

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

Facultad de Construcciones.

Departamento de Ingeniería Civil.



TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Influencia de los finos menores que el
tamiz 200 en matrices de nuevos hormigones.

Autor (a): Eily López Lorenzo.

Tutor: Arq. Daylin García Puentes

Dr. Ing. Fernando Martirena

Santa Clara

2014

Dedicatoria

Dedico esta tesis de manera especial a mi abuela Mimi y a mi tía Biembe que aunque no estuvieron presentes físicamente siempre me dieron fuerzas para seguir adelante.

A mi madre por ser una persona completamente incondicional conmigo, a mi hermano Elvis por dar todo de sí para que su hermanita saliera adelante y a mi padre por su preocupación constante.

Agradecimientos

Primeramente quisiera agradecer a mis padres y hermano por vivir intensamente conmigo cada momento de esta travesía, por ser más que mi familia mi vida entera, mi guía mi razón de vivir.

A mi familia, en especial a mi tía Mary por ser la mejor tía del mundo y estar conmigo en todos los momentos, atendíendome de forma ilimitada. También a mi tío Néstor por ser tan importante en nuestras vidas.

A mi tutora Daylin por desde lejos saber guiarme y ayudarme en todo lo que estuviese a su alcance.

A mis amigas Yudy, Yadira, Jessica, Claudia y Ady por estar estos cinco años presente en las buenas y malas, por ser buenas consejeras y amigas en todo momento.

A Maidiel por su inmenso apoyo y tratar de hacerme el camino lo más fácil posible.

A mis amigos Julio y Carlos por tratarme como alguien especial.

A los trabajadores del CTDMC porque sin ellos no hubiese sido posible esta tesis, en especial a Hugo.

A mis compañeros de la universidad, por todos estos años de compañía.

A mis profesores por la formación integral que inculcaron en mí.

A la profesora Lesday.

A todos muchas gracias.

Eily.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación radicó en evaluar la influencia que tienen los finos menores que el tamiz 200 en matrices de nuevos hormigones. Para esto se realizó un estudio experimental donde se evaluó el comportamiento del mortero estructural realizándose los ensayos de absorción de agua por capilaridad y resistencia a los 7 y 28 días, tanto a flexión como a compresión. La investigación se realizó en el Centro de Desarrollo de Materiales de la Construcción ubicado en la provincia de La Habana, los materiales para estos ensayos se adquirieron de paneles no conformes de plantas de prefabricados para el caso de la arena reciclada y la arena natural se obtuvo de la cantera de Quiebra Hacha, ambos lugares ubicados en la provincia La Habana. Se elaboraron probetas de 40x40x160 mm para un porcentaje de sustitución de arena reciclada por arena natural de 0%, 25%, 50%, 75% y 100%, además de sustituir un porcentaje de finos menores que el tamiz 200 en un 0%, 3%, y 6% para todas las dosificaciones. Los resultados arrojaron como conclusión que para un 3% de sustitución de finos menores que el tamiz 200 el comportamiento de la resistencia es el mejor de los casos y que para la sustitución de un 6% de finos la absorción de agua por capilaridad fue la más favorable.

SUMMARY

The objective of this investigation seeks to evaluate the influence that the fine ones smaller than the sieve 200 in wombs of new concretes. To accomplish this there was performed an experimental study where there was evaluated the behavior of the structural mortar performing the water absorption trials by capillarity and resistance at 7 and 28 days, both flexion and compression. The investigation took place in the Center for Development of Construction Materials located in The Havana province, the materials for this trials were acquired from not conformed panels of prefabricated levels in case of recycled sand, and natural sand was obtained from the Quiebra Hacha quarry, both places located in The Havana province. Probe of 40x40x160mm were elaborated for a substitution percent of recycled sand for natural sand of 0%, 25%, 50%, 75% and 100%, also there were substituted a percentage of fine smaller than the sieve 200 in a 0%, 3%, y 6% for all the dosages. The results concluded that for a 3% of substitution of fine smaller than the sieve 200 the behavior of the resistance is the best of cases and that for the substitution of a 6% of fine the absorption of water by capillarity was the most favorable.

ÍNDICE

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos	ii
RESUMEN.....	iii
SUMMARY	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo I: Marco Teórico Referencial.....	7
1.1 Experiencias en Cuba sobre el empleo de los RCD.....	7
1.2Aplicación de hormigones con áridos reciclados en el mundo.....	7
1.3 Tecnología para el procesamiento de los escombros. Importancia del proceso de lavado.....	11
1.4Desechos de Plantas de Prefabricados.....	13
1.4.1Reciclados de escombros en Plantas de Prefabricados. Definiciones generales.....	13
1.4.2Propiedades de los áridos procedentes de las plantas de prefabricados.	14
1.4.3Propiedades de hormigones y morteros reciclados obtenidos de desechos de prefabricado.....	17
1.5Propiedad de la durabilidad del hormigón con árido reciclado.....	20
1.6Microestructura del hormigón con árido reciclado.....	21
1.7Propiedades de los áridos calcáreos de la región Occidental del país.....	23
1.8Influencia de los porcentajes de sustitución de áridos reciclados por áridos naturales.....	24
1.9 Influencia de los agregados pétreos.....	25
1.9.1Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del mortero estructural en estado fresco.....	26
1.9.2 Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del mortero estructural en estado endurecido.....	26
1.9.3 Influencia de los agregados pétreos en la zona de interface.....	27
Conclusiones Parciales	28
Capítulo 2: Materiales y Métodos contenidos en el Plan Experimental para la elaboración de morteros con diferente porcentaje de finos menores que el tamiz 200.....	30
INTRODUCCIÓN.....	30
2.1 Obtención del material.....	30

2.2 Materiales utilizados. Características.	31
2.3 Diseño del plan experimental.....	33
2.4 Ensayos de caracterización de áridos.....	34
2.5 Resultados de los ensayos de caracterización.....	38
2.5 Morteros.....	44
2.5.1 Elaboración.....	44
3.5.2 Ensayos.....	44
Conclusiones Parciales.....	49
Capítulo 3: Análisis de los Resultados.	50
INTRODUCCIÓN.....	50
3.1 Propiedades de los morteros en estado fresco.....	50
3.2 Propiedades de los morteros en estado endurecido.....	53
Conclusiones Parciales.....	60
CONCLUSIONES GENERALES.....	61
Recomendaciones	62
BIBLIOGRAFÍA.....	63
ANEXOS.....	66

INTRODUCCIÓN

Unas de las principales preocupaciones en estos momentos en la industria de la construcción consisten en cómo dar solución al creciente aumento en la generación de residuos como consecuencia del progreso económico y la falta de lugares donde depositarlos. La solución más eficaz consiste en disminuir los depósitos de escombros a través del reciclado de desechos de demoliciones en las construcciones. Reciclar este tipo de material beneficia en gran medida al sector de la construcción ya que a través de esta actividad se obtienen áridos de diferentes granulometrías logrando así reducir la extracción de materias primas naturales, disminuir el consumo de combustible al no tener que ir a buscar áridos en las canteras y minimización del impacto ambiental.

La utilización de los residuos de construcción y demolición (RCD) los cuales proceden de la construcción, rehabilitación y demolición de los edificios, de las obras públicas y de urbanización, han tomado gran fuerza en la línea de materiales de la construcción tanto a nivel mundial como nacional debido a que son sumamente importante las ventajas que trae consigo, además de ser utilizado en la fabricación de hormigones y morteros con características similares a los tradicionalmente usados en la construcción.

El porcentaje que representan a nivel mundial los residuos de hormigón del total de RCD es bastante elevado, si tenemos en cuenta la variedad de RCD que existen (Pavón de la Fe, 2012).

En países como Dinamarca, Holanda y Bélgica se alcanzan unos porcentajes de reciclaje superiores al 75%, este hecho responde principalmente a la escasez de áridos naturales y la ubicación de espacios para vertederos. Otros países como Reino Unido y Austria siguen esta tendencia aunque los porcentajes alcanzados son de un 40% (Sánchez, 2004)

Pavón, (2012) refiere que a nivel nacional y específicamente en nuestra capital de acuerdo con estudios de viabilidad realizados entre el 2006 y el 2008, las cifras de producción de RCD fueron elevadas, alcanzando valores alrededor de los 1170m³ diarios, de los cuales el 5% corresponde a los residuos de

hormigón . Este mismo autor plantea que en un año pueden estar alrededor de los 15 mil m³ y que el residuo proviene de la demolición selectiva de edificaciones en mal estado, de empresas constructoras y plantas de prefabricados, correspondiéndole a cada una de los casos 35%, 55% y 10%, respectivamente.

Dada la importancia del empleo de materiales reciclados en la construcción, muchos han sido los estudios que han profundizado sobre el manejo y la gestión de residuales de construcción, las propiedades de los áridos y hormigones.

(Benedicto, 2011)plantea que: analizar el comportamiento del hormigón y mortero con AR permite constatar toda la experiencia adquirida en ensayos de laboratorio , así como avanzar en su diseño con garantías de seguridad y controlar la fisuración excesiva es una exigencia que se debe asegurar durante la vida útil de las estructuras.

Con la fracción fina reciclada se plantea explorar otras alternativas constructivas que doten de un mayor valor añadido a la salida comercial de la misma. En este sentido, la elaboración de morteros constituye, desde un punto de vista demostrativo potenciales aplicaciones de aprovechamiento de la fracción fina de hormigón reciclado. (Construcción, 2009)

La utilización del árido reciclado en hormigones que vayan a estar expuestos a ambientes agresivos, estará condicionada por la necesidad de tomar precauciones especiales que se precisarán en cada caso y que pueden incluir recomendaciones como:

- Utilizar una única fuente de árido reciclado controlada.
- Realizar ensayos complementarios.
- Incrementar el contenido de cemento o disminución de la relación agua/cemento en la dosificación, etc.

La influencia de la utilización del árido reciclado en la fabricación de hormigones y morteros en sus propiedades físicas y mecánicas ha sido ampliamente estudiada, pero se hace necesario estudiar la aplicabilidad de los

áridos reciclados en hormigones de acuerdo a su agresividad en el caso de Cuba.

La norma cubana NC 250: 2005 tiene definido 4 tipos generales de ambientes de exposición para hormigones estructurales atendiendo a la agresividad del ambiente: muy alta, alta, media y baja. La mayor parte de las estructuras de hormigón se encuentran ubicadas en los tres últimos tipos de ambiente, se considera como ambiente de agresividad alta a las estructuras situadas en la franja costera a más de 500 m y hasta 3 km del mar la costa norte, como media a las estructuras situadas en la franja costera a más de 3 km y hasta 20 km y como baja a las estructuras situadas a más de 20 km de la costa. Para cada uno de estos ambientes se establecen requisitos de diseño de durabilidad para estructuras de hormigón armado (relación a/c máxima y resistencia a compresión para la mezcla de hormigón).

Por lo anteriormente planteado se define la siguiente situación problemática:

Situación problemática.

La necesidad de buscar soluciones viables para proteger el medio ambiente del aumento de la generación de residuos que se van acumulando en áreas cercanas o vertederos, además de reducir la influencia que supone utilizar áridos reciclados sobre la durabilidad de hormigones y morteros elaborados con los mismos.

Problema científico

¿Es posible reducir la influencia que presume utilizar áridos reciclados sobre la durabilidad de hormigones y morteros?

Basado en la construcción del Marco Teórico Referencial de la investigación, expuesto en el capítulo 1, se formuló como hipótesis general:

Hipótesis general

¿Será productivo el empleo de finos menores que el tamiz 200 obtenidos de áridos reciclados en la producción de morteros para matrices de nuevos hormigones?

En correspondencia con la hipótesis de la investigación se trazó como objetivo general:

Objetivo general

Determinar la influencia de los finos menores que tamiz 200 obtenidos de áridos reciclados procedentes de plantas de prefabricado en la elaboración de morteros para matrices de nuevos hormigones.

Para lograr el objetivo general se proponen los siguientes objetivos específicos:

Objetivos específicos

1. Elaborar el marco teórico referencial relativo al comportamiento de hormigones y morteros producidos con áridos procedentes de escombros en plantas de prefabricados y el empleo de áridos reciclados.
2. Determinar las propiedades físicas y mecánicas de morteros producidos con áridos reciclados empleando diferentes porcentajes de finos menores que el tamiz 200.
3. Elaborar morteros con áridos reciclados a partir de la sustitución de diferentes porcentajes de finos menores que el tamiz 200, así como valorar el comportamiento de la resistencia y la absorción de agua por capilaridad; generando un análisis de los resultados.
4. Arribar a conclusiones y proponer recomendaciones acorde a los resultados.

Novedad

Esta investigación propone evaluar el comportamiento de la resistencia y la absorción de agua por capilaridad en morteros producidos para matrices de nuevos hormigones empleando diferentes porcentajes de finos menores que el tamiz 200 obtenidos de áridos reciclados procedentes de plantas de prefabricados.

Actualidad

En la actualidad se realizan estudios sobre el uso de hormigones producidos con áridos reciclados en ambientes agresivos y se plantea como meta una mayor durabilidad en obras realizadas con estos tipos de materiales. Este trabajo profundizará sobre esta temática llevando a cabo un estudio que permita precisar el comportamiento de fenómenos que afectan la durabilidad de este tipo de obras.

Aportes científicos del trabajo

Esta investigación tributa al estudio de la influencia de finos menores que el tamiz 200 en matrices de hormigones producidos con áridos reciclados procedente de plantas de prefabricados.

Estructura del trabajo

La metodología de investigación establecida para los trabajos de diploma debe contar con el desarrollo de cada una de las fases de investigación. Este trabajo muestra una presentación o caratula, pensamiento, agradecimiento, resumen en español e inglés, introducción general, tres capítulos que se detallan seguidamente; así como conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

Resumen: de forma general y breve se expone en qué consiste el trabajo para brindar una idea concisa de lo que se concibió en el transcurso de esta Tesis de Diploma.

Introducción: Se refiere a los antecedentes al trabajo.

Capítulo I: Marco Teórico Referencial sobre cómo influye el empleo de diferentes porcentos de finos menores que el tamiz 200 producto de áridos reciclados en la resistencia y la absorción de agua por capilaridad en morteros para matrices de nuevos hormigones.

Capítulo II: Materiales y Métodos contenidos en el plan experimental para la elaboración de morteros con áridos reciclados. (Este capítulo se concentra en describir los materiales empleados, los ensayos realizados al material reciclado y la descripción del plan experimental.

Capítulo III: Análisis de los resultados.

Conclusiones generales: Representan el balance final del trabajo realizado. Deben estar vinculadas a los resultados de la investigación. No deben ser una lista de las tareas realizadas, sino una exposición clara de los resultados obtenidos y del grado en que se alcanzan los objetivos propuestos.

Recomendaciones

Referencias bibliográficas

Anexos

Capítulo I: Marco Teórico Referencial.

1.1 Experiencias en Cuba sobre del empleo de los RCD.

En Ciudad de la Habana se genera alrededor del 37% del total de los desechos de Cuba, casi las 2/5 partes, lo que resalta la importancia del reciclaje en esta provincia y, por ello, la necesidad de estudiar los residuos que en ella se producen. Las cantidades generadas tienden a incrementarse en los últimos años, debido, entre otros factores, a la mejora del nivel de vida de la población capitalina, avalado por el incremento de los ingresos monetarios de la población, sobre todo a partir del año 2002. Las cifras de producción de RCD son elevadas, alcanzando valores alrededor de los 1.170 m³ diarios, de los cuales el 5% corresponden a los residuos de hormigón. En un año pueden estar alrededor de los 15.000 m³. Este residuo proviene de la demolición selectiva de edificaciones en mal estado (35%), de empresas constructoras (50%) y plantas de prefabricados (10%) (Pavón et al, 2008).

