso con menor resistencia, mayor cantidad de espacios vacíos, más permeable y menos durable a la acción de agentes externos.

3.11 Conclusiones parciales.

1. La propuesta para la norma cubana es incluir en cada centro de producción de áridos la tecnología que verifique la limpieza de los áridos logrando los porcentajes recomendados de fino menor que el tamiz 200.
2. Se confirma que la demanda de agua que provoca el uso de finos menores que el tamiz 200 libres de arcilla en la matriz del hormigón, contribuye a la plasticidad y a la trabajabilidad del mismo sin que esto provoque variaciones en las propiedades mecánicas.
3. Se manifiesta el incremento de la resistencia mecánica con el uso de las arena de origen calizo de la provincia de Matanzas con relación a los áridos de yacimiento de origen natural.
4. Hay grandes mejoras en la durabilidad al utilizar filler dentro de la matriz del hormigón controlando la presencia de arcilla sin que esto afecte la resistencia.

Conclusiones Generales:

1. Para la arena proveniente de la cantera Canal no se puede definir el límite de conformidad de finos menores que el tamiz 200 para ser utilizados en la matriz del hormigón, sin antes ser probados en hormigones.
2. Para la arena proveniente de la cantera Coliseo, el límite de conformidad es de un 7 % siempre y cuando se compruebe la no presencia de arcilla dentro de la misma.
3. las principales funciones que presentan los finos en el hormigón, son la manejabilidad y la compacidad aunque el aumento de su contenido signifique más demanda de agua para una misma consistencia con la consiguiente disminución de la adherencia entre árido y pasta, y por tanto disminución principalmente en la resistencia a compresión.

4. En la normativa cubana con referencia a los fillers no existen instrucciones de ensayos que verifiquen su contenido por lo que se hace necesario modificaciones, para incluir en esta los ensayos de Azul de Metileno y Equivalente de arena.
5. En los resultados se observó la influencia de los fillers calizos libres de arcilla positivamente en la durabilidad sin que esto influya en los resultados mecánicos y los fillers contaminados con arcilla hacen que el material sea mas poroso y por lo tanto menos durable.

Recomendaciones:

1. Realizar el estudio a nivel de hormigón, para así verificar con mayor certeza la influencia de los fillers en su elaboración.
2. Realizar el estudio utilizando los áridos de otras canteras de la provincia para así llegar a conclusiones más fidedignas e incluso combinando las arenas con las menos convencionales aunque tengan presencia de arcilla para comprobar si de esta forma cumplen con los requisitos de conformidad.
3. Revisar las normativas cubana referida a los ensayos de limpieza de áridos para definir claramente los requisitos y especificaciones, en función de las propiedades de áridos nacionales.
4. Evaluar los sub-productos de los fillers con vista a buscar un nuevo uso a esta enorme cantidad de productos que sobran en las canteras, que lejos de estorbar pueden presentar aplicaciones dentro de la industria, sería un tema de estudio para abrir el diapasón a estos temas referente a los fillers.

Bibliografía:

1. Acevedo Cata, Jorge (1985). Materiales de Construcción. Facultad de Ingeniería Civil (ISPJAE). Departamento de Geotecnia y Materiales de Construcción: Ed. La Habana, Cuba.
2. Aditivos para el hormigón (2008). Revista técnica Cemento hormigón, [En línea]. Madrid (España), No 922: Ed. cemento S. L.

