

**VARIACION EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UNA
MATRIZ DE CONCRETO AL INCORPORAR CUESCO DE PALMA AFRICANA
COMO AGREGADO GRUESO.**



ARLETH DENISSE TORNE ANGULO

GERVIS DAVID GOMEZ HERNANDEZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CARTAGENA DE INDIAS, D. T y C.

2015.

**VARIACION EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UNA
MATRIZ DE CONCRETO AL INCORPORAR CUESCO DE PALMA AFRICANA
COMO AGREGADO GRUESO**

Línea de investigación

Materiales de construcción

Grupo de investigación

Geotecnia y materiales (Geomavit)

Director de proyecto

Modesto Barrios Fontalvo

Investigadores

Arleth Denisse Torne Angulo

Gervis David Gomez Hernandez

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS, D. T y C.**

2015.

1 Contenido

2	MARCO DE REFERENCIA	9
2.1	ESTADO DEL ARTE	9
2.1.1	Mechanical and bond properties of coconut shell concrete (Gunasekaran, Kumar, & Lakshmipathy, 2011).....	9
2.1.2	Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto (Juarez, Rodriguez, Rivera, & Rechy, 2004).....	10
2.1.3	Uso del Cuesco de la Palma Africana en la fabricación de Adoquines y Bloques de Mampostería (Buzon Ojeda, 2009).	11
2.1.4	Effects of heat treatment on oil palm shell coarse aggregates for high strength lightweight concrete (Yewa, Mahmuda, Ang, & Yew, 2014).	11
2.1.5	Lightweight concrete made from crushed oil palm shell: Tensile strength and effect of initial curing on compressive strength (Shafigh, Jumaat, Mahmud, & Hamid, 2012).	12
2.2	MARCO TEÓRICO	13
2.2.1	Teoría general del concreto	13
2.2.2	El concreto.	14
2.2.3	Residuos industriales.....	41
3	OBJETIVOS	43
3.1	OBJETIVO GENERAL	43
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	43
4	ALCANCE.....	44
5	METODOLOGIA	46
5.1	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	46
5.2	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA	46
5.2.1	Caracterización de los agregados.....	46
5.2.2	Fabricación de muestras	47
5.2.3	Ensayos a especímenes.....	48
5.3	EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	49
6	RESULTADOS Y DISCUSION.....	50
6.1	CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS	50
6.1.1	Agregado fino.....	50
6.1.2	Agregado grueso.....	52

6.1.3	Cuesco de palma africana	54
6.2	ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO	56
7	CONCLUSIÓN	60
8	RECOMENDACIONES	62
9	BIBLIOGRAFÍA	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Granulometria del agregado fino	51
Tabla 2	Granulometria del agregado grueso	53
Tabla 3	peso específico del agregado grueso.....	54
Tabla 4	Granulometría cuesco de palma	55
Tabla 5	Peso especifico del cuesco de palma.....	56
Tabla 6	Peso unitario suelto y compactado del cuesco.....	56
Tabla 7	Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.....	57
Tabla 8	Densidad de los especimenes en kg/m3 a los 28 dias.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Cono de Abrams	26
Figura 2	Ensayo de asentamiento.....	28
Figura 3	Maquina de ensayos a compresión.....	36
Figura 4	Molde de cilindros de hormigon.....	36
Figura 5	Delimitación espacial del proyecto.....	44
Figura 6	Materiales y equipos usados en la granulometria	47
Figura 7	Determinacion de la masa unitaria.	47
Figura 8	Ensayo de resistencia a compresion.....	48
Figura 9	Ensayo de resistencia a traccion indirecta.....	48
Figura 10	Ensayo de resistencia a flexion.....	48
Figura 11	tamizado	50
Figura 12	Retenido en el tamiz N°8.....	50
Figura 13	Gradacion para el agregado fino.....	52
Figura 14	Tamizado del agregado grueso.....	52
Figura 15	Granulometria del agregado grueso.....	54
Figura 16	Fondo cuesco.....	56