1.2 Aplicación de hormigones con áridos reciclados en el mundo.

Existe a nivel internacional una amplia experiencia en la utilización de áridos reciclados procedentes de hormigón en capas de firmes de carreteras, fundamentalmente en capas granulares. En Europa es práctica habitual en países como Francia, Reino Unido, Países Bajos, Alemania, Austria, Suiza y

Dinamarca (Calvo, 2005).

Experiencias en España

Se están utilizando áridos reciclados procedentes de hormigón en capas granulares en polígonos industriales y urbanizaciones. En carreteras autonómicas y estatales la utilización ha sido escasa y generalmente no figuran relacionadas, ni se ha hecho un seguimiento de su comportamiento.

- Anillo Verde Ciclista en Madrid tiene 8 años de creada, se utilizó zahorra procedente del reciclaje de demoliciones de hormigón en la segunda fase del anillo, de 15 km.

- Conexión de la A-367 con la A-357 en Málaga. Al igual que el caso anterior, forma parte de un proyecto de investigación para el desarrollo de nuevos materiales de construcción de firmes de carreteras, utilizándose RCD en zahorras y gravacemento.

- Ramal de acceso a la C-35 iniciado en el año 2007 en la comunidad autónoma de Cataluña, se utilizaron RCD limpios procedentes de hormigón para la formación de una capa de suelo cemento en un tramo del ramal de acceso a la C-35 en Vidreres. Los resultados obtenidos de esta experiencia fueron satisfactorios. Los ensayos realizados a la unidad terminada arrojaron resultados de densidad in situ, resistencia mecánica y capacidad soporte que están por encima de los exigidos para un suelo cemento.

- Autovía Murcia-Albacete - Dragado se construyó en el 2000, en este proyecto se utilizaron áridos reciclados de RCD limpios, provenientes de hormigón, como zahorras en capas de firmes para la ejecución de un tramo de la autovía Murcia-Albacete. Los resultados obtenidos de esta experiencia fueron satisfactorios. Respecto a la puesta en obra de este material, se concluyó que garantizando la homogeneidad y la humedad óptima del mismo, se obtienen fácilmente densidades próximas a la máxima del ensayo próctor modificado,

empleando los medios de compactación habituales.

El puente de Marina Seca, una de las obras emblemáticas del FOURM 2004 de Barcelona, se construyó utilizando hormigón reciclado en alguno de sus elementos. La cantidad de finos inferiores a 0,063 mm fue del 1% y el aporte de finos menores de 4 mm fue del 10%, lo que obligó a una ligera corrección en la cantidad de arena. La puesta en obra de este hormigón tampoco presentó ninguna dificultad.

La única experiencia realizada en España de la aplicación de hormigón reciclado en una edificación hasta el 2010 corresponde a una vivienda unifamiliar en la calle Tato de Madrid, correspondiente a un edificio de dos plantas de 300m² de superficie, con sótano para garaje y un forjado de cubierta con pérgola. En la construcción de la vivienda se utilizaron 367 m³ de hormigón reciclado, de los cuales el 58% se emplearon en la cimentación y el 42% en la estructura del edificio. La experiencia en la aplicación en hormigón prefabricado corresponde a una Planta de prefabricados de hormigón en España, que utiliza sus propios residuos procedentes de rechazos de productos no conformes o excedentes de hormigón para la obtención de áridos reciclados con machacadoras móviles in situ, y con ellos fabrican elementos de hormigón no estructural. En esta experiencia, se utilizaron los rechazos de losas alveolares fabricadas con un HP-50, para obtener un árido reciclado grueso de excelente calidad, que fue utilizado en la fabricación de paneles de cerramiento con un hormigón HA-35.

Países Bajos

En 1988 se empleó aproximadamente 500 m³ de hormigón reciclado en la construcción de los estribos de un viaducto en la carretera RW 32 cerca de Meppel. Como se puede apreciar cuenta ya con 26 años de creado, esto da una medida de la durabilidad de la obra.

En 1990 se construyó un segundo viaducto en esa misma zona. En este caso se utilizó árido grueso reciclado (en un porcentaje del 20%) para todas las partes de hormigón del viaducto. La cantidad total de hormigón reciclado que

se usó fue de 11.000 m³.

En las obras de la compuerta del puerto en las proximidades de Almelo (en 1988) se emplearon unas 2.000 t de hormigón reciclado para la construcción de la losa de hormigón bajo el agua.

Reino Unido

La primera experiencia práctica en la que se utilizó hormigón con áridos reciclados en el Reino Unido se llevó a cabo en Watford en el año 1995 durante la construcción de un bloque de oficinas. Se empleó hormigón triturado procedente de la demolición de un edificio de 12 plantas en el centro de Londres. El árido grueso se utilizó para la construcción de cimentaciones, pilares y forjados.

Bélgica

Para la ampliación del puerto de Antwerp, se procedió en 1987 a la demolición de varios muros del puerto y la construcción de una compuerta mayor. Por consideraciones tanto ambientales como económicas se optó por la utilización de los escombros de hormigón para la fabricación de hormigón reciclado. Para mejorar la trabajabilidad del hormigón se optó por presaturar los áridos reciclados antes de incorporarlos a la mezcla, corrigiendo así la cantidad de agua añadida. Después de casi 15 años de servicio la estructura no ha presentado problemas de durabilidad.

Alemania

En Alemania se usó árido reciclado para la construcción de grandes bloques de hormigón como elementos decorativos en el Centro de Exposiciones de Magdeburg en 1999. Estos bloques se encuentran en el exterior y en contacto con agua. En este caso, solo se empleó árido grueso reciclado.

En 1993-1994 se construyó la sede de la Fundación Alemana para el Medioambiente (Deutsche Bundesstiftung Umwelt). Se empleó árido reciclado en la construcción de los elementos estructurales de hormigón, realizándose

una estricta selección de los áridos reciclados y exhaustivo control de calidad.

Dinamarca

Uno de los proyectos más significativos sobre reutilización de escombros de demolición para la fabricación de hormigón ha tenido lugar en Dinamarca. La construcción del "Great Belt Link" una gran red de enlace entre Dinamarca y Suecia, suponía la modificación de la red de carreteras existentes y la demolición de varias estructuras, entre las que se encontraba la demolición de un puente de hormigón armado. En esta demolición se llevaron a cabo distintas investigaciones sobre técnicas de demolición y utilización del hormigón triturado como árido para un nuevo hormigón. Finalmente los escombros fueron procesados y empleados en la fabricación de hormigón, que se utilizó para la construcción de "La casa reciclada", en Odens para cimentaciones de pantallas acústicas.

Japón

En Japón se emplean los áridos reciclados como material para la fabricación de bloques de hormigón prefabricados (Residuos, 2010).

1.3 Tecnología para el procesamiento de los escombros. Importancia del proceso de lavado.

El principal objetivo de las plantas de trituración es la obtención de un material granular con un tamaño inferior a 40mm. A pesar de cuál sea el procedimiento de trituración utilizado, para ello hay que tener en cuenta que el proceso de demolición debe proveer medidas individuales que puedan ser aceptadas en la planta por un triturador primario (1200mm para la mayoría de plantas fijas y de 400 a 700mm para plantas móviles). Este proceso determina también diferentes partículas y la cantidad de mortero adherido. Las trituradoras utilizadas pueden ser: de mandíbula, de impacto o de cono (Juan, 2005).

Este mismo autor refiere que existen plantas de primera ,segunda y tercera generación, en función de la capacidad de las mismas para separar y reutilizar los diferentes compuestos del producto machacado .Se puede decir que las trituradoras de impacto permiten la entrada de materiales muy heterogéneos produciendo áridos de buena calidad, pero las partículas sufren un gran desgaste con los impactos y produce una gran cantidad de finos (hasta un 40%).Por otra parte la producción de con áridos de buena distribución granulométrica para su utilización en hormigón son las denominadas trituradoras de mandíbula en las cuales el contenido de finos es reducido inferior al 10%. Las trituradora de cono permite la entrada de cualquier tipo de material produciendo una cantidad intermedia de áridos de hasta menor del 20%.

Los procesos de demolición selectiva pueden ayudar a disminuir la presencia de impurezas en los escombros, como por ejemplo el yeso. Las plantas de producción de agregados reciclados a partir de concreto de demolición son bastante similares a las plantas de trituración de agregados de origen natural, incluyendo trituradoras, cribas, mecanismos transportadores y equipos para la eliminación de contaminantes así como electroimanes para la separación del acero. Una vez procesados los agregados se almacenan, teniendo en cuenta que deben ser separados los agregados naturales y los reciclados, así como diferenciar los finos de los gruesos.

Un aspecto clave del procesado del árido reciclado es el constituido por la eliminación de impurezas y otros contaminantes. Las técnicas normalmente utilizadas para este propósito proceden, en gran medida, de su aplicación en la industria minera. Primeramente, durante la demolición, se debe evitar que los escombros de hormigón se mezclen con tierra y conseguir que se reduzca al máximo el contenido de otros materiales de construcción no deseados, lo que repercutirá favorablemente en la reducción de tratamientos posteriores(Páramo, 2011).

La operación del lavado o desempolvado del material se realiza cuando el yacimiento presenta lodos, arcillas, u otras sustancias que afecten en la calidad de los áridos, y permiten obtener áridos limpios con el fin de responder a las

necesidades de determinadas aplicaciones de la industria, evitando así la alteración de la adherencia árido-pasta con los aglomerantes (cemento, cal u otros), permitiendo así proceder a su correcta aplicación. Lo que hace caer las propiedades mecánicas es la cantidad de arcilla dentro de los finos, el efecto de la arcilla es tanto más acusado cuanto mayor es el contenido total en los áridos, el problema reside en que las arcillas poseen una mayor superficie específica, por tanto la demanda de agua es superior. El problema recae en el por ciento de arcillas dentro del árido fino propician alteraciones de volumen, de manera que se intensifica la retracción y fisuración cuando la mezcla se seque, estos tipos de arcilla caoliníticas, ílíticas y sobre todo las del tipo monmorillonítica hacen que sus propiedades expansivas originan mayor rechazo de su contenido en los áridos en la mezcla de mortero (Martinez, 2013).

1.4 Desechos de Plantas de Prefabricados.

1.4.1 Reciclados de escombros en Plantas de Prefabricados. Definiciones generales.

El reciclado de escombros de plantas de prefabricado no es más que la recolecta y reutilización de los paneles no conformes procedentes de la planta de prefabricado. Estos paneles defectuosos son acopiados en un vertedero depositando los materiales mezclados sin ningún orden o clasificación. En estos vertederos también se depositan las probetas realizadas para el control de la calidad del hormigón. Para la utilización de estos materiales prefabricados se debe tener en cuenta las características que presentan estos hormigones en cuanto a su dosificación, composición y edad. El tratamiento previo de los residuos de las piezas prefabricadas cuenta con sus maquinarias específicas. Para el proceso de obtención del material se dice que si el mismo tiene un tamaño medio de 1m³ se tritura con la pinza dejándolo a un tamaño máximo de

300mm en esta misma operación se separa la ferralla de mayor tamaño, cables e hilos de pretensado y armaduras pasivas. En los casos en que los volúmenes de material sean superiores, se utiliza previamente el martillo percutor para reducirlo. Para el proceso de trituración previa en algunos casos se utiliza la retroexcavadora que está a su vez va provista de una pinza trituradora, un martillo y un cazo triturador. Luego de la trituración de las piezas este árido es trasladado a otra planta donde se somete a un nuevo proceso de trituración y posterior cribado y del mismo se obtiene el árido grueso que se empleará en la elaboración del hormigón(Benedicto, 2011).

1.4.2Propiedades de los áridos procedentes de las plantas de prefabricados.

La granulometría del árido reciclado procedente de plantas de prefabricados (ARPP) depende en gran medida del proceso de trituración. El porcentaje obtenido de árido grueso suele variar entre 70% y 90% del árido total producido. El módulo granulométrico de (ARPP) depende en gran medida del sistema de machaqueo. (Sánchez, 2004)

El porcentaje de finos en la granulometría del (ARPP) posee una gran dependencia de mortero adherido que se desprende de AR, según algunos ensayos españoles, como consecuencia de estos desprendimientos, la generación de finos sobre fracciones gruesas ya clasificadas en el laboratorio puede variar entre 0,27% y 1,14%, quedando en la mayoría de los casos por debajo de los límites del 1% que establece la EHE-08 como máximos admisibles. La presencia de las partículas finas provoca que sea necesario aumentar el agua de amasado y disminuyen la adherencia entre el árido y la pasta de cemento. (Sánchez, 2004)

La EHE-08 admite como porcentaje máximo de partículas inferiores a 4 mm un 10%, valores superiores a los admitidos por las recomendaciones de la Rilem, donde se establece el 5% como límite máximo.

El contenido de mortero en el AR depende en gran medida de la relación a/c, presentando menor contenido con relaciones altas a/c por efecto de la pérdida de mortero durante el proceso de trituración debido a su débil matriz. Este mortero afecta negativamente al módulo de elasticidad del hormigón, a su retracción, fluencia y durabilidad como consecuencia de la menor densidad mayor absorción que tienen estos áridos con respecto a los naturales.(Villagrán y Di Maio, 2010).

(Vivian, 2011)plantea que el empleo de varios tipos de soluciones ácidas con las que preparar los AR y en consecuencia disminuir la pasta de mortero adherida, sería una solución para mejorar de las propiedades de absorción del árido y, en resultado, mejorar las propiedades mecánicas del hormigón elaborado con estos áridos.

Detallado la forma y textura de los (ARPP) refieren algunos autores que el estudio de esta propiedad se puede determinar por dos procedimientos: coeficiente de forma o índice de lajas. Dando como conclusión que si se emplea el primer procedimiento se obtendrá como resultado que el (ARPP) presenta valores similares al del árido natural con un rango de valores entre 0,17 y 0,35 (Sánchez, 2008). Mientras que cuando el estudio se realiza por el segundo procedimiento se obtiene como resultado valores inferiores al árido natural debido probablemente al mortero que queda adherido en las caras planas de las partículas con forma de laja, aumentando su espesor(Martinez, 2005).

La densidad de los ARPP es inferior a la de los áridos convencionales, como consecuencia de la menor densidad de la pasta de mortero que queda adherida a las partículas de áridos reciclados (Tertre, 2007).

La absorción es una de las propiedades de los áridos reciclados que alcanza valores muy superiores a los obtenidos con áridos naturales, presentando desventaja respecto a éstos (Rolón, 2005)

La porosidad del ARPP presenta desventajas con respecto al árido natural debido a la doble composición que presenta: árido natural y mortero adherido (Benedicto, 2011).

El comportamiento a las heladas del ARPP no es muy bueno y su utilización en estructuras expuestas en climas extremos no es recomendable con relaciones a/c superiores a 0.55 (Zaharieva, 2004).