3. Alaejos P., Fernandez M: High-performance concrete: requirements for constituent materials and mix proportioning. "ACI Materials journal," (U.S.A.), (1996).
4. Cerón M., Duarte F., Castillo W: Propiedades físicas de los agregados pétreos de la ciudad de Mérida. "Boletín académico FIUADY," México, (1996).
5. Cetin A., Carrasquillo R: High-performance concrete: influence of coarse aggregates on mechanical properties. "ACI Materials journal," (U.S.A.), (1998).
6. Chan, José Luis. Solís, R. Carcaño. Moreno, Eric Iván. Influencia de los agregados pétreos en las características del hormigón. Documento de divulgación. Ingeniería 7-2 (2003)
7. Chan P: Quantitative analysis of aggregate shape based on fractals. "ACI Materials journal," (U.S.A.), (1993).
8. Coordinación general de minería (2005). Dirección general de promoción minera. México.
9. Díaz Bring, Ernesto José (2012). Economía y diseño de hormigones durables con áridos finos producidos en Matanzas. Matanzas. Trabajo de diploma. Universidad de Matanzas.
10. Fernández Cánovas, Manuel: "Hormigón". Edita Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid 2007.
11. García Romero, Emilia; Suárez Barrios, Mercedes: Universidad Complutense (Madrid) y (Universidad de Salamanca) SF.
12. Gaspar Tebar, D. "normativa, calculo, experimentación y patología de la edificación". IX curso de estudios mayores de la construcción. Seminario 1. IETCC.CSIC. España, 1982.
13. Gayoso Blanco, Regino & Herrera de la Rosa, Rosa (2007). Áridos para hormigones, especificaciones y ensayos. Centro técnico para el desarrollo de los materiales de construcción, enero del 2007.
14. González Martínez, Purificación. 1992. Influencia de los finos en las características mecánicas de los hormigones fabricados en Navarra. S.I.: Tesis Doctoral. Departamento: Edificación. Programa de doctorado en Arquitectura., 1992.
15. Harmsen, Teodoro. E (2002). Diseño de estructura de concreto armado. 3^{era} edición. Perú. Fondo editorial.

16. Herrera de la Rosa, A. Gayoso Blanco, R. "Áridos para hormigón. Especificaciones y Ensayos". 2007.
17. Jiménez Montoya, Pedro (2000). Hormigón armado. 14 ediciones. Barcelona: Ed. Gustavo Gili, S. A.
18. Jiménez P., García A. y Morán F. (2000) Hormigón Armado. 14 edición. Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona.
19. José Eduardo Palencia Samoyoa.1999. Ensayo de Azul de Metileno para determinar la influencia de los finos arcillosos en las arenas de trituración. Tesis de grado al conferírsele el título de ingeniero civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, 1999.
20. León Consuegra, Liset (2011). Evaluación del mortero restaurador de estructuras Cover Fs Structural V/O con un árido grueso. Matanzas. Trabajo de diploma. Universidad de Matanzas.
21. Mehta K., Monteiro P. "Hormigón, estructura, propiedades y materiales," IMCYC, México, (1998).
22. Menéndez, José (1945). Una lección sobre morteros. La Habana: Ed. Imprenta de la universidad.
23. Menéndez, José (1948). Una lección sobre arenas: Editorial de Libros y Folletos O'Reilly, Numero 304. La Habana, Cuba.
24. M. Reiner (1955). Rheologie Theorie – Paris 1955
25. Rosell, Mercedes: Zeolita Natural Cubana del tipo Cilinoptilolita - Heulandita como material cementicio suplementario en hormigones. Tesis Doctoral. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Cuba. 2010.
26. NC 185.2002. Arena. Determinación de impurezas orgánicas. Método de ensayo. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana, Cuba.
27. NC 186.2002. Arena. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana, Cuba.
28. NC183: 2002. Áridos. Estabilidad a la acción del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana, Cuba.
29. NC 886.2012. Áridos. Evaluación de finos. Arena. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana, Cuba.

30. NC 251: 2005. Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana, Cuba.
31. NC 251: 2011. Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana, Cuba.
32. NC 657: 2008. Áridos para morteros de albañilería. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana, Cuba.
33. NC 178: 2002. Análisis granulométrico. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.
34. NC 54-207: 1980. Cemento. Ensayos físico-mecánicos. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana, Cuba.
35. NC 524: 2007. Cemento hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la consistencia normal y tiempo de fraguado por aguja Vicat. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana, Cuba.
36. NC 506: 2007. Cemento hidráulico. Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia mecánica. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.
37. NC 181: 2002. Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.
38. NC 177: 2002. Determinación del porcentaje de huecos. Método de ensayo. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.
39. NC 885: 2012. Ensayo Azul de Metileno. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana, Cuba.
40. NC 345: 2005. Hormigón endurecido. Determinación de la absorción de agua por capilaridad. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.
41. NC 173-2002. Mortero endurecido. Determinación resistencia a flexión y compresión. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.
42. NC 170: 2002. Morteros frescos. Determinación de la consistencia en la mesa de sacudidas. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.
43. NC 175: 2002. Morteros de albañilería. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización Ciudad de La Habana, Cuba.