Figura 17 Peso fondo cuesco.....	56
Figura18 Espécimen con 100% de cuesco ensayado a tracción indirecta.....	59

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1 Curva granulometrica del agregado fino.....	51
Grafica 2 Curva granulometrica del agregado grueso.....	53
Grafica 3 Curva granulometrica del cuesco	54
Grafica 4 Resistencia Vs porcentaje de cuesco.....	58
Grafica 5 Resistencia Vs densidad del espécimen.....	58

RESUMEN

Este documento contiene los resultados del proyecto de grado titulado VARIACION EN LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UNA MATRIZ DE CONCRETO AL INCORPORAR CUESCO DE PALMA AFRICANA COMO AGREGADO GRUESO. Para establecer la variación a la que el título hace referencia, se fabricaron varios especímenes con diferentes proporciones del material estudiado en reemplazo del agregado grueso y unos especímenes patrón fabricados con agregados convencionales, estos especímenes fueron ensayados a compresión, tracción indirecta y flexión a diferentes edades y se realizó un análisis comparativo.

Se obtuvo una disminución considerable en el peso de las muestras con cuesco de palma africana y se pudo observar una disminución considerable tanto en la resistencia a compresión como en la resistencia a flexión, sin embargo el comportamiento a tracción fue aceptable. El producto final de esta investigación es un concreto de agregado ligero de baja resistencia que puede ser usado en elementos no estructurales que no ameriten mucha resistencia, esto ayudara a dar un uso al cuesco de palma el cual es un foco de contaminación que afecta las poblaciones aledañas a las plantas de extracción y ayudara a disminuir costos en la edificación al presentarse menores cargas en la estructura. Los ensayos fueron realizados de acuerdo a lo establecido en las normas NTC 673 (resistencia a la compresión), NTC 722 (resistencia a la tensión indirecta), y ASTM C293 (resistencia a la flexión).

Palabras clave: Tracción indirecta, resistencia a flexión, resistencia a compresión, granulometría, cuesco.

ABSTRACT

This document contains the partial results of the project entitled grade VARIATION IN THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF AN ARRAY OF CONCRETE INCORPORATING SHELL OF AFRICAN PALM THICK AS ADDED. To set the variation to which the title refers, several specimens with different proportions of the material studied in replacement of coarse aggregate and a standard specimens made with conventional aggregates were produced, these specimens were tested for compression, tension and bending at different ages and A comparative analysis was performed.

a significant decrease was obtained in the weight of the samples with oil palm shell and was observed a significant decrease in both the compressive strength and flexural strength, but the tensile behavior was acceptable. The final product of this research is a concrete lightweight aggregate low resistance which can be used in non-structural elements that do not merit much resistance, this will help to use the oil palm shell which is a source of pollution affecting populations adjacent to the extraction plants and help reduce costs in building the present minor loads on the structure. The tests were performed in accordance with the provisions of the NTC 673 (compressive strength), NTC 722 (resistance to indirect voltage) standards, and ASTM C293 (flexural strength).

Keywords: indirect tensile strength, flexural strength, compressive strength, grain size, sell of oil palm.

INTRODUCCION

Las pocas alternativas de aprovechamiento que hay actualmente para los desechos resultantes de la extracción de aceite de palma ha provocado la contaminación de los ecosistemas de las zonas aledañas a las plantas de extracción.

La finalidad de esta investigación fue establecer si es viable o no el uso de cuesco de palma aceitera como agregado grueso en la fabricación de concreto. Esto además de reducir la problemática ambiental debida al inadecuado manejo de estos desechos, conllevará a una reducción en el costo total de las estructuras debido a la baja densidad del hormigón resultante.