“El ARPP puede contener un elevado contenido de sulfatos, ya que al contenido propio del árido natural se le añade los sulfatos que contiene el mortero adherido y la presencia de contaminantes como el yeso cuando el hormigón procede de edificación”(Estructural, 2006).

El contenido de cloruros que pueden presentar los ARPP va en función de la procedencia del hormigón usado como materia prima(Estructural, 2006).

La Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 determina que para el ARPP se considere el contenido de cloruros totales en vez del contenido de cloruros solubles en agua como situación más desfavorable, estableciendo una limitación a la cantidad de cloruros solubles en agua del 0,05% para hormigón armado y del 0,03% en el caso de hormigón pretensado.

La utilización de ARPP puede favorecer las reacciones álcali-árido en el hormigón debido, por una parte, al mayor contenido de álcalis que aporta la pasta de cemento adherida al ARPP y, por otra parte, a la mayor dificultad en el control de la reactividad en los áridos causada por la heterogeneidad y diversa procedencia de este tipo de áridos. El uso de ARPP en ambientes húmedos propicios para esta reacción exige que los ARPP procedan de fuentes conocidas. Para producir hormigones de alta durabilidad, en el caso de que los áridos originales fuesen reactivos o potencialmente reactivos, se necesitaría utilizar cementos bajos en álcalis (Etxeberria, 2010).

1.4.3 Propiedades de hormigones y morteros reciclados obtenidos de desechos de prefabricado.

La información obtenida de las propiedades del mortero reciclado expresan que existe una gran similitud de estas con las del mortero producido con arena natural. Teniendo en cuenta lo antes planteado se puede decir que una de las propiedades del mortero en estado fresco es la plasticidad, esta define la manejabilidad o trabajabilidad del mismo en este caso se debe tener en cuenta que el mortero producido con árido reciclado presenta trabajo al conservar una manejabilidad satisfactoria en un lapso de tiempo. La trabajabilidad se logra con una consistencia plástica, que permiten a la pasta del conglomerante bajar la superficie del árido. En otros casos se forman morteros excesivamente secos no trabajables o muy fluidos con tendencia a la segregación.

La adherencia del mortero fresco es debida a las propiedades reológicas de la pasta del conglomerante, donde la tensión superficial de la masa del mortero fresco es el factor clave para desarrollar este tipo de característica. La adherencia, antes que el mortero endurezca, se incrementa cuanto mayor es la proporción del conglomerante o la cantidad de finos arcillosos, sin embargo, el exceso de estos componentes pueden perjudicar otras propiedades (Teresa, 2007). La adherencia puede entenderse debida a la penetración de la pasta del mortero en el elemento de albañilería provocada por la succión capilar que este ejerce, esta propiedad en los (MPP) es inferior a los morteros convencionales esto tiene que ver con la reología de la pasta en la etapa fresco.

El mortero en estado endurecido también presenta propiedades de gran importancia una de estas es la absorción de agua, esta propiedad depende de la estructura capilar del mortero, mientras más compacto sea este, menor será la red capilar, por lo tanto presentara menor absorción.

La durabilidad el mortero se ve afectada cuanto mayor sea la capacidad de absorción, ya que agua externa entra hacia el interior trayendo con ella partículas contaminantes causando la aparición de eflorescencias.

Para mejorar la absorción de agua, se pueden añadir al mortero, aditivos hidrofugantes, plastificantes y aireantes (Michel, 2003).

La resistencia mecánica del mortero procedente de plantas de prefabricados (MPP) es similar a la del mortero convencional debido a que la angulosidad de las partículas pertenecientes a la fracción gruesa y la otra un poco más redondeada a las partículas de la fracción fina. Considerando la pasta de cemento adherida al agregado, estudios realizados demuestran que la resistencia mecánica del mortero convencional es menor (Aguja, 2003).

“Los resultados de los ensayos realizados indican que hormigones elaborados con áridos reciclados obtenidos por trituración y clasificación de piezas prefabricadas de rechazo en fábrica, pueden presentar una excelente calidad para su uso estructural, con posibles sustituciones de hasta el 100% para hormigón armado y pretensado, valores superiores a las restricciones de la actual instrucción EHE-082” (Herrera de la Rosa, 2007).

La densidad del hormigón reciclado procedente de áridos de hormigón es inferior a la del hormigón original, con el reemplazo del 100% del árido grueso, se puede obtener una densidad entre un 10-20% menor (Estructural, 2006).

Los valores de densidad del hormigón reciclado se encuentran entre los 2150 y los 2450 kg/m³, dependiendo del porcentaje de sustitución y de la densidad del árido reciclado. Comparado con el hormigón convencional, para sustituciones entre 0 y 50% de árido natural por reciclado se obtienen densidades entre 100 y 95%, mientras que para sustituciones de un 100% estos valores pueden llegar hasta un 85% de la densidad del hormigón patrón (Pavon de la Fe, 2012).

Sustituciones de hasta 30% del árido convencional por árido reciclado, no alteran de forma significativa la resistencia a compresión del nuevo hormigón procedente del HAR. Cuando se sustituye el 100% del árido grueso, la resistencia a compresión puede disminuir entre un 10 y un 20% (Estructural, 2006).

Según (Sánchez, 2004) la resistencia a compresión del hormigón reciclado es inferior a la del hormigón hidráulico convencional, disminuyendo en la medida

que se incrementa el porcentaje de sustitución, en hormigones de igual relación agua cemento. Las causas de este comportamiento se resumen en tres factores fundamentales:

- La menor resistencia del árido reciclado.
- La mayor absorción de agua.
- El aumento de las zonas débiles del hormigón (interfase pasta-árido árido reciclado).

Se necesitará mayor cantidad de agua para obtener la misma consistencia que al hormigón convencional debido a la mayor absorción que presentan los RCD, al provenir de la trituración de otros hormigones y al mortero adherido al árido. El efecto producido por la excesiva absorción puede minimizarse mediante el empleo de la situación previa del árido (Gomez, 2003).

Los hormigones reciclados demandan una mayor cantidad de agua para lograr similares consistencias que los hormigones convencionales, debido a los elevados valores de absorción de agua que presentan los áridos reciclados, en comparación con los áridos naturales, por lo que es preciso, para mantener la relación agua/cemento efectiva cuando se sustituye árido natural por reciclado en el hormigón, corregir la cantidad de agua total de la mezcla (Sánchez, 2004).

“La durabilidad del hormigón reciclado se va a ver afectada con respecto a la del hormigón convencional por la presencia de árido reciclado en su composición, el cual introduce un mayor volumen de poros y una pasta de distinta naturaleza a la del nuevo hormigón” (Pavon de la Fe, 2012).

“Para la dosificación del hormigón reciclado se utilizan los mismos métodos que en el hormigón convencional, lo que dependiendo de la cantidad de árido reciclado que se emplee en sustitución del árido natural, se debe utilizar un coeficiente que permita corregir el valor de la resistencia a compresión que se pretende alcanzar con el hormigón reciclado” (Pavon de la Fe, 2012).

La absorción varía en función de la composición del árido reciclado empleado, alcanzando los valores más altos (aproximadamente entre el 22-30% del peso seco de los áridos) cuando se utiliza árido procedente de ladrillos, valores intermedios con áridos procedentes principalmente de hormigón y los valores inferiores con el empleo de arena natural (Estructural, 2006).

El módulo de elasticidad del hormigón reciclado es siempre inferior (entre un 15 y un 40%) al del hormigón de referencia, y alcanza los valores menores cuando se utiliza también árido fino reciclado (Estructural, 2006).

1.5 Propiedad de la durabilidad del hormigón con árido reciclado.

El hormigón se proyecta con el fin de permanezca su durabilidad a lo largo del tiempo sin perder sus propiedades físicas y químicas que lo caracterizan por lo que se hace necesario analizar cómo funciona la durabilidad del mismo si se emplea árido reciclado. Los procesos que pueden provocar una durabilidad insuficiente son variados y complejos ya que dependen de cada una de las etapas del elemento, desde su concepción y diseño en proyecto, pasando por la calidad de los materiales que lo componen, la ejecución y finalmente el mantenimiento, además de factores ambientales como el clima y las condiciones a las que se encuentre sometido (Ulloa Mayorga, 2012).

En general sobre las propiedades de la durabilidad del hormigón con árido reciclado se han realizado interesantes investigaciones y una gran parte coincide en que la durabilidad del hormigón se ve reducida con el aumento en la cantidad de árido reciclado en la mezcla, haciendo más vulnerable el hormigón a la penetración, difusión y absorción de elementos. Aunque por otro lado, otros autores establecen que la durabilidad puede mejorar con la edad de curado (Padayachee, 2002).

Las características de la durabilidad pueden estar condicionadas a la relación a/c , por lo que no se establece como significativa la influencia del árido reciclado en propiedades como la permeabilidad del hormigón. De hecho se

hace referencia al mejoramiento de la interface y por lo tanto a la reducción de la permeabilidad del hormigón reciclado, lo cual algunos autores no encuentran del todo loco al tener en cuenta que la porosidad del árido repercute en esta propiedad, por lo que en ocasiones se cuestiona la precisión del ensayo empleado.

La acción de los ciclos de hielo y deshielo en hormigones reciclados es un tema bastante contradictorio en las literaturas encontradas. La mayor porosidad en el hormigón reciclado implica, en caso de saturación, un mayor volumen de agua absorbida si se compara con el hormigón convencional, lo que representa mayor deterioro de los hormigones reciclados frente a heladas. En general se observa una disminución máxima del 10% de la resistencia al hielo y deshielo para los hormigones reciclados. Cuando los áridos se utilizan saturados, el comportamiento de los hormigones frente al hielo y deshielo es peor que cuando estos se utilizan semisaturados (Ulloa, 2012).

La protección que da el hormigón con AR frente a la corrosión de armaduras puede ser inferior respecto a un hormigón con AN, pero depende del porcentaje de sustitución, la calidad del AR y la relación a/c del hormigón reciclado, así como evidentemente el espesor del recubrimiento de la armadura. La calidad del árido es decisiva en el comportamiento del hormigón frente a la durabilidad, cuando los áridos reciclados están contaminados por cloruros o sulfatos, la probabilidad de corrosión se sitúa en el 905 para un hormigón fabricado con estos. El uso del 100% puede reducir ligeramente la resistividad eléctrica del hormigón respecto a un hormigón con A, lo cual significa un incremento en la velocidad de corrosión (Corral-Higuera, 2011).

1.6 Microestructura del hormigón con árido reciclado.

La calidad de la interface entre la pasta y el árido, tiene gran influencia entre el comportamiento mecánico de los hormigones. Los áridos reciclados, obtenidos mediante el proceso de trituración y según su composición y origen presentan en general una mayor porosidad, mayor absorción y una textura superficial más

rugosa que los áridos naturales. La existencia del mortero adherido al árido reciclado puede afectar la interface y por lo tanto las propiedades y características de los hormigones al presentar una matriz diferente. Sin embargo, los hormigones reciclados presentan una resistencia mecánica similar a un hormigón convencional y un comportamiento satisfactorio frente a diferentes mecanismos de transporte que pueden afectar su durabilidad. Aunque es posible encontrar en la literatura científica cierta controversia sobre la zona de interface en hormigones con áridos reciclados debido a su complejidad (Ulloa, 2012).

En el hormigón reciclado existen tres zonas de interface distintas y claramente definidas:

Mortero antiguo y mortero nuevo.

Mortero antiguo y árido antiguo

Mortero nuevo y árido antiguo.

Algunos investigadores consideran la antigua zona de transición como una zona débil (Otsuki, 2003) debido a que presentan poros y grietas en el árido reciclado que pueden almacenar un alto contenido de agua y afecta al antigua interface. La interface entre la pasta nueva y el árido reciclado, pueden promover la formación de un mayor contenido de hidróxido de calcio. Estos cristales tienden a formarse en los poros del árido reciclado, en el mortero adherido antiguo, tal como reporta (Kong, 2011).

La dureza de la interface entre el mortero antiguo y el mortero nuevo puede ser también similar al hormigón fabricado con áridos naturales cuando se utiliza un procedimiento de mezclado adecuado. Según el proceso de fabricación la interface puede presentar diferentes características y sobre la superficie de los áridos pueden presentarse diferentes condiciones:

1. Se forma una película de agua alrededor de los áridos durante el amasado, haciendo que la interface pueda tener una relación a/c casi dos veces mayor que la relación agua cemento de la pasta. A medida que se producen los fenómenos de hidratación la película de agua va siendo paulatinamente remplazada por el cemento hidratado.
2. Sobre la superficie de los áridos se acumula pasta de cemento de menor relación a/c, lo cual permite que se presente una zona de

transición más efectiva y fuerte (Etxeberria, 2007) aunque en el caso de los áridos este fenómeno no siempre se da para la interface entre la nueva pasta de cemento y el mortero adherido al árido reciclado.

1.7 Propiedades de los áridos calcáreos de la región Occidental del país.

La clasificación geológica del yacimiento, los tipos de fracciones que comercializan, así como la caracterización, tanto química como físico-mecánica de los áridos que se producen en la región Occidental del país son algunas de las propiedades que se exponen a continuación pertenecientes a este tipo de material calcáreo. Para definir los rangos de valores de granulometría y material más fino que el Tamiz 200 (0.074mm) utilizados en esta región se tuvo en cuenta la estadística de producción característica en los años 2005 y 2007 y los reportes de ensayos de control realizados por laboratorios externos (ENIA y el CTDMC) en el periodo considerado, además de los ensayos de comparación ínterlaboratorio entre los micro laboratorios de cada instalación de cantera y el laboratorio del CTDMC.

Los centros de producción de áridos para hormigón de la región occidental del país son:

- Elpidio Berovides (La Reforma)
- Reinaldo Mora (Sitio Peña)
- Antonio Maceo (Coliseo)
- Planta Libertad
- Dragón Camoa
- Copelita
- La Victoria
- Quiebra Hacha (Guanabacoa)
- Anafe III
- Antonio Ravelo (210)

Litología		% pasados por el tamiz 200	% absorción	% huecos
Calizas	pelitomórficas recristalizadas	0,9-119	0,6-1,12	34,6-42,8
	masivas con textura brechosa	0,9-1,5	0,4-0,25	37,5-38,2
	dolomitizadas	0,3-2,6	0,4-1,8	38,8-42,1
	margosas	0,3-2,6	0,4-1,8	38,8-42,1
	organógenas cavernosas y margas	2,1-0,2	0,6-5,88	42,1-40,1
"Areniscas	calcáreas	0,3-1,2	2-0,9	39,1-38,4
	grano muy fino, medio y grueso	1,8-2,5	2-2,54	42,8-42,7
Calcarenita		0,6-6,6	1,6-2,5	45,9-50,8

Tabla1.1 Resumen de las propiedades de los áridos de la región occidental(Catálogo, 2007).

1.8Influencia de los porcentajes de sustitución de áridos reciclados por áridos naturales.

Algunos autores refieren que el hormigón se ve afectado negativamente por el uso de áridos reciclados frente a la carbonatación , ya que la velocidad de la carbonatación puede aumentar entre un 10% y un 65% para hormigones con un 100% de sustitución .Sin embargo otros autores plantean que el uso del

100% del árido reciclado grueso no afecta al hormigón frente a la carbonatación , y en el caso en el que los hormigones presentan la misma resistencia , puede llegar a producirse una mejora en la protección a medida que aumenta la cantidad de árido reciclado en la mezcla , debido a la reserva alcalina que puede quedar almacenada en la pasta antigua de mortero y además que obtener la misma resistencia de un hormigón reciclado debe ser menor . El efecto positivo de la reserva alcalina se presenta al impedir la destrucción de la película pasavante protectora del acero de esfuerzo, por lo que puede aumentar la vida útil de estructuras de hormigón(Ulloa Mayorga, 2012).