44. NC 54-207-1980. Materiales y productos de la construcción. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana, Cuba.
45. NC 180: 2002. Áridos. Determinación de partículas ligeras. Oficina Nacional de Normalización. Ciudad de La Habana, Cuba.
46. Neville A. Aggregates bond and modules of elasticity of concrete. "ACI Materials journal," U.S.A, 1997.
47. Neville A. "Tecnología del hormigón," IMCYC, México, 1999.
48. Nilson, Arthur. H (1999). Diseño de estructuras de hormigón. Duodécima edición. Colombia, editorial Emma Ariza H.
49. Özturan T., Çeçen C. Effect coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths. "Cement and concrete research" U.S.A., 1997.
50. Parker, Harry (2008). Diseño simplificado de hormigón reforzado. 3^{era} edición. México: Ed. LIMUSA, S.A.
51. Salamanca Correa, Rodrigo (2001). La tecnología de los morteros, [En línea]. Red de revistas científicas de américa latina y el caribe. España y Portugal, No 011. Bogotá, Colombia.
52. Palencia Samayoa, José Estuardo (1999)
53. Ramírez, s. M., m.t. Blanco Varela (2008) Caracterización Estructural y Micro estructural de Geles C-S-H. *X Congreso Nacional de Materiales*, 1.
54. Taylor, F. W. H. (1990a) *cement chemistry*, London.
55. Taylor, F. W. H. (1990b) *Cement Chemistry*, London, ACADEMIC PRESS.
56. UNE-EN 933-8: 2000 Equivalente arena
57. Uribe R. El control de calidad en los agregados para hormigón 3a parte. "Construcción y tecnología," México, 1991.
58. Urreta, Javier I. Estudio sobre la nocividad de corrección de los finos de las arenas calizas de machaqueo para hormigón. Bilbao. Labein: Tesis Doctoral. E.S. Ingenieros Industriales, 2006.
59. Vagn C. Johansen, Waldemar A. Klemm, and Peter C. Taylor. PORQUÉ LA QUÍMICA INTERESA EN EL HORMIGÓN? publicado en ACI Concrete International, marzo de 2002

Lisandra Martínez Zamora, DrC. Magali Torres Fuentes. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón.

PÁGINAS WEB CONSULTADAS:

1. www.construmatica.com/construpedia
2. www.cemento-hormigon.com.
3. www.wikipedia.com
4. www.monografias.com/cgi-bin2
5. http://pdfs/LaMineria_OrigenesyDesarrollo.pdf#page=22
6. <http://es.scribd.com/doc/46222394/2do-Escalonado-de-Hormigón>
7. <http://www.ufrj.br/institutos/it/dau/profs/eduardo/Aggregados.pdf>.
8. www.revistaing@.umng.edu.co.
9. www.economia/perfiles/Caliza.com.

Anexos

Anexo I: Propiedades Geométricas del árido

Tabla 1: Granulometría de la arena de Canal

Tamiz mm	retenido parcial	retenido parcial	retenido acum	retenido acum	pasado	ESP
	g	%	g	%	%	%
9,52	0,0	0	0,0	0	100	100
4,76	11,8	2	11,8	2	98	95-100
2,38	86,3	17	98,0	20	80	70-100
1,19	136,8	27	234,8	47	53	40-75
0,595	114,0	23	348,8	70	30	20-40
0,297	77,8	16	426,5	85	15	10-25
0,149	49,5	10	476,0	95	5	0-10
Fondo	24,0	5	500,0	100	0	
Módulo de Finura	3.2					