Estudios previos han demostrado que este material posee un buen potencial como un sustituto del agregado grueso para la fabricación de hormigón ligero. Estudios como el realizado por la Universiti Malaysia Sabah en 2006, demuestran cómo estructuras fabricadas con este hormigón ligero, tienen un comportamiento aceptable en cuanto a resistencia en el paso del tiempo. (TEO, MANNAN, & KURIAN, 2006).

Lo anterior demuestra la trascendencia de una investigación de este tipo en el departamento de Bolívar, debido al beneficio que representaría la reducción de costos en proyectos de infraestructura, sobre todo en proyectos de vivienda.

El estudio fue realizado en la ciudad de Cartagena y se fabricaron las muestras con materiales propios de la zona, incluyendo el residuo estudiado, el cual fue suministrado por una planta de extracción de aceite de María La Baja.

En esta investigación se observó cómo, al igual que en estudios previos, la resistencia a la compresión es disminuida significativamente, al igual que a la flexión, pero a tracción los resultados obtenidos son favorables.

No se encontraron antecedentes de una investigación similar en el departamento de Bolívar, por lo cual, esta investigación amplía el conocimiento de las características del material producido en la zona y del concreto elaborado con este material y los agregados convencionales propios del departamento.

La investigación está vinculada al grupo de investigación Geotecnia y Materiales (Geomavit), y tiene pertinencia a la línea de investigación de materiales de construcción ya que se buscan nuevas alternativas de materiales, y para su realización requiere de conocimientos básicos las todas ramas vinculadas a esta línea.

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 ESTADO DEL ARTE

La contaminación ambiental y el agotamiento de los recursos son temas que han tomado mucha fuerza en la comunidad científica, es por esto que últimamente muchas investigaciones han sido enfocadas a encontrar recursos que provengan de fuentes renovables y cuyo uso genere un impacto mínimo en el medio ambiente.

En el campo de la construcción, la extracción y uso de los materiales convencionales generan un daño ambiental irreparable, además de que se encuentran en la naturaleza de forma limitada.

Con el propósito de reducir el uso de dichos materiales, se ha propuesto por muchos investigadores el uso de materiales reciclables y de residuos provenientes de la agroindustria ya que estos se encuentran en proporciones cada vez mayores y el impacto ambiental debido a su manejo inadecuado es evidente.

A continuación se referencian algunas investigaciones orientadas al uso de residuos agroindustriales como materiales de construcción y se resaltan sus aportes a esta línea de investigación.

2.1.1 Mechanical and bond properties of coconut shell concrete (Gunasekaran, Kumar, & Lakshmipathy, 2011).

En esta investigación se utilizó el endocarpio o cascara de coco como agregado grueso para la elaboración de hormigón ligero; se construyeron especímenes de mezclas con relaciones agua-cemento de 0.42 y 0.44, luego se ensayaron para determinar la resistencia a la compresión, flexión, tracción indirecta y al impacto, también se realizaron ensayos de adherencia pull-out. Todos los resultados eran comparados con lo establecido en las normas IS 456 y BS 8110 para hormigones ligeros. Se encontró que el concreto fabricado con cascara de coco tiene una mejor trabajabilidad, debido a los tamaños de cascara utilizados

(máximo 12mm) y a la superficie lisa que tienen las conchas en uno de sus lados. Las densidades oscilaron entre 1930 y 1970 kg / m³, las cuales están dentro del rango de hormigón ligero estructural de densidades menores de 2000 kg / m³. La resistencia a la flexión de CSC es aproximadamente 17,53% y el 16,42% de sus respectivas resistencias a la compresión (26,70 N / mm² y 25,95 N / mm²). La resistencia a la tracción indirecta de CSC es de aproximadamente 10,11% y 9,17% de su respectiva resistencia a compresión; lo anterior indica que el comportamiento del hormigón con cascara de coco es similar al de los hormigones convencionales. La resistencia al impacto del concreto con cascara de coco es alto en comparación con el hormigón convencional. La adherencia experimental es mucho mayor en comparación con la fuerza de adhesión teórica según lo estipulado por IS 456: 2000 y BS 8110. En general, la resistencia de unión es comparable a la de hormigones normales y otros con agregados de peso ligero. Los experimentos demuestran que las cáscaras de coco cumplen los requisitos para su uso como agregado ligero.