El uso de áridos reciclados no influye sobre hormigones con baja relación a/c, ya que sus propiedades se ven más influenciadas por la matriz y el sistema de poros , con una baja permeabilidad que por las características del árido reciclado y por tanto la carbonatación no es un riesgo para la corrosión de las armaduras (Moriconi, 2009).

La resistencia a la penetración de cloruros en el hormigón según la norma ASTM-C1202, 2005, disminuye a medida que se incorporan áridos reciclados en la mezcla. A pesar del aumento en la penetración de cloruros, se alcanza una calificación de riesgo medio , para hormigones con más de 50% de árido reciclado grueso se observa una disminución de la resistencia a la penetración de cloruros desde un 16% hasta un 60% respecto al hormigón de control según la relación a/c ya que con bajas relaciones de a/c puede comportarse igual a un hormigón con áridos naturales, encontrando que evidentemente el uso de materiales puzolánicos contribuye a mejorar la resistencia a la penetración de cloruros. Algunos autores han encontrado que la penetración de cloruros en hormigones con árido reciclado es menor respecto a un hormigón con áridos naturales a pesar de que el árido reciclado tiene mayor porosidad(Ulloa, 2012).

1.9 Influencia de los agregados pétreos.

1.9.1 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 cubrir con pasta, se tendrá menos fluidez (Martinez, 2013).

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 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 (Martinez, 2013).

1.9.2 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 (Zamora, 2013).

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 internase. (Zamora, 2013).

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 M, 2001).

1.9.3 Influencia de los agregados pétreos en la zona de interface.

Ante la aplicación de cargas, el micro agrietamiento se inicia generalmente en la zona de interface (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 interface; lo anterior subraya la importancia de esta zona. Por ello es necesario darle la debida importancia a las propiedades y el comportamiento de la zona de interface (Neville, 2005).

La zona de interface tiene su propia microestructura. La superficie del agregado se cubre con una capa de cristales orientados de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hidróxido de calcio) con un espesor aproximado de 0.5 μm , tras de ésta hay una capa de silicato de calcio hidratada, también de aproximadamente 0.5 μm de espesor; estas capas son conocidas como la película doble.

Más alejada de los agregados está la zona de interfase principal de unos 50 μm 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, 2005). La zona de interface 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 interface 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 interface 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 interface tiene una porosidad mucho mayor que la pasta de cemento endurecida más alejada de las partículas del agregado.

Según (Cetin A, 2003) la diferencia entre los módulos de elasticidad del agregado y de la pasta de cemento endurecido influye en la tensión en la interface 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 interface como un elemento de gran importancia en el modelo estructural del hormigón.

Conclusiones Parciales

1. En la actualidad a nivel mundial el empleo de los RCD constituye una ventaja en la industria de la construcción.
2. Para la utilización de los materiales prefabricados se debe tener en cuenta las características que presentan en cuanto a su dosificación, composición y edad.
3. Los áridos reciclados, obtenidos mediante el proceso de trituración y según su composición y origen presentan en general una mayor

porosidad, mayor absorción y una textura superficial más rugosa que los áridos naturales.

4. La información estudiada acerca de las propiedades del mortero reciclado expresan que existe una gran similitud de estas con las del mortero convencional.

Capítulo 2: Materiales y Métodos contenidos en el Plan Experimental para la elaboración de morteros con diferente porcentaje de finos menores que el tamiz 200.

INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como objetivo principal definir la aplicación del método experimental a través de los ensayos que permiten establecer las propiedades físicas y mecánicas de los morteros elaborados con áridos reciclados empleando diferentes porcentajes de finos menor que el tamiz 200. También persigue como objetivo exponer el proceso de obtención y las principales características de los materiales a emplear, además de mencionar las pruebas que se llevaron a cabo en los ensayos de caracterización de los áridos a utilizar verificando el cumplimiento de los requisitos de conformidad del material según las normas establecidas y esclarecer las bases de los ensayos experimentales realizados en el CTDMC.

2.1 Obtención del material.

Se procedió a la selección del material en la Planta de Elementos Prefabricados de Alamar bajo el criterio de elementos no conformes. Para la obtención de la arena se realizó la trituración de los paneles prefabricados en la planta de Puerto Carenas, ubicada en la Habana, obteniéndose un porcentaje de finos menor que el tamiz 200 de 4.5%, además se le comprobó la granulometría menor de 4,75 mm, luego este material fue lavado con el objetivo de eliminar la mayor cantidad posible de finos. Por otra parte la arena natural se extrajo de la cantera de Quiebra Hacha ubicada en la provincia de La Habana.

2.2 Materiales utilizados. Características.

Los materiales utilizados en esta investigación fueron:

- Cemento P-350
- Árido reciclado procedente de planta de prefabricado
- Arena de la cantera Quiebra Hacha
- Aditivo Daynamon- SRC 20
- Árido fino menor que tamiz 200

2.2.1 Características de los materiales

- El cemento utilizado en la elaboración de los morteros fue el P-350 cuyas características física-mecánicas y químicas se muestran a continuación:

Ensayos	Unidad	Resultados	Especif.
Tiempo de Fraguado inicial	min.	175	≥45
Tiempo de Fraguado inicial	hrs.	3.25	≤10
Consistencia Normal	%	34	
Finura de molido Tamiz170	%	0.3	
Peso Específico Real del Cemento	g/cm ³	3.04	

Tabla 2.1 Características del cemento

- Árido reciclado de Hormigón Padre (HP)

Procede de la selección de paneles de hormigón de Planta de Prefabricado de Alamar, y procesado en la planta de Puerto Carenas, ambas plantas ubicadas en la Habana.



Figura 2.1 Árido de Hormigón padre (HP)

- Árido fino natural.

Este árido se obtuvo de la cantera Quiebra Hacha, ubicada en la Habana. Con 0% de partículas de arcillas, un promedio de módulo de finura 3,6 y un 1,4% de absorción.



Figura 2.1 Arena de la cantera Quiebra Hacha

- Aditivo Daynamon- SRC 20.

Es un producto superfluidificante retardador, reductor de agua de alta eficacia, presenta un mantenimiento de la laborabilidad de 2.5 horas a 3 horas, se debe emplear solo hasta un 1% de cemento (de partes finas) para hormigones. No tiene presencia de cloruros.



Figura 2.3 Aditivo Daynamon- SRC 20.

- Árido fino menor que tamiz 200.

Para obtener el fino necesario para la experimentación, se molió la arena reciclada por debajo del tamiz 2.5 durante 1h y 20 min en el molino de bolas y se realizó un proceso de tamizado para la obtención del mismo.



Figura 2.4Árido fino menor que tamiz 200

2.3 Diseño del plan experimental

El desarrollo de la investigación se realizó en el Centro Técnico de Desarrollo de Materiales de Construcción (CTDMC) en la Habana, aprovechando la experiencia de los técnicos y la calidad de los trabajos antes realizados. El principal objetivo fue conseguir resultados válidos y significativos en el comportamiento de morteros elaborados con diferentes porcentos de sustitución de áridos reciclados en la mezcla (0%,25%,50%.75%,100%) y de

finos menor que tamiz 200 (0%,3%,6%), además del comportamiento de la matriz del hormigón ante la presencia de estos diferentes porcentajes de finos. De esta forma queda definida como variable independiente la influencia de los diferentes porcentos de finos menor que tamiz 200 en las cinco muestras de diferentes por ciento de sustitución del árido reciclado.

Se realizaron un total de 168 probetas prismáticas de dimensiones 4x4x16 cm, siendo un total de 56 moldes.

Para demostrar las propiedades mecánicas de los moteros elaborados se realizaron los ensayos de mesa de fluidez cada vez que se realizaba una dosificación diferente, además de ensayos de flexión y compresión en las edades de 7 y 28 días y de absorción de agua por capilaridad.

2.4 Ensayos de caracterización de áridos.

Los ensayos de caracterización realizados a los materiales fueron:

1. Análisis Granulométrico.
2. Material más fino que el tamiz 200.
3. Partículas de arcilla.
4. Peso específico corriente, saturado y aparente.
5. Absorción de agua.
6. Masa volumétrica suelta y compactada.
7. Por ciento de vacío.
8. Módulo de finura.

A continuación se detallan como se realizó el procedimiento de los ensayos de laboratorios realizados en el CTDMC (Centro Técnico para el Desarrollo de Materiales de Construcción) para en esta investigación.

Análisis granulométrico

Según la NC 178-2002 el procedimiento que se sigue para la determinación de la granulometría de los áridos gruesos y finos, es por medio de tamices de

aberturas cuadradas consistiendo en la determinación de las fracciones granulométricas de los áridos. Después de tamizado se seca el material en una estufa a 105-110 °C, se cuartea el material con la cuarteadora colocando así la muestra obtenida en el embudo o bandeja de alimentación y se distribuye uniformemente. El peso de las cantidades retenidas en cada tamiz se determinó en una balanza digital. Los porcentajes se calcularon sobre la base del peso total de la muestra.(NC-178, 2002)

Peso específico y absorción.

Para el caso de la arena dándole seguimiento a la NC 186: 2002 se obtuvieron los pesos específicos y la absorción de agua por medio del pesaje de la arena en estado seco y saturado en agua. Se obtuvo por cuarteo 1 000 g de la muestra.

$$\text{Peso específico corriente} = \frac{A}{(B+C-C1)}$$

$$\text{Peso específico saturado} = \frac{B}{(B+C-C1)}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(A+C-C1)}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{(B-A)}{(A*100)}$$

Donde:

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

Para el caso de árido grueso se realizó el procedimiento de la NC 187: 2002.

$$\text{Peso específico corriente} = \frac{A}{B-C}$$

$$\text{Peso específico saturado} = \frac{B}{B-C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A-C}$$

Donde:

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

B: Peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca (g)

C: Peso en el agua de la muestra saturada (g)(NC-186, 2002)

Material más fino que el tamiz 200

Para realizar este ensayo se tuvo en cuenta la NC 182:2002 tomando 500g de partículas hasta 4.76mm luego de ser cuarteada se colocaron y desecaron en la estufa hasta peso constante, se colocaron en un recipiente con agua y se agitaron hasta poner en suspensión las partículas finas que pasan el tamiz 200, luego se vertió el agua que contenía la partículas en suspensión en los dos tamices colocados. Se les realizó un proceso de lavado hasta que el agua saliera completamente limpia y clara, el material retenido en los tamices se une a la muestra lavada, se deseca el material lavado hasta peso constante (durante 24 horas), luego se procede al cálculo y expresión de los resultados.

$$\% \text{pasado T200} = \frac{(A-B)}{(A*100)}$$

A- Peso de la muestra original seca

B- Peso de la muestra seca después de lavada.(NC-182, 2002)

Determinación del contenido de arcilla

Para este ensayo las muestras se obtienen por cuarteo o con un separador mecánico de una muestra representativa tomada del material que se quiere ensayar. Las mismas serán tratadas de manera tal que no se rompan las partículas de arcilla que puedan estar presentes. Luego se determinó el porcentaje que representan del peso del árido. Las muestras se secaron hasta peso constante a una temperatura de 105 - 110 °C. Las muestras de áridos finos estarán formadas por las partículas retenidas en el tamiz con abertura de malla de No. 16 y su peso no será menor de 100 g. Se calcula el porcentaje de partículas de arcilla con aproximación de 0,1 %, tal como sigue:

$$L = \frac{(W - R)}{W * 100}$$

W – Peso de la muestra (g)

R – Peso de la muestra después de separarle las partículas de arcilla (g). (NC-179, 2002)

Humedad superficial

Según la NC 187: 2002 el ensayo consistió en determinar de la humedad superficial de la arena, antes de ser utilizada en las mezclas de hormigón, conociendo el peso específico de la misma en estado saturado sin humedad superficial. La obtención de la muestra se hizo según se establece en la NC 54- 029.

Peso volumétrico

Los pesos volumétricos se determinan según la (NC-181, 2002) por medio de pesadas del material contenido en recipientes calibrados de volumen conocido. En el caso de las arenas, antes de determinar el peso volumétrico, las muestras se secarán hasta peso constante. El recipiente será llenado en tres capas, dándosele 25 golpes con la varilla de compactación. En los casos de los áridos finos podrá utilizarse también la varilla de compactación como rasero. Se determinará el peso neto del árido contenido en el recipiente, luego se obtendrá el peso volumétrico (suelto o compactado) multiplicando el peso neto por el factor de calibración calculado.

Determinación del % de huecos

A partir de la determinación del peso específico corriente y el peso volumétrico compactado según las normas de referencia, se aplica la fórmula:

$$\% \text{ huecos} = (\text{PEC} - \text{PVC}) / \text{PEC} * 100$$

2.5 Resultados de los ensayos de caracterización.

El análisis se le realizó a 2 muestras, arena natural de la cantera Quiebra Hacha y arena reciclada de hormigón padre procedente de paneles no conformes de plantas de prefabricados. Los resultados de los ensayos de caracterización realizados fueron los siguientes:

- Análisis granulométrico

En el gráfico 2.1 se analizó el resultado obtenido de la arena natural comparando el mismo con las especificaciones máximas y mínimas de la norma NC251:2005 llegando a la conclusión de que para los tamices 0.595, 1.19, y 2.38 el material no cumple con la norma exigida, pero como los valores son pequeños no se consideran significativos.

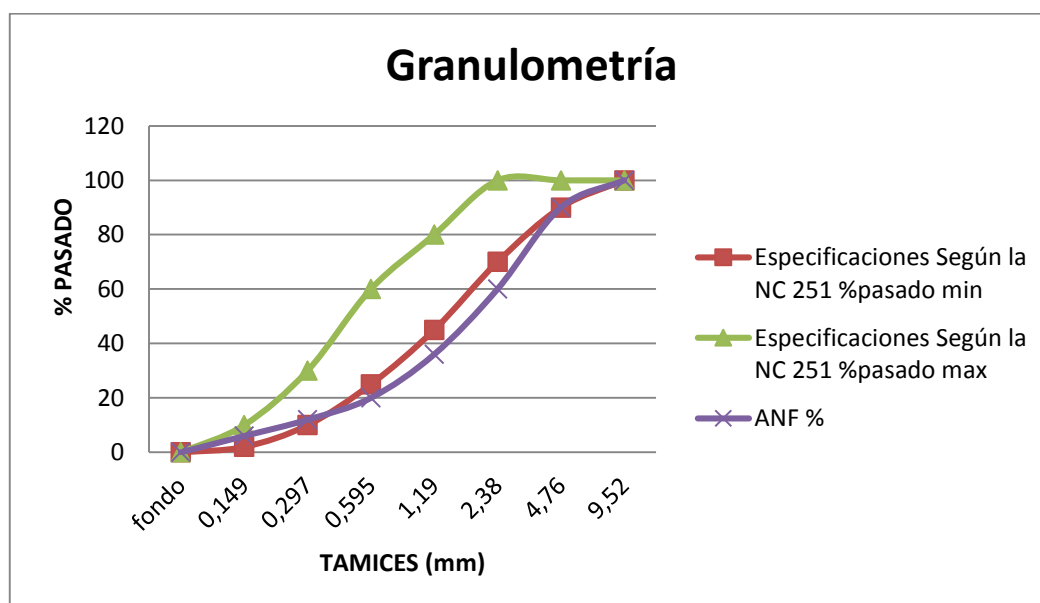


Gráfico 2.1 Porcientos pasados por los tamices normados de la arena natural.