Fuente: Elaborada por el autor

Tabla 2: Granulometría de la arena de Coliseo

Tamiz mm	retenido parcial	retenido parcial	retenido acum	retenido acum	pasado	ESP
	g	%	g	%	%	%
9,52	0,0	0	0,0	0	100	100
4,76	23,0	5	23,0	5	95	95-100
2,38	140,8	28	163,8	33	67	70-100
1,19	121,5	24	285,3	57	43	40-75
0,595	86,8	17	372,0	74	26	20-40
0,297	62,5	13	434,5	87	13	10-25
0,149	23,5	5	458,0	92	8	0-10
Fondo	42,0	8	500,0	100	0	
Módulo de Finura	3.5					

Fuente: Elaborada por el autor

Leyenda:

ESP: Especificaciones según norma NC 657: 2008 y NC 54-264: 1984.

Tabla 3: Porcentaje de arena que pasa por el tamiz 0,074mm (N^o200)

Tamiz 200 (Canal)		Tamiz 200 (Coliseo)	
Peso inicial	500	Peso inicial	500
Peso final	479,5	Peso final	481,5
% T 200	4,1	% T 200	3,7

Fuente: Elaborada por el autor

Leyenda:

% T 200= Porcentaje de partículas finas pasadas por el tamiz 200.

Anexo II: Propiedades físicas del árido.

Tabla 1: Pesos Específicos y absorción de agua de la arena.

Pesos Específicos (Canal)				Pesos Específicos (Coliseo)			
A	493,8	PEC	2,68	A	494,6	PEC	2,69
B	500	PES	2,71	B	500	PES	2,72
C	627,4	PEA	2,77	C	629,7	PEA	2,77
C ₁	943,1	ABS	1,26	C ₁	945,95	ABS	1,09

Fuente: Elaborada por el autor.

Leyenda:

A: Peso de la muestra secada en la estufa (g).

B: Peso de la muestra saturada con superficie seca (g).

C: Peso del frasco lleno con agua (g).

C₁: Peso del frasco con la muestra y agua hasta la marca del enrase (g).

CPEC: Peso específico corriente (g/cm³).

PES: Peso específico saturado (g/cm³).

PEA: Peso específico aparente (g/cm³).

%ABS: Porcentaje de absorción de agua.

Tabla 2: Pesos Unitarios Arena.

Pesos Unitarios	Arena Canal	Arena Coliseo
PMS	6834 g	6798 g
PMC	7193 g	7284 g
Tara del recipiente	2,583 kg	2,583 kg
Volumen del recipiente	2900 mL	2900 mL
PUS	1,466 g/cm³	1,454 g/cm³
PUC	1,590 g/cm³	1,621 g/cm³
% de vacío	40,67%	39,74%

Fuente: Elaborada por el autor.

Leyenda:

PMS: Peso del material suelto (g).

PMC: Peso del material compacto (g).

PUS: Peso unitario suelto (g/cm³).

PUC: Peso unitario compacto (g/cm³).

Anexo III: Mortero con adición de filler

Tabla. 1: Diseño del experimento

Variables	Adición (%)	Fluidez NC 170	Flexión y Compresión NC-173		
			3 d	7 d	28 d
Canal	0	4	4	4	4
	3	4	4	4	4
	5	4	4	4	4
	7	4	4	4	4
Coliseo	0	4	4	4	4
	3	4	4	4	4
	5	4	4	4	4
	7	4	4	4	4
Total de probetas:			32	32	32

Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla. 2 Dosificación de morteros con y sin filler pasado por el tamiz (N° 200).

Series	Cemento (gr)	Arena (gr)	Filler (gr)	Agua (mL)	Fluidez (mm)	Relación a/c
CAN 0 %	500	1500	0	300	90	0,60
CAN 3 %	500	1455	45	310	110	0,62
CAN 5 %	500	1425	75	320	110	0,64
CAN7 %	500	1395	105	330	110	0,66
COL 0 %	500	1500	0	310	100	0,62
COL 3 %	500	1455	45	315	110	0,63
COL 5 %	500	1425	75	320	110	0,64
COL 7 %	500	1395	105	320	110	0,64

Fuente: Elaborada por el autor.