2.1.2 Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto (Juarez, Rodriguez, Rivera, & Rechy, 2004).

Esta investigación realizada en México, consistió en pruebas a fibras naturales de lechuguilla y ensayos a especímenes de concreto reforzado con fibras naturales (CRFN). Para la caracterización de las fibras se obtuvo su diámetro, longitud, porcentaje de absorción de agua, densidad absoluta y porosidad. Las propiedades mecánicas obtenidas fueron el esfuerzo último a la tensión y la elongación a la ruptura. Se encontró que para estas propiedades mecánicas las fibras proporcionaban al concreto un soporte adicional para resistir esfuerzos a tensión y a flexión. Se encontró además que la parafina disminuía en gran proporción la absorción de agua y lograba conservar en la fibra propiedades importantes, como la resistencia última a tensión, después de estar sometidas por tiempos prolongados a entornos con un alto grado de humedad y alcalinidad como es el caso de las matrices cementicias. Se estudió el comportamiento de especímenes de CRFN con dos

diferentes relaciones A/C, se observó que la relación de 0.65 con un consumo de cemento de 381 kg/m³ resultó ser una mezcla trabajable y de fácil manejo con la fibra pero en el estado endurecido presentó una alta permeabilidad, su aplicación puede ser en elementos constructivos de bajo costo y de autoconstrucción.

2.1.3 Uso del Cuesco de la Palma Africana en la fabricación de Adoquines y Bloques de Mampostería (Buzon Ojeda, 2009).

Fue realizado por la Corporación Universitaria de la Costa en Barranquilla, su propósito fue determinar las variaciones en la resistencia a la compresión del concreto con reemplazo total del agregado grueso por cuesco de palma y la variación de la resistencia a flexión y compresión en adoquines y bloques de mampostería, respectivamente, fabricados con morteros en los cuales se reemplazó el agregado fino en un 50% para los adoquines y en un 25% para los bloques. Con respecto al concreto se ensayaron a compresión los especímenes fabricados a edades de 7, 14, 21 y 28 días, se fabricaron 30 para cada edad y se encontró que el material lo aligeró en un 35% pero la resistencia disminuyó a la mitad de la diseñada inicialmente y la trabajabilidad de la mezcla se ve afectada. En el caso del de los bloques y los adoquines se encontró que en ambos casos las resistencias obtenidas estaban dentro del rango exigido por la norma y además eran mayores a las registradas para los bloques y adoquines sin cuesco. La experiencia obtenida indicó que requiere de mayor tiempo en la mezcladora para que los materiales alcancen a integrarse de tal forma que no queden dispersos o separados.

2.1.4 Effects of heat treatment on oil palm shell coarse aggregates for high strength lightweight concrete (Yewa, Mahmuda, Ang, & Yew, 2014).

El propósito de esta investigación fue determinar la influencia de un tratamiento térmico previo, sobre el cuesco de palma africana antes de incorporarlo a la mezcla de concreto. El cuesco de palma de aceite fue sometido a tratamiento térmico a temperaturas de 60°C y

150°C durante 30 y 60 minutos; luego se incorporó a la mezcla y se notó que la densidad había reducido, pero esta aun logro mantenerse dentro del rango de las densidades correspondientes a los hormigones ligeros de alta resistencia. Los ensayos a compresión a que fueron sometidas las muestras a los 28 y 90 días dieron como resultado 49 y 52 Mpa, respectivamente. Se observó además que la trabajabilidad mejoraba a mayor temperatura y tiempo de exposición térmica de los cuescos.