En el caso de la arena reciclada se realizó una comparación con las normas internacionales referentes a las especificaciones de la misma, en este caso la norma colombiana y mexicana. La curva granulométrica de la arena reciclada no cumple con ninguna de las especificaciones exigidas por estas normas, esto nos lleva a juzgar las propiedades de este material ya que el mismo no posee las condiciones básicas para su utilización.

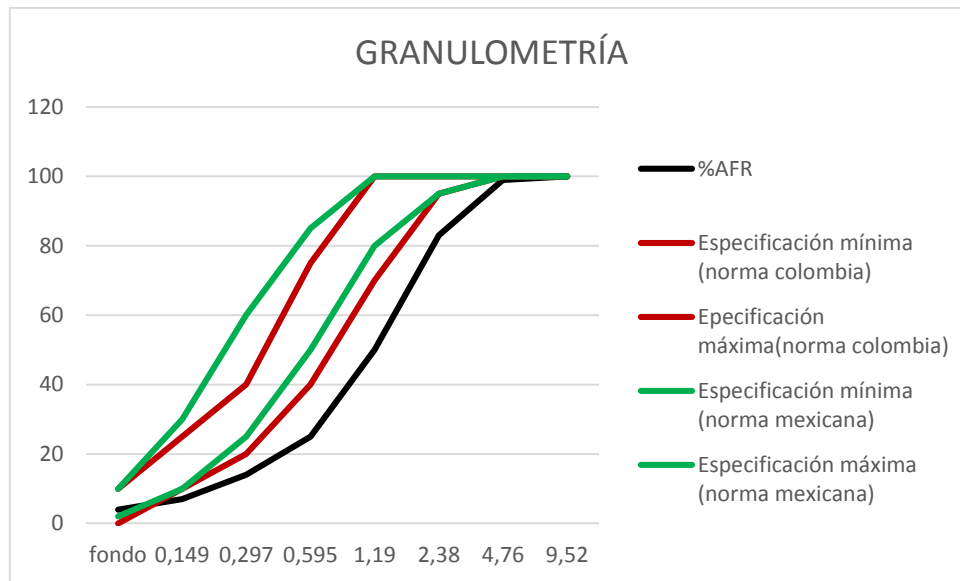


Gráfico 2.2 Porcientos pasados por los tamices normados de la arena reciclada.

- Módulo de finura

En la tabla 2.1 se muestran los resultados obtenidos del Módulo de Finura a partir del análisis granulométrico de los áridos ensayados.

MODULO DE FINURA		ESPEIFICACION
AFR	AFN	
4,2	3,8	

Tabla2.1 Resultados del Módulo de Finura.

Según la norma cubana NC 251:2005 los áridos analizados no cumplen con las especificaciones establecidas.

- Material más fino que el tamiz 200

De los materiales ensayados en el caso de la arena reciclada se cumplen con las especificaciones establecidas por la norma NC 251:2005, mientras que los valores obtenidos del contenido de finos de la arena natural son mayores que los permitidos por la norma. Estos valores se evidencian en la tabla 2.2 y el gráfico 2.3.

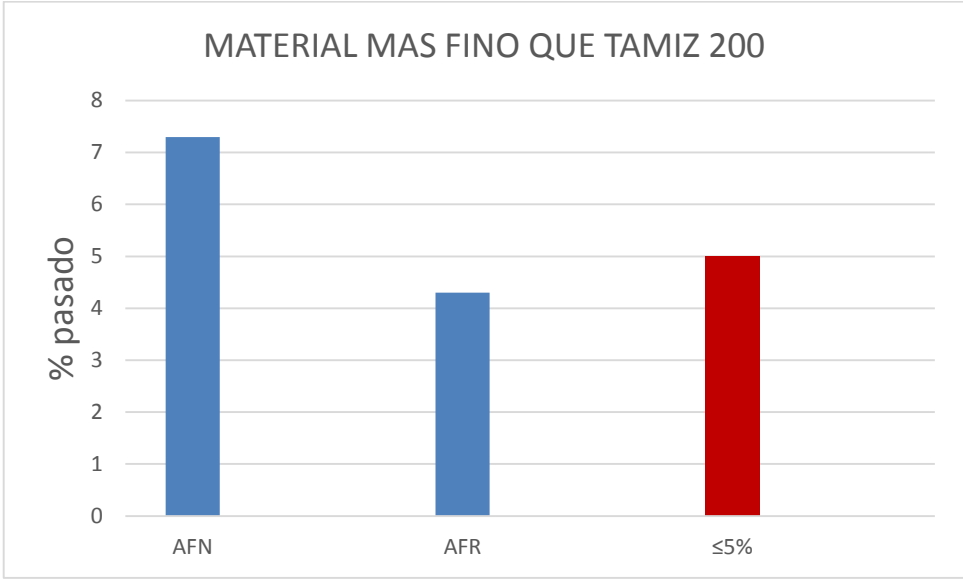


Gráfico2.3 Material más fino que el tamiz 200.

MATERIAL MAS FINO QUE TAMIZ 200 (%)		ESPECIFICACION
AFN	AFR	≤5%
7,3	4,3	

Tabla2.2 Resultados de los ensayos del material más fino que el tamiz 200.

- Partículas de arcilla

Las muestras estudiadas no presentan partículas de arcilla.

- Por ciento de huecos

El porcentaje de huecos en los áridos y el índice de compacidad están directamente relacionados. En el análisis realizado a ambas muestras se aprecia que el árido natural presenta un menor porcentaje de huecos debido a que el árido reciclado arrastra consigo el mortero adherido lo que proporciona una mayor porosidad en este material influyendo esto en un mal acomodo de las partículas. Estos resultados se muestran en el gráfico 2.4.

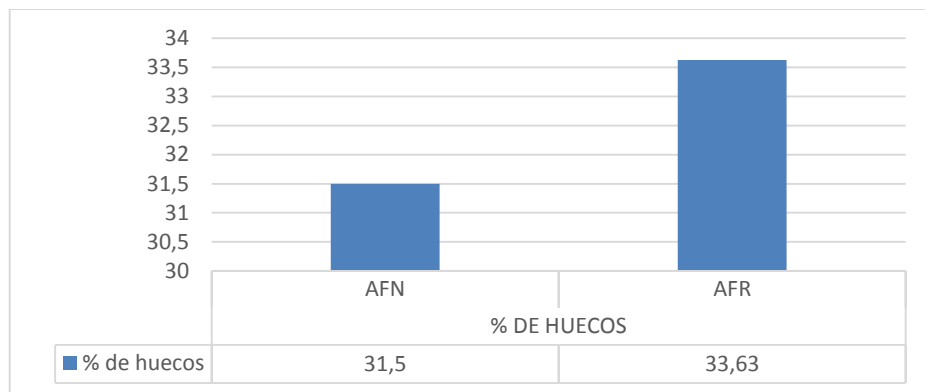


Gráfico 2.4 Resultados de % de huecos

- Absorción

Como se puede apreciar en el gráfico 2.5 según la norma cubana NC 251:2005 el valor de absorción obtenido en el caso del árido natural fue de 1.17, mientras que el árido reciclado presenta una absorción de 7.78, mucho mayor que la permisible por la norma. Esto se debe tener en cuenta a la hora de realizar la mezcla tratando de utilizar el árido reciclado presaturado con un determinado tiempo para que así la absorción del mismo a la hora de realizar la mezcla no afecte en la fluidez de la misma.

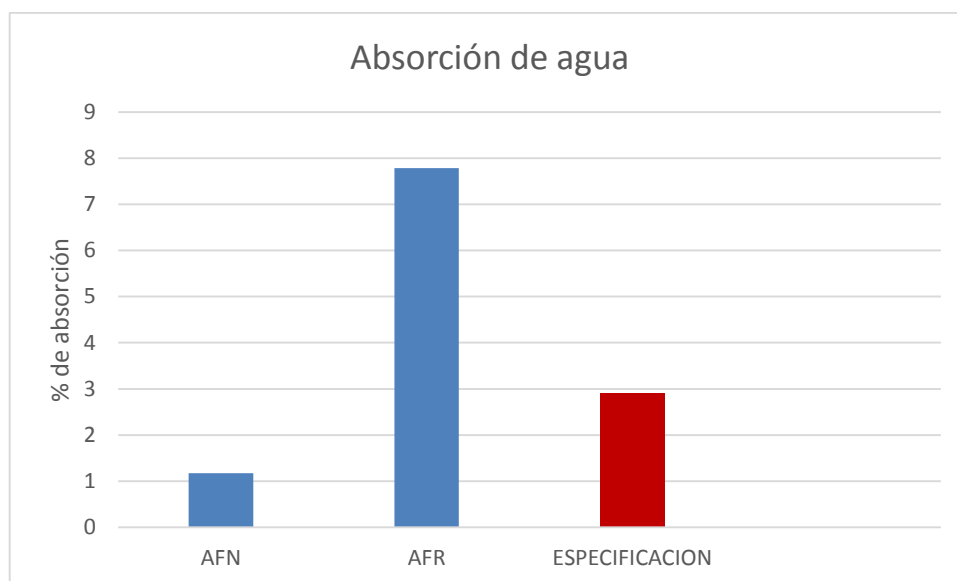


Gráfico 2.5 Resultado de los ensayos de Absorción.

- **Peso Específico Corriente**

La norma cubana de áridos indica que el peso específico corriente de los áridos debe estar por encima del 2.5 g/cm^3 , una vez estudiados los resultados testificamos que solo el caso de la arena reciclada cumple satisfactoriamente con este criterio. En el gráfico 2.6 se muestran los resultados.

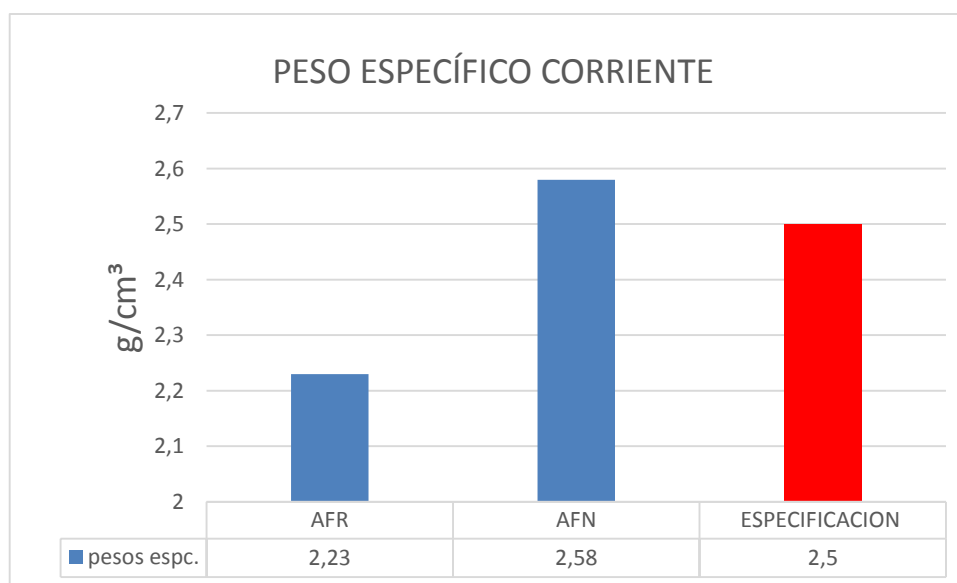


Gráfico 2.6 Resultados del Peso Específico Corriente.

Peso volumétrico

Los valores de Peso Volumétrico Suelto y Peso Volumétrico Compactado de la arena reciclada son menores que los valores de la arena natural, esto se debe a que la arena natural tiene un tamaño de partículas finas mejor distribuidas lo que permite el acomodo de estas en un volumen dado de material. Estos resultados se expresan en el gráfico 2.7.

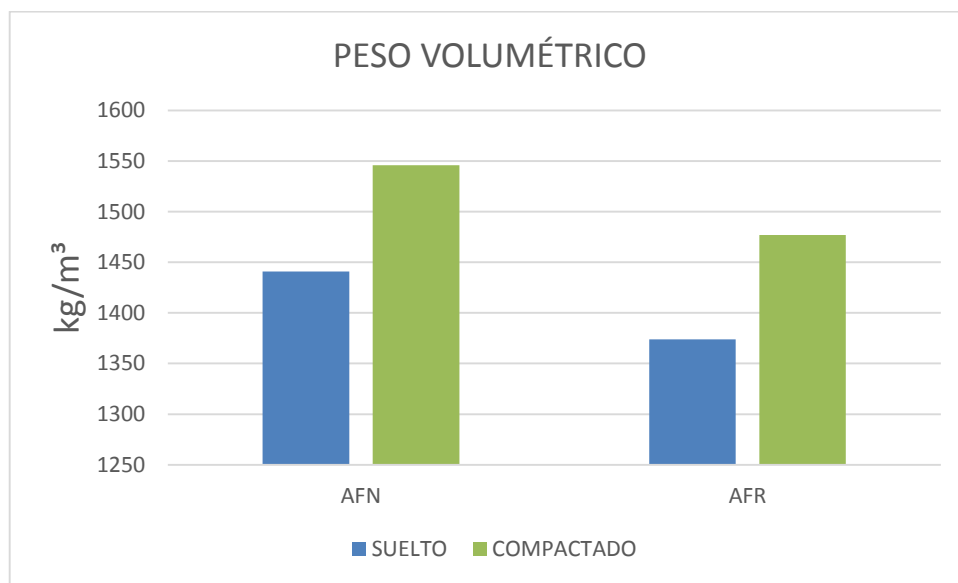


Gráfico 2.7 Resultados del Peso Volumétrico Suelto y Compactado.

2.5 Morteros.

2.5.1 Elaboración.

Para la elaboración de los morteros se sustituyó el árido natural por árido reciclado en diferentes por cientos, además de agregarle diferentes dosificaciones de finos menores del tamiz 200. Este diseño partió de una relación a/c de 0,5 constante para todas las dosificaciones. Se hizo necesario probar diferentes porcentos de aditivos desde 0,5% hasta 1% para lograr la fluidez exigida por la norma de mortero estructural.

MORTERO	% A.RECICLADO	% A.NATURAL	% FINOS
E1	0	100	0
E2	25	75	0
E3	50	50	0
E4	75	25	0
E5	100	0	0
L1	0	100	3
L2	25	75	3
L3	50	50	3
L4	75	25	3
L5	100	0	3
Z1	0	100	6
Z2	25	75	6
Z3	50	50	6
Z4	75	25	6
Z5	100	0	6

Tabla 2.3 Dosificaciones de los morteros.

3.5.2 Ensayos.

3.5.2.1 Mortero en estado fresco.

Para la realización de este ensayo se tomaron en cuenta las normas siguientes:

- (NC-656,2008) Mortero Estructural.Especificaciones, preparación aplicación.
- (NC-170, 2002)Consistencia en la mesa de sacudida.

Determinación de la consistencia en la mesa de sacudidas.