Anexo IV: Resistencias a flexión y compresión.

Tabla 1: Resistencia a flexión y compresión a los 3 días (áridos Canal)

Series	Peso gr	Resistencia a Flexión			Resistencia a compresión		
		Carga kN	Parcial MPa	Media MPa	Carga kN	Parcial MPa	Media MPa
CAN 0	569	160	3.74	3.86	270	16.87	16.25
					285	17.81	
	577	170	3.98		240	15.00	
					250	15.62	
CAN 0	575	150	3.51	3.51	210	13.12	12.97
					210	13.12	
	576	150	3.51		210	13.12	
					205	12.81	
				3.68			14.61
CAN 3	578	180	4.21	4.09	230	14.37	13.74
					230	14.37	
	580	170	3.58		210	13.12	
					210	13.12	
CAN 3	590	150	3.51	3.51	205	12.81	12.81
					205	12.81	
	579	150	3.51		200	12.50	
					210	13.12	
				3.80			13.27
CAN 5	586	110	2.57	2.57	160	10.00	10.00
					160	10.00	
	578	110	2.57		160	10.00	
					160	10.00	
CAN 5	579	110	2.81	2.57	170	10.62	11.09
					180	11.25	
	577	110	2.34		180	11.25	
					180	11.25	
				2.57			10.5
CAN 7	568	100	2.34	2.81	140	8.75	9.53
					150	9.37	
	573	140	3.28		160	10.00	
					160	10.00	
CAN 7	589	130	3.04	2.92	170	10.62	9.84
					160	10.00	
	582	120	2.81		150	9.37	
					150	9.37	
				2.86			9.68

Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 2: Resistencia a flexión y compresión a los 3 días (áridos Coliseo)

Series	Peso gr	Resistencia a Flexión			Resistencia a compresión		
		Carga kN	Parcial MPa	Media MPa	Carga kN	Parcial MPa	Media MPa
COL 0	576.5	29.0	6.75	6.18	340	21.25	20.15
					330	20.62	
	577.5	24.0	5.62		320	19.37	
					310		
COL 0	579.5	27.0	6.32	6.32	400	25.00	24.53
					390	24.37	
	587.0	25.0	6.32		280	23.75	
					400	25.00	
				6.25			22.34
COL 3	579.0	29.0	6.78	5.96	320	23.12	23.04
					375	20.31	
	576.5	22.0	5.15		380	23.75	
					400	25.00	
COL 3	569.5	24.0	5.62	5.73	340	21.25	20.93
					330	20.62	
	554.0	25.0	5.85		350	21.87	
					320	20.00	
				5.84			21.98
COL 5	571.5	32.0	7.59	7.30	400	25.00	23.83
					375	23.44	
	572.5	30.0	7.02		390	24.37	
					360	22.50	
COL 5	570.0	26.0	6.08	5.95	410	25.62	22.42
					340	21.25	
	570.0	25.0	5.95		325	20.31	
					360	22.50	
				6.63			23.12
COL 7	534.0	25.0	5.85	5.85	365	22.81	23.81
					390	24.31	
	541.5	25.0	5.85		380	23.75	
					390	24.37	
COL 7	581.5	29.0	6.79	7.14	435	27.19	25.70
					425	26.56	
	608.5	32.0	7.49		390	24.37	
					395	34.69	
				6.49			24.75

Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 3: Resistencia a flexión y compresión a los 7 días (áridos Canal)