2.1.5 Lightweight concrete made from crushed oil palm shell: Tensile strength and effect of initial curing on compressive strength (Shafigh, Jumaat, Mahmud, & Hamid, 2012).

En este estudio se incorporó a la mezcla cuesco de palma Africana con más de 6 meses de haber sido desechado de la planta de extracción de aceite, esto con el propósito de que la fibra adherida a su superficie se desprendiera, ya que esta provoca un vínculo débil entre la pasta y el material. Los trozos de cuesco se tamizaron en un tamiz de 9.5 mm, los retenidos fueron triturados en una máquina trituradora de piedra y luego fueron tamizados nuevamente en el tamiz de 2.36mm, todos los pedazos que lograban pasar el tamiz eran eliminados. Los especímenes fueron construidos con el cuesco retenido en el tamiz de 2.36mm y ensayados a compresión, bajo diferentes condiciones de curado, a compresión, tracción indirecta y flexión. Los resultados del ensayo mostraron que los hormigones construidos con el material tenían una resistencia a la compresión de 34-53 Mpa, un rango de resistencia a la tracción indirecta y rango de fuerza de flexión de 4,4 a 7,0 MPa. No se presentó la resistencia a la compresión esperada ya que la unión del cuesco con la matriz fue deficiente. Este estudio fue realizado por la University of Malaya.

La investigaciones mencionadas anteriormente presentan como limitante la utilización de materiales diferentes a los que serán utilizados en esta investigación, como son el agregado grueso y fino, en algunos casos no se ha utilizado plastificante en la mezcla de concreto como se hará en esta investigación, además de que las proporciones de residuo incorporado a la mezcla serán diferentes.

2.2 MARCO TEÓRICO

En la actualidad unos de los temas más estudiados e investigados debido al creciente desarrollo urbano y la necesidad de nuevas obras de ingeniería, mantenimiento y reemplazo de la infraestructura es la producción de concreto ecológico con residuos agroindustriales con el fin de frenar el impacto ambiental que generan dichos residuos.

Para la preparación de hormigón se necesitan dosificaciones de cemento, arena, agua, agregado grueso y en algunos casos aditivos. La obtención de los agregados naturales se hace mediante la extracción mecánica o manual; estas actividades generan un gran impacto ambiental debido al desgaste del recurso suelo y por la alteración del paisaje en los que se ven comprometidos la calidad del aire y agua en algunos casos. Con esto nace la necesidad de proponer mezclas de concreto en las cuales se sustituyan proporciones de los agregados pétreos por residuos industriales como el cuesco de la palma africana. (María Fernanda Serrano Guzmán, 2011) (Guzmán & Ruíz, 2011)

2.2.1 Teoría general del concreto

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción por su extraordinaria versatilidad y sus propiedades mecánicas a largo plazo, se diseña para utilizarse en elementos estructurales que soportaran esfuerzos de carga a la compresión y a la flexión, en el primero de los casos elementos como las cimentaciones, pavimentos, columnas, y en el segundo caso las vigas, o que soporte una combinación de estas cargas como las losas de piso.

Los morteros o los concretos hidráulicos están constituidos en un alto porcentaje por agregados (50-80% en volumen), por lo tanto, éstos no son menos importantes que la pasta del cemento endurecida, el agua libre, el aire incorporado, el aire naturalmente atrapado, o los aditivos; por el contrario, gran parte de las características de las mezclas de mortero o

de concreto, tanto en estado plástico como en estado endurecido, dependen de las características y propiedades de los agregados, las cuales deben ser estudiadas para obtener morteros o concretos de buena calidad y económicos (RIVERA).

2.2.2 El concreto.

Es un producto que resulta de la mezcla de un aglomerante (generalmente cemento, arena, grava o piedra machacada y agua) para producir un gel que se deja moldear que al endurecer forma una piedra artificial que adquiere alta resistencia al esfuerzo a la compresión. (Martinez Acevedo, 2015)

El concreto como las piedras naturales ofrece una