- Preparación de la muestra.

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

El proceso de preparación fue de 90s por cada amasada y una proporción de 3:1, se realizó mezclando durante los primeros 30s el árido reciclado con 250 mil de agua, en las dosificaciones donde este estuviera presente, luego se añadió 500g de cemento, el árido natural y los 250 mil de agua restante durante 30s mas y finalmente el 1% del aditivo como se recomienda el ficha técnica del mismo los restantes 30s. Todo esto para lograr la mayor fluidez posible de la mezcla.

Este paso de preparación de la muestra fue de gran importancia debido a la demanda de agua del árido reciclado lo cual exigía una saturación previa del mismo para que la mezcla tuviese la fluidez requerida ya que esta 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.

- Procedimiento.

Antes de realizar el procedimiento se debe revisar la limpieza de las piezas a emplear y haber accionado el equipo por lo menos 10 veces para asegurarnos que fueran uniformes los golpes que posteriormente se realizaron. La consistencia se determinó midiendo promediamente el escurrimiento de una muestra del mortero fresco. Para ello se llenó el molde tronco-cónico situado en una mesa circular de sacudidas y una vez quitado el molde de la mesa se

somete el mortero a 25 golpes verticales, elevándose a su vez a una altura de 12,7mm. Todo este proceso dura aproximadamente 15s. 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.

La fluidez exigida por la norma es de 190 ± 5 mm en el caso de utilizar una mesa de sacudidas de 254 ± 2.5 mm, la mesa utilizada en esta experimentación representa un valor equivalente del exigido de 80 mm.



Figura 2.1 Ensayo de determinación de la Consistencia en la Mesa de Sacudidas.

2.5.2.2 Mortero endurecido.

Para la realización de estos ensayos se tomaron en cuenta las normas siguientes:

- (NC-171, 2002) Determinación de la absorción de agua por capilaridad.
- (NC-173, 2002) Mortero endurecido. Determinación de la resistencia a flexión y a compresión.

Determinación de la resistencia a flexión y compresión.

-Preparación de la muestra.

La preparación de la muestra se realizó de la misma forma para todos los ensayos realizados, siempre con el objetivo de mantener una buena fluidez.

Luego de elaboradas las probetas son desmoldadas después de un período de 24 horas, se colocaron en la cámara de curado y fueron retiradas a los 7 y 28 días, (tiempo de ensayos).



Figura2.2 Cuarto de curado.

- Procedimiento.

Los ensayos de resistencia tanto a flexión como a compresión se denominan ensayos destructivos, una vez que se rompe la probeta para determinar la resistencia a flexión da como resultado dos partes de la misma para ser ensayadas a compresión. Lo primero que se realizó para ambos ensayos fue el pesaje y la medición de las probetas prismáticas.

- 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.

- 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.



Figura 2.3a) Ensayo a compresión. b) Ensayo a flexión.

Determinación de la absorción de agua por capilaridad.

La determinación de la absorción de agua por capilaridad es un ensayo de durabilidad no destructivo para la realización de este ensayo se tuvo en cuenta la norma NC 171: 2002 "Mortero endurecido. Determinación de agua por capilaridad".

-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.

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.

Conclusiones Parciales.

1. Para ambas muestras se realizan los mismos ensayos de caracterización.
2. Los resultados de los ensayos de caracterización demuestran que el material reciclado presenta mejores propiedades en cuanto el contenido de finos que pasa por el tamiz 200.
3. Existen normas a nivel internacional que permiten clasificar los áridos reciclados atendiendo a sus propiedades físico-mecánicas.

Capítulo 3: Análisis de los Resultados.

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se exponen los resultados del plan experimental realizados sobre el comportamiento de la absorción de agua por capilaridad y la resistencia a flexión y compresión a los 7 y 28 días, los mismos dependían del porcentaje de sustitución del árido reciclado por el árido natural y del incremento de finos menores que el tamiz 200.

3.1 Propiedades de los morteros en estado fresco

Los morteros en estado fresco se ensayaron con el objetivo de obtener una fluidez que cumpliera con los parámetros que exige la norma de mortero estructural manteniendo una relación $a/c=0.5$ constante y utilizando el aditivo al 1% del peso del cemento. En el gráfico 3.1 se muestran los resultados obtenidos apreciando que el rango de consistencia estuvo de 50 a 71mm, valores que no cumplieron con lo exigido por la norma. Esto fue debido a la influencia de los finos menores que el tamiz 200, ya que como se puede apreciar en el gráfico a medida que aumenta la cantidad de finos los resultados de consistencia disminuyen. Como la arena natural presenta un mayor porcentaje de finos y a su vez menor absorción de agua que el propio árido reciclado (según los resultados de los ensayos de caracterización), a medida en que se utiliza un mayor porcentaje de este material, la presencia de finos es directamente proporcional. Llegando a la conclusión de que existen dos factores que influyen directamente en la consistencia de las mezclas una es que a mayor porcentaje de arena natural en la mezcla mayor presencia de finos y por ende menor consistencia debido a la superficie específica del material y que a medida que aumenta el porcentaje de finos reciclados la absorción comienza a jugar un papel importante disminuyendo la fluidez de la mezcla, teniendo un mayor efecto en las mezclas el primer factor. En la tabla 3.1 se

muestran la cantidad de finos que posee cada mezcla teniendo en cuenta los porcentos que vienen incorporados en los materiales según los ensayos de caracterización.

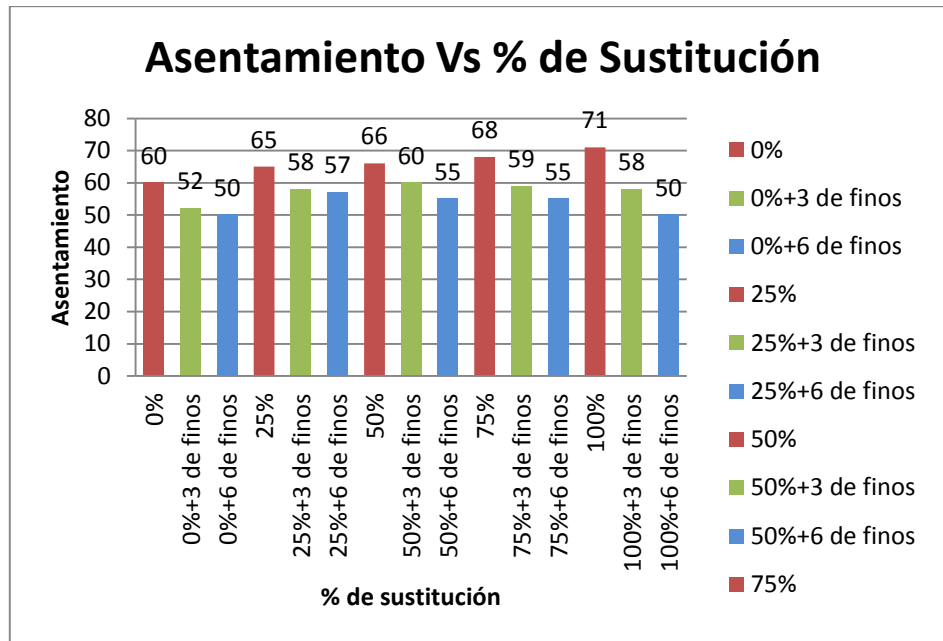


Gráfico 3.1 Resultados de los ensayos la Consistencia.

MUESTRAS	FINOS	Cantidad (g)	ASENTAMIENTO(mm)
E5	0%	64,5	71
L5	3%	109,5	60
Z5	6%	154,5	50
E4	0%	75,75	68
L4	3%	109,5	60
Z4	6%	143,25	55
E3	0%	87	64
L3	3%	109,5	60
Z3	6%	132	55
E2	0%	98,25	65
L2	3%	109,5	60
Z2	6%	120,81	57
E1	0%	109,5	60
L1	3%	154,5	52
Z1	6%	199,5	50

Tabla3.1 Cantidad de finos para cada mezcla.

Otro de los análisis realizados fue la utilización del aditivo al 1,5% con el objetivo de buscar una mayor fluidez de la mezcla, lo que demostró que al aumentar el aditivo la fluidez de la mezcla era poco variable como se muestra en el gráfico 3.2.

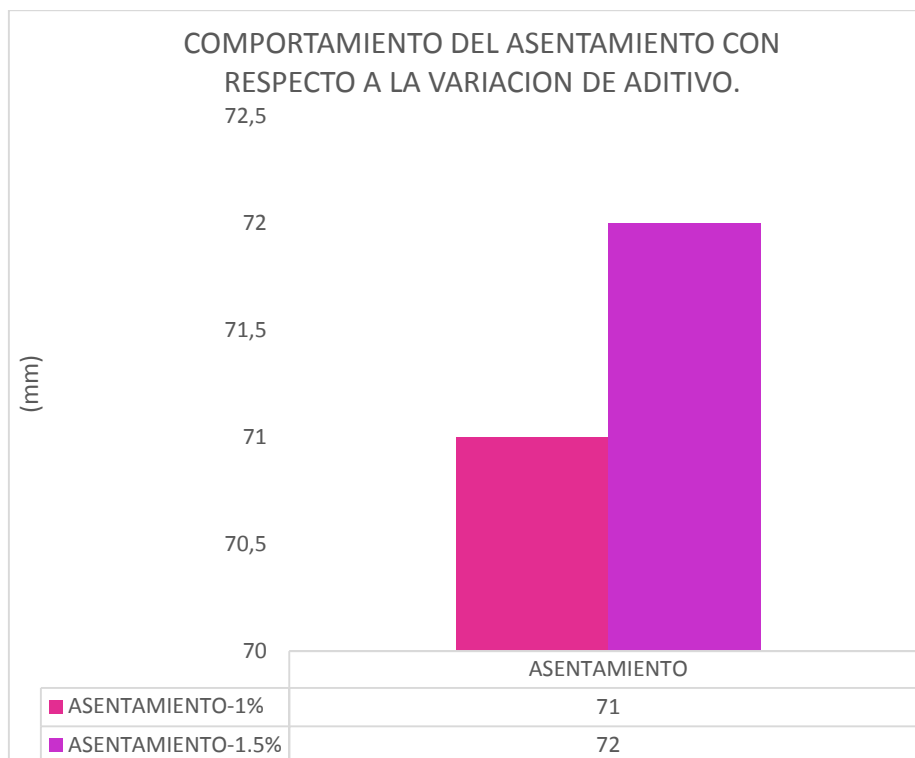


Grafico3.2 Resultados de Asentamiento Vs Variación de Aditivo.

Las pruebas de resistencia realizadas a los morteros en estado endurecido con esta relación de aditivo manifestaron un leve aumento de la resistencia con respecto a la obtenida con la utilización del aditivo según la ficha técnica del mismo (1%). Esto demuestra que, de haber aumentado la cantidad de aditivo en las dosificaciones realizadas se hubiese logrado poca variación de la fluidez además de un leve aumento de la resistencia de los moteros, lo cual no sería factible porque al aumentar el porcentaje del aditivo traería consigo gasto innecesario de dinero ya que el mismo no cumplió con el objetivo perseguido.

3.2 Propiedades de los morteros en estado endurecido.

Ensayos de resistencia a flexión.

La resistencia a flexión es una de las propiedades de gran importancia en esta investigación ya que constituye un factor que ayuda a evaluar la influencia de los finos menores que el tamiz 200. Esta propiedad se analizó según el comportamiento que presentaba cada muestra dependiendo del porcentaje de árido fino empleado, realizando una comparación con respecto a las muestras patrón.

En el gráfico 3.9 se exponen los resultados de la resistencia a flexión a los 7 días.

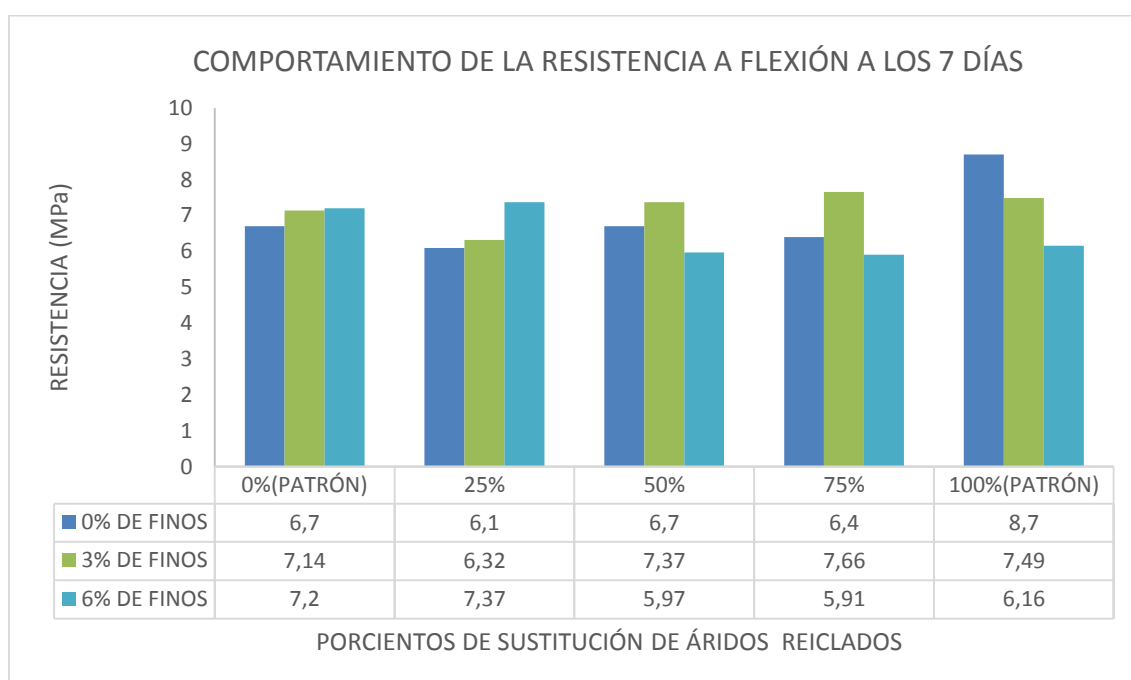
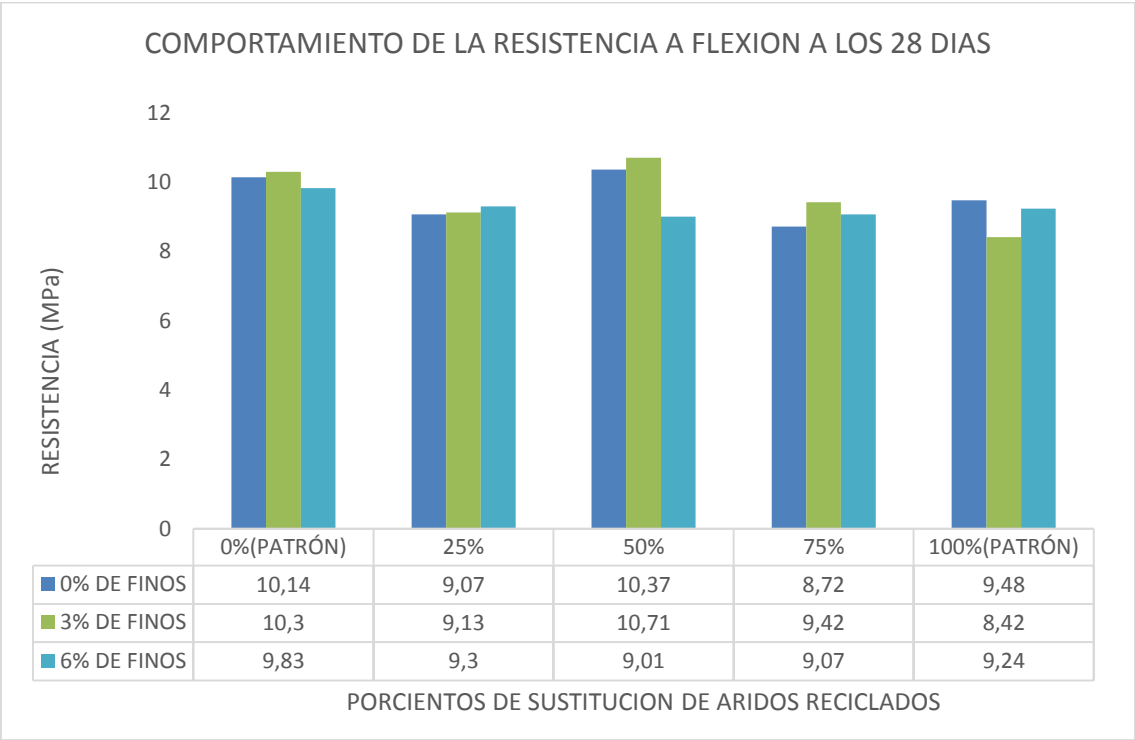


Gráfico 3.3 Resultados de la resistencia a flexión a los 7 días.