Series	Peso gr	Resistencia a Flexión			Resistencia a compresión		
		Carga kN	Parcial MPa	Media MPa	Carga kN	Parcial MPa	Media MPa
CAN 0	587.5	1.197		5.38			26.64
	593.0	2.297	5.38		42.17	26.36	
					43.12	26.92	
CAN 0	579.0	2.189	5.12	5.08	40.33	25.19	23.68
					39.26	24.54	
	572.5	2.163	5.05		35.06	21.91	
				36.94	23.09		
				5.23			25.16
CAN 3	572.5	1.801	4.22	4.13	31.06	19.78	19.87
					32.05	20.02	
	568.5	1.738	4.05		29.88	18.66	
				33.65	21.02		
CAN 3	568.5	0.565		3.80			18.81
					28.23	17.65	
	558.0	1.622	3.80		31.97	19.97	
				3.97			19.34
CAN 5	561.0	1.892	4.42	4.10	27.26	17.02	17.71
					24.91	15.56	
	569.5	1.625	3.79		28.59	17.87	
				32.69	20.40		
CAN 5	550.0	1.659	3.89	4.06	29.57	18.48	17.90
					29.33	18.33	
	574.0	1.812	4.24		28.70	17.92	
				27.04	16.90		
				4.08			17.80
CAN 7	576.5	0.288		3.91	29.05	18.16	17.40
					30.19	18.87	
	569.5	1.667	3.91		27.98	17.48	
				24.19	15.11		
CAN 7	565.0	1.656	3.88	3.73	25.98	16.23	16.02
					26.29	16.42	
	542.5	1.535	3.59		25.34	15.83	
				24.98	15.61		
				3.82			16.71

Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 4: Resistencia a flexión y compresión a los 7 días (áridos Coliseo)

Series	Peso gr	Resistencia a Flexión			Resistencia a compresión		
		Carga kN	Parcial MPa	Media MPa	Carga kN	Parcial MPa	Media MPa
COL 0	580,5	3.036	7.10	6.75	45.33	28.31	28.75
					46.81	29.25	
	584.0	2.735	6.41		46.24	28.88	
					45.71	28.56	
COL 0	577.5	3.012	7.06	7.10	52.58	32.85	31.97
					49.31	30.80	
	582.0	3.046	7.14		49.80	31.11	
					52.98	33.11	
				6.92		30.36	
COL 3	534.0	2.584	6.04	6.03	43.53	27.20	28.44
					48.15	30.09	
	554.5	2.570	6.02		44.79	27.99	
					45.61	28.50	
COL 3	583.0	2.841	6.65	6.62	49.89	31.16	31.54
					52.01	32.48	
	583.5	2.816	6.60		48.94	30.56	
					51.22	31.98	
				6.32		29.99	
COL 5	571.0	2.805	6.57	6.53	50.77	31.79	31.10
					48.13	30.07	
	571.5	2.774	6.50		51.13	31.95	
					48.98	30.61	
COL 5	551.0	2.642	6.18	5.84	44.78	27.98	28.18
					40.72	25.42	
	530.5	2.358	5.51		47.91	29.93	
					47.08	29.41	
				6.18		29.64	
COL 7	567.0	2.711	6.35	6.25	47.46	29.61	29.06
					45.55	28.47	
	567.0	2.629	6.16		43.48	27.17	
					49.60	31.00	
COL 7	568.5	2.377	5.57	5.98	42.12	26.30	26.96
					43.74	27.29	
	567.0	2.733	6.39		45.15	28.19	
					41.78	26.08	
				6.11		28.01	

Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 5: Resistencia a flexión y compresión a los 28 días (áridos Canal)

Series	Peso gr	Resistencia a Flexión			Resistencia a compresión		
		Carga kN	Parcial MPa	Media MPa	Carga kN	Parcial MPa	Media MPa
CAN 0	581.5	3.00	7.02	7.62	44.00	27.5	
					45.00	28.1	
	572.5	3.00	7.02		49.00	30.6	
					46.00	28.7	
CAN 0	584.5	2.90	6.79	7.67	46.00	28.7	
					44.00	27.5	
	588.0	2.80	6.55		41.00	25.6	
					48.00	30.0	
				6.84			27.90
CAN 3	565.5	2.30	5.38	5.38	37.00	23.12	
					40.00	25.00	
	584.5	2.30	5.38		43.00	26.87	
					44.00	27.50	
CAN 3	572.5	2.20	5.15	5.26	47.00	29.37	
					43.00	26.87	
	579.5	2.30	5.38		45.00	38.10	
					41.00	25.60	
				5.32			26.33
CAN 5	566.5	2.60	6.08	6.08	42.00	26.25	
					41.00	25.62	
	571.0	2.60	6.08		39.00	24.37	
					40.00	25.00	
CAN 5	559.0	2.00	4.68	4.91	42.00	26.25	
					40.00	25.00	
	581.0	2.20	5.15		42.00	26.25	
					44.00	27.50	
				5.49			25.78
CAN 7	525.0	2.00	4.68	5.15	36.00	22.50	
					36.00	22.50	
	566.5	2.40	5.62		40.00	25.00	
					40.00	25.00	
CAN 7	558.0	2.40	5.62	5.62	36.00	22.50	
					36.00	22.50	
	567.5	2.40	5.62		41.00	25.62	
					41.00	25.62	
				5.38			23.51

Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 6: Resistencia a flexión y compresión a los 28 días (áridos Coliseo)

Series	Peso gr	Resistencia a Flexión			Resistencia a compresión		
		Carga kN	Parcial	Media	Carga kN	Parcial	Media
MPa	MPa		MPa	MPa		MPa	
COL 0	576	4.40	10.30	10.30	68.00	42.5	
					61.00	38.1	
	570	4.40	10.30	68.00	42.5		
					71.00	44.4	
COL 0	578	4.20	9.83	9.83	69.00	43.1	
					57.00	35.6	
	575	4.20	9.83	72.00	45.0		
					63.00	39.4	
				10.06			41.32
COL 3	576	4.50	10.53	10.41	67.00	41.9	
					72.00	45.0	
	574	4.40	10.30	50.00	36.9		
					73.00	45.6	
COL 3	551	4.40	10.30	10.30	69.00	43.1	
					73.00	45.6	
	530	3.40	10.30	60.00	37.5		
					63.00	39.4	
				10.36			41.88
COL 5	565	4.30	10.06	9.71	70.00	43.7	
					65.00	40.6	
	561	4.00	9.36	65.00	40.6		
					70.00	43.7	
COL 5	561	4.40'	10.30	10.30	66.00	41.2	
					66.00	41.2	
	564	4.40	10.30	61.00	38.1		
					67.00	41.9	
				10.00			41.37
COL 7	558	4.40	10.30	9.71	66.00	41.2	
					67.00	41.9	
	554	3.80	9.13	64.00	40.0		
					70.00	43.7	
COL 7	519	3.40	10.30	10.30	67.00	41.9	
					59.00	36.9	
	551	4.40	10.30	63.00	39.4		
					68.00	42.5	
				10.00			40.94

Fuente: Elaborada por el autor.

Anexo V: Durabilidad.

Ensayo de absorción de agua por capilaridad.

Tabla No 1. CANTIDAD DE AGUA ABSORBIDA, g/cm ²								
Tiempo	Identificación							
h	COP 0%	CO 3%	CO 5%	CO 7%	CAP 0%	CA 3%	CA 5%	CA 7%
4	0.181	0.126	0.140	0.161	1.033	1.190	1.593	1.433
8	0.542	0.338	0.421	0.506	1.217	1.410	1.907	1.751
24	0.846	0.603	0.647	0.833	1.758	2.042	2.789	2.713
72	0.852	0.609	0.660	0.856	1.829	2.058	2.866	2.748
120	0.915	0.658	0.678	0.878	1.866	2.074	2.884	2.757
168	0.920	0.637	0.686	0.915	1.942	2.106	2.920	2.775

Fuente: Elaborada por el autor.

Leyenda:

- COP 0%: Coliseo Patrón; 0% de adición. - CAP 0%: Canal Patrón; 0% de adición
- CO 3%: Coliseo; 3% de adición. - CA 3%: Canal; 3% de adición.
- CO 5%: Coliseo; 5% de adición. - CA 5%: Canal; 5% de adición.
- CO 7%: Coliseo; 7% de adición. - CA 7%: Canal; 7% de adición.