En este gráfico se aprecia que en las dosificaciones donde no se sustituyó finos menores que el tamiz 200, los resultados de la resistencia de las muestras para un 25% y 75% de sustitución de AR por AN son menores que las muestras patrón, mientras que en el 50% se mantiene igual, donde se sustituyó

el 100% de AR por AN el resultado es significativamente mayor debido a que las propiedades que presenta el árido natural son más malas que las del árido reciclado. Para un 3% de sustitución de áridos finos menor que el tamiz 200 y un 25% de sustitución de AR por AN la resistencia a flexión disminuye con respecto a las muestras patrón, en las demás muestras esta propiedad aumenta a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de AR por AN. Donde se sustituyó el 6% de finos menores que el tamiz 200 los resultados se tornan de forma inversa que la sustitución anterior, siendo mayor la resistencia para el 25% de sustitución de AR por AN con respecto a las muestras patrón y menores los resultados de las otras muestras a medida que aumenta la sustitución de AR. De forma general se garantiza como mejor comportamiento de la resistencia a flexión ensayada a los 7 días a las muestras donde se sustituye un 3% de finos menores que el tamiz 200.



Graffico3.4 Resultados de la resistencia flexión a los 28 días.

Los ensayos de resistencia a flexión realizados a los 28 días presentan valores de resistencia mayores que a los 7 días. En el caso donde no se sustituye fino menor que el tamiz 200 la muestra que representa un porcentaje de sustitución del 50% de AR por AN presenta una mayor resistencia que las muestras

patrón, las demás muestras tienen una ligera disminución de la resistencia con respecto a los patrones. Para un 3% de sustitución de finos ocurre la misma situación que en el caso anterior. Y donde se sustituye un 6% de finos todas las resistencias se comportan menores o muy similares que la que representa las muestras patrón. Llegando a la conclusión de que las mejores resistencias de flexión a los 28 días se obtienen de la sustitución del 50% de AR por AN, además resulta más factible la sustitución del 3% de finos menores que el tamiz 200.

Ensayos de resistencia a compresión.

La resistencia a compresión constituye una propiedad muy importante en esta investigación, a través del análisis de la misma se podrá definir la influencia del porcentaje de los finos menores que el tamiz 200. El análisis de esta propiedad se realizó por separado para cada una de las dosificaciones con el objetivo de poder determinar el comportamiento de los morteros en dependencia del porcentaje de fino empleado y comparando la muestra patrón con las que presentan árido reciclado en sustitución.

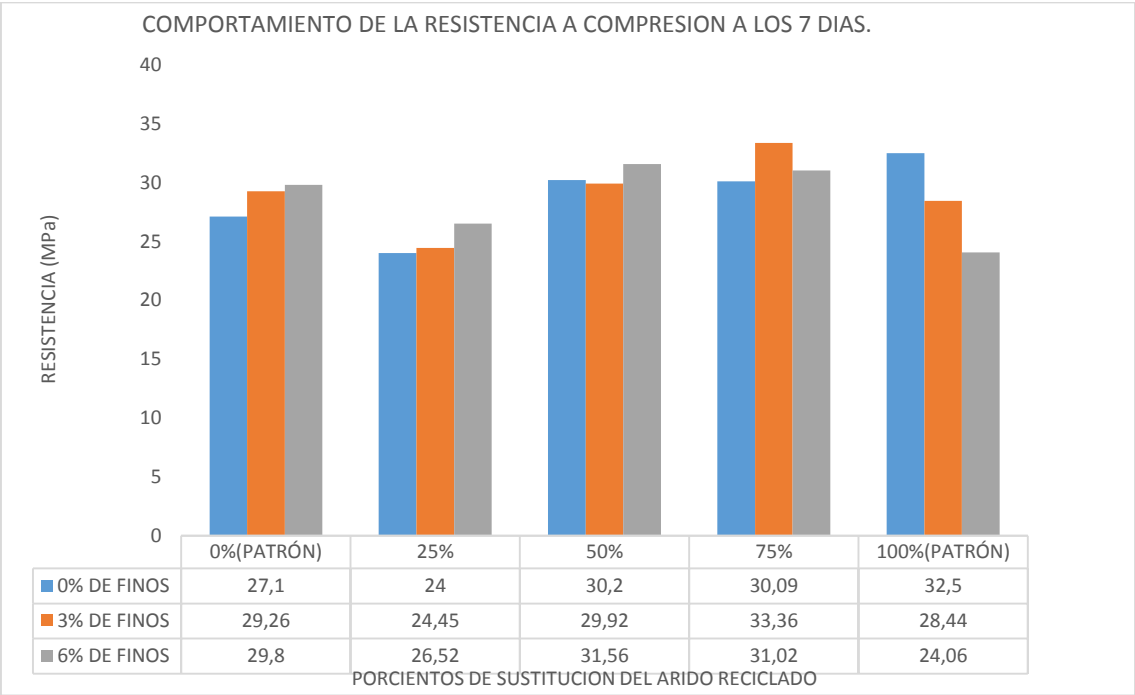


Gráfico 3.5 Resultados de la resistencia a compresión a los 7 días.

En el grafico 3.11 se exponen los resultados de los ensayos de resistencia a compresión ejecutados a las muestras a los 7 días, realizando una comparación de las diferentes dosificaciones con respecto a las muestras patrón. Se puede exponer que para un 0% de sustitución de los finos menores que tamiz 200 comparando con las muestras patrón, solamente donde se sustituye el 25% de AR por AN se aprecia una disminución de la resistencia, mientras que para un 50%, 75% y de sustitución del AR por AN las resistencias son mayores con respecto a la muestra patrón donde se utiliza 100% de AN. Estos resultados donde las muestras con áridos reciclados en sustitución disponen de una mayor resistencia dependen en gran medida de las propiedades de los áridos utilizados, en los ensayos de caracterización expuestos en el capítulo anterior se manifiesta como conclusión que el AR presenta mejores propiedades que el AN, lo que demuestra que en la medida que el porcentaje de sustitución de AR por AN sea mayor, mejores serán las propiedades de la mezcla.

En el caso donde se emplea un porcentaje de sustitución de finos del 3% se evidencia que de igual forma para la muestra con 25% de sustitución de AR por AN la resistencia se comporta de forma descendente y en las muestras restantes se aprecia un aumento de la resistencia sobre todo para el caso de 75% de sustitución tomando como modelo ambas muestras patrón. El caso más crítico de sustitución del fino (6%) a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de AR por AN se aprecia un aumento de la resistencia llegando a ser la del 50% de sustitución mayor que las expresadas por las muestras patrón. De forma general se puede decir que el comportamiento más favorable de la sustitución de finos menores que el tamiz 200 es en un 3% de sustitución, mientras que la utilización de un 75% de AR por AN resultó ser la más favorable ya que presentó un mejor comportamiento de la resistencia que las demás muestras y en los porcentajes de sustituciones de finos.

En las muestras analizadas a los 28 días se aprecia un aumento considerable de la resistencia con respecto a las muestras analizadas a los 7 días. Si se comparan las dosificaciones donde no hay incremento de finos menores que el

tamiz 200 con respecto a las muestras patrón en el gráfico 3.10 se aprecia que para un 25% de sustitución de AR por AN la resistencia es menor, mientras que en las otras muestras existe un ligero aumento de la misma destacando la sustitución de 50% de AR por AN. Para un 3% de sustitución de los finos las resistencias resultan mayores que las de las muestras patrón, excepto para un 25% de sustitución. En el caso donde se sustituye un 6% de finos menores que el tamiz 200 a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de los AR por AN la resistencia disminuye en los tres casos manteniéndose casi constante con respecto a la sustitución del 100% de AN, si se compara con la utilización del 100% de AR, el comportamiento de las muestras se torna mucho mejor. De forma general se puede concluir que para una sustitución de AR por AN del 3% el comportamiento de la resistencia se torna más favorable que para las otras dosificaciones donde se sustituye o no un porcentaje de finos, además se debe tener en cuenta que para un 75% de sustitución del árido reciclado la resistencia se comporta mejor que con otros porcentajes de sustitución.

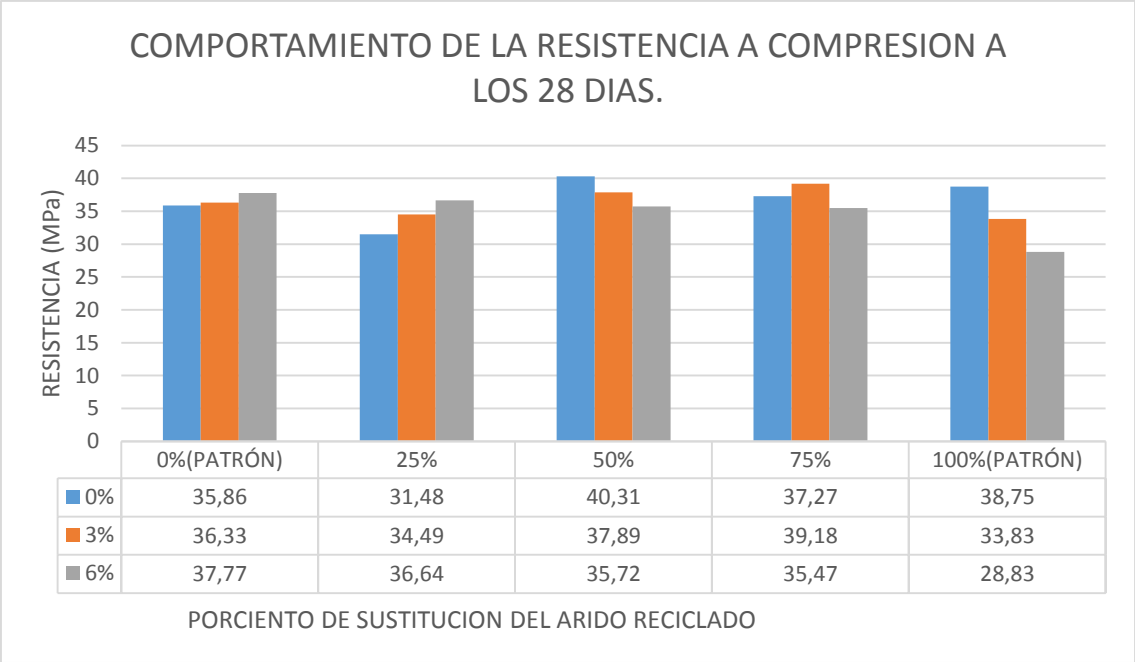


Grafico 3.6Resultados de los ensayos de resistencia a compresión a los 28 días.

Análisis de los resultados de la Absorción de Agua por Capilaridad.

Para realizar el análisis de la Absorción de Agua por Capilaridad se efectuó primeramente un análisis de la influencia de los finos menores que el tamiz 200 para los diferentes porcentajes de sustitución de AR por AN. Además se tuvo en cuenta a la hora de realizar este análisis la cantidad de finos que poseían los materiales de los cálculos en los ensayos de caracterización y se arribó a una conclusión general sobre el mejor comportamiento de esta propiedad. Los resultados de este ensayo se encuentran en los gráficos 3.7, 3.8 y 3.9.

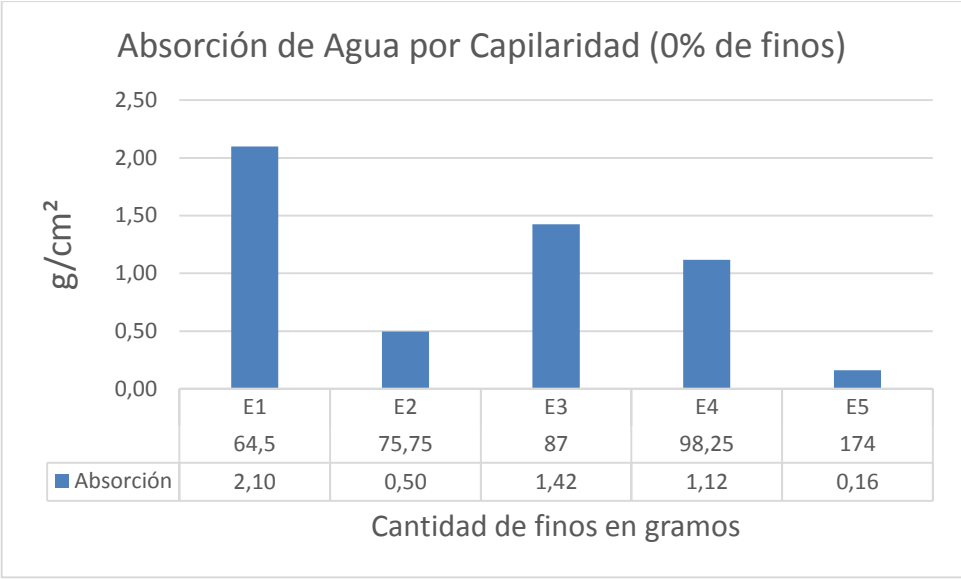


Gráfico 3.7 Resultados de la Absorción de Agua por Capilaridad.

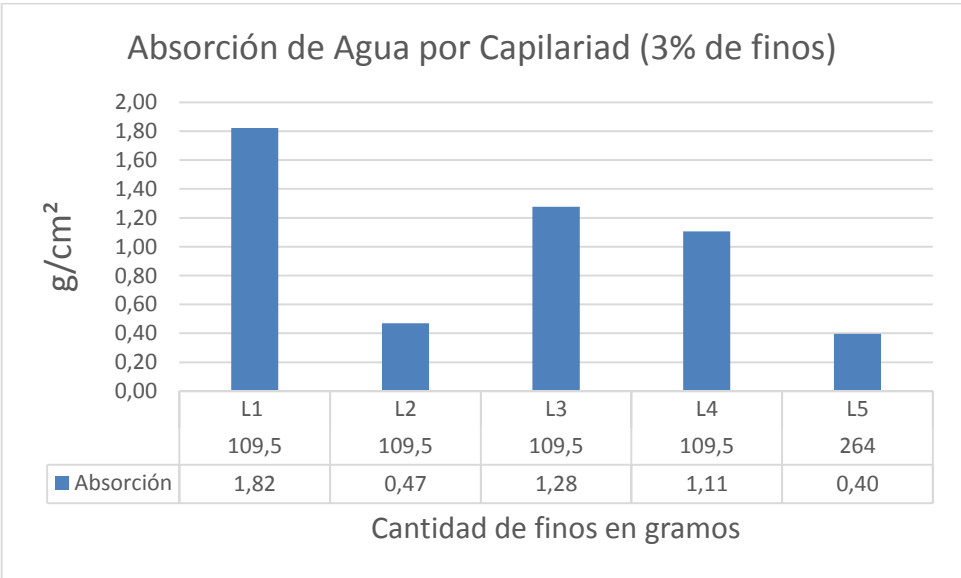


Gráfico 3.8 Resultados de la Absorción de Agua por Capilaridad.

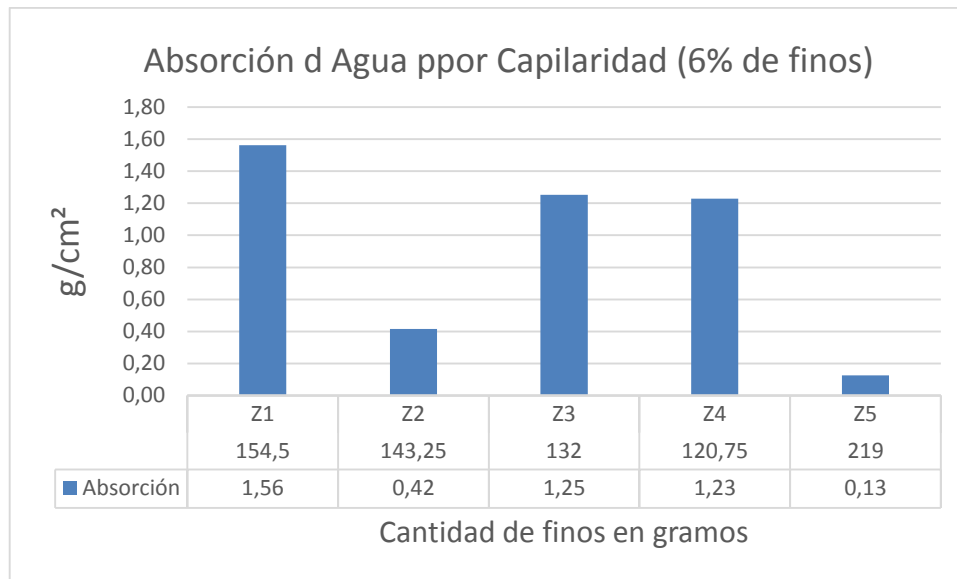


Gráfico 3.9 Resultados de la Absorción de Agua por Capilaridad.

Realizando un análisis de los resultados anteriores se puede apreciar para el caso donde no hubo sustitución de finos menores que el tamiz 200 que el comportamiento de la absorción es inversamente proporcional a la cantidad de finos que posee la muestra, a mayor cantidad de finos menor absorción. Este comportamiento se presenta en todas las muestras excepto en L2, donde se sustituye el 25% de AR por AN, en esta muestra sucede de forma contraria.

Para una sustitución del 3% de fino casi todas las muestras presentan el mismo contenido de este material y existe variabilidad en los resultados de absorción, esto se debe a que la cantidad de finos de cada muestras está compuesta por finos reciclados y naturales. En el caso de las muestras L1, L3, L4 y L5 aumenta la absorción debido al aumento de finos reciclados los cuales absorben mucha más agua que los naturales. La muestra L2 presenta un comportamiento inverso a las demás ejemplares.

En el caso donde se sustituye un 6% de finos menores que el tamiz 200 todas las muestras se comportan de forma inversa a las antes analizadas, a mayor cantidad de finos menor absorción. Esto se debe a que a pesar de presentar mayor cantidad de finos reciclados el porcentaje total de este material es menor que muchas de las muestras y la absorción que se produce es baja.

De forma general se puede concluir que para un 25% de sustitución de AR por AN se aprecian los mejores comportamientos de la absorción. Donde se sustituye un 6% de finos menores que el tamiz 200 también se logran los mejores resultados de absorción.

Conclusiones Parciales.

Los resultados de los ensayos de la Mesa de Sacudidas se acataron a las malas propiedades del árido fino natural y a la absorción del árido fino reciclado.

Los mejores comportamientos de la resistencia tanto a flexión como a compresión se aprecian a partir del 50% de sustitución de AR por AN.

La utilización del 3% de sustitución de finos menores que el tamiz 200 presenta los mejores resultados de resistencia tanto a compresión como a flexión.

Para un 6% de sustitución de los finos menores que el tamiz 200 el comportamiento de la absorción presenta sus mejores resultados, así como para un 25% de sustitución de AR por AN.

CONCLUSIONES GENERALES

Para el análisis de los resultados se tuvo presente que la incorporación de finos fue a partir de un 7.3% para la arena natural y un 4.3% para la arena reciclada.

Los ensayos de caracterización demostraron que las propiedades del árido fino reciclado debido a la heterogeneidad del material fueron coherentes.

El material natural empleado en los ensayos tiene un gran influencia en los resultados obtenidos debido a la gran cantidad de finos menores que el tamiz 200 que trae consigo.

Los resultados arrojaron como conclusión que para la obtención de los mejores comportamiento de la resistencia, el empleo de un 3% de finos menores que el tamiz 200 es lo más factible.

Los resultados de la Absorción de Agua por Capilaridad representan los mejores resultados para la sustitución de un 6% e finos menores que el tamiz 200.

Para el aprovechamiento más eficiente de los áridos producidos a partir de la trituración de escombros de la construcción y demolición, se recomienda no emplear áridos reciclados que posean más del 3% en su fracción fina.

Recomendaciones

Se recomienda realizar los ensayos de durabilidad de penetración de cloruros y carbonatación a las muestras estudiadas.

Confeccionar una Norma Cubana que trate con profundidad el tema de los materiales reciclados, de modo similar a otros países donde existen normas, regulaciones y decretos que garantizan el uso adecuado y racional de estos RCD en trabajos de construcción en beneficio de la sociedad.

Capacitar a los directivos y personal técnico a cargo de la introducción de estos resultados, en las empresas del territorio.

Continuar profundizando en este tema que es de vital importancia tanto para el desarrollo del país, como para dar solución al problema del aumento de vertederos.

BIBLIOGRAFÍA

- 170:2002, N. C. 2002. MORTERO FRESCO. DETERMINACION DE LA CONSISTENCIA EN LA MESA DE SACUDIDAS.
- 171:2002, N. C. 2002. MORTERO ENDURECIDO. DETERMINACION DE LA ABSORCION DE AGUAPOR CAPILARIDAD.
- 173:2002, N. C. 2002. MORTERO ENDURECIDO. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A FLEXION Y COMPRESION.
- 178, N. C. 2002. ARIDOS. ANALISIS GRANULOMETRICO.
- 179:2002, N. C. 2002. ARIDOS. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE PARTICULAS DE ARCILLA. METODO DE ENSAYO.
- 181:2002, N. C. 2002. ARIDOS. DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO. METODO DE ENSAYO.
- 182:2002, N. C. 2002. ARIDOS. DETERMINACION DEL MATERIAL MAS FINO QUE EL TAMIZ DE 0.074mm(No. 200). METODO DE ENSAYO.
- 186:2002, N. 2002. ARENA. PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGUA. METODO DE ENSAYO.
- 656, N. 2008. MORTERO ESTRUCTURAL — ESPECIFICACIONES, PREPARACIÓN Y APLICACIÓN.
- AGUJA, Á. M. H. Y. E. A. 2003. Agregado Reciclado para Morteros *Revista Universidad EAFIT*.
- BENEDICTO, J. A. P. 2011. *ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE PROPIEDADES MECANICAS DEL HORMIGON RECICLADO CON ARIDOS PROCEDENTES DE LA NO CALIDAD EN PREFABRICACION*. TESIS DOCTORAL, Universidad Politecnica de Madrid.
- CALVO, P. A. Y. B. 2005. CONSTRUCCION SOSTENIBLE. PRIMERAS EXPERIENCIAS EN ESPAÑA. *ISBN:978-84-983-6583-6-6*.
- CERÓN M., D. F., CASTILLO W 2001. Propiedades físicas de los agregados pétreos de la ciudad de Mérida. . *Boletín académico FIUADY*.
- CETIN A., C. R. 2003. High-performance concrete: influence of coarse aggregates on mechanical properties. *ACI Materials journal*.
- CONSTRUCCIÓN, R. I. D. 2009. 34.
- CONSTRUCCION., C. T. P. E. D. D. M. D. L. 2007. Catalogo de áridos para hormigón de la region Occidental de Cuba. La Habana.Cuba: Volumen.1.

- CORRAL-HIGUERA 2011. CHLORIDE ION PENETRABILITY AND CORROSION BEHAVIOR OF STEEL IN CONCRETE WITH SUSTAINABILITY CHARACTERISTICS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTROCHEMICAL SCIENCE*.
- ESTRUCTURAL, A. C. T. D. H. 2006a. Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural. Madrid.
- ESTRUCTURAL, A. C. T. D. H. 2006b. Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural.
- ETXEBERRIA, M. 2007. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. . *Cement and Concrete Research*, 37, 735-742.
- ETXEBERRIA, M. 2010. Reacción alcali-sílice en el hormigón debido al mortero adherido del árido reciclado. *Materiales de la construcción*
- GÓMEZ, J. C. 2003. Fabricación de Hormigón Reciclado. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Minas.
- HERRERA DE LA ROSA, A. G. B., R. 2007. Áridos para hormigón. Especificaciones y Ensayos.
- JUAN, S. D. 2005. *Estudio sobre la Utilización de Árido Reciclado en Hormigón Estructural*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- KONG 2011. Strengthening of the ITZ in recycled aggregate concrete. *Xian an International conference of architecture and technology , proceedings*.
- MARTÍNEZ, G. Y. 2005. *Hormigones con áridos reciclados procedente de demoliciones: Dosificaciones, propiedades mecánicas y comportamiento estructural a cortante*. Tesis doctoral, Universidad de Coruña.
- MARTÍNEZ ZAMORA, L. 2013. "Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón." MATANZAS, CUBA: TESIS DE DIPLOMANTE.
- MAYORGA, V. A. U. 2012. *DURABILIDAD DE HORMIGONES ARMADOS, CON ÁRIDO REICLADOS: UNA EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN EN AMBIENTE MARINO*. TESIS DOCTORAL, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.
- MICHEL, V. 2003. Aditivos y tratamientos de morteros y hormigones. *Margarit Adrian*.
- MORICONI, C. Y. 2009. INFLUENCE OF MINERAL ADDITIONS ON THE PERFORMANCE OF 100% RECYCLED AGGREGATE CONCRETE. *CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS*.
- NEVILLE. 2005. *Tecnología del hormigón*.
- OTSUKI 2003. INFLUENCE OF RECYCLED AGGREGATE ON INTERFACIAL TRANSITION ZONE , STRENGTH, CHLORIDE PENETRATION AND CARBONATATION OF CONCRETE. *JOURNAL MATERIAL CIVIL ENGINEERING*.
- PADAYACHEE, O. Y. 2002. PERFORMANCE AND RECYCLED AGGREGATE CONCRETE MONITORED BY DURABILITY INDEXES. *CEMENT AND CONCRETE RESEARCH*.

- PÁRAMO, A. R. 2011. *Tipología de áridos reciclados en Cataluña y su aplicabilidad*. Tesis de Master, Universidad Politécnica de Catalunya.
- PAVON DE LA FE, E. 2012a. EMPLEO DEL ÁRIDO RECICLADO DE HORMIGÓN EN LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL. La Habana.Cuba: Tesis de Maestria.
- PAVON DE LA FE, E. 2012b. *EMPLEO DEL ÁRIDO RECICLADO DE HORMIGÓN EN LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL*. Tesis de Maestria.
- PAVÓN, E., ETXEBERRIA, M. & AND DÍAZ, N. 2008. "Utilización de los Residuos de hormigón de plantas de prefabricado".
- RESIDUOS, C. D. 2010. RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION. España.
- ROLÓN, J., ET AL., IN 2005. . 2005. Caracterización del concreto elaborado con agregados reciclados producto de la demolición de estructuras de concreto. *VIII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción*. [Online].
- SÁNCHEZ, M. 2004. *Estudio sobre la utilización del árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos: Madrid.
- SÁNCHEZ, M., AND ALAEJOS, P 2008. Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*.
- TERESA., V. B. 2007. Estudios avanzados sobre cementos, morteros y hormigones. *Instituto de ciencias de la construccion Eduardo Torroja*.
- TERTRE, J. I. 2007. Gestión de residuos de construcción y demolición. Áridos reciclados. .
- ULLOA MAYORGA, V. 2012. Durabilidad de hormigones armados con áridos reciclados:una evaluacion de la corrosion en un ambiente marino. Valencia.España: Tesis Doctoral.
- VIVIAN, W., TAM, Y 2011. Optimization on Proportion for Recycled Aggregate in Concrete Using Two-Stage Mixing Approach.
- ZAHARIEVA 2004. Frost resistance of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*,37, 34.

ANEXOS

Anexo-1 Resultados de los ensayos.

Resistencia a flexión a los 7 y 28 días.

7 días			
	0%	3%	6%
0%(PATRÓN)	6,7	7,14	7,2
25%	6,1	6,32	7,37
50%	6,7	7,37	5,97
75%	6,4	7,66	5,91
100%(PATRÓN)	8,7	7,49	6,16
28 días			
	0%	3%	6%
0%(PATRÓN)	10,14	10,3	9,83
25%	9,07	9,13	9,3
50%	10,37	10,71	9,01
75%	8,72	9,42	9,07
100%(PATRÓN)	9,48	8,42	9,24

Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días.

7 días(MPa)			
	0%	3%	6%
0%(PATRÓN)	27,1	29,26	29,8
25%	24	24,45	26,52
50%	30,2	29,92	31,56
75%	30,09	33,36	31,02
100%(PATRÓN)	32,5	28,44	24,06
28 días(MPa)			
	0%	3%	6%
0%(PATRÓN)	35,86	36,33	37,77
25%	31,48	34,49	36,64
50%	40,31	37,89	35,72
75%	37,27	39,18	35,47
100%(PATRÓN)	38,75	33,83	28,83

Resultados de los ensayos de Consistencia en la Mesa de Sacudidas

MORTERO	% A.RECICLADO	% A.NATURAL	% FINOS	ASENTAMIENTO(mm)
E1	0	100	0	60
E2	25	75	0	65
E3	50	50	0	66
E4	75	25	0	68
E5	100	0	0	71
L1	0	100	3	52
L2	25	75	3	58
L3	50	50	3	60
L4	75	25	3	59
L5	100	0	3	50
Z1	0	100	6	50
Z2	25	75	6	57
Z3	50	50	6	55
Z4	75	25	6	55
Z5	100	0	6	58

Anexo-2 Fotos de los ensayos.



Proceso de lavado y tamizado del material.



Moldes prismáticos de 4*4*6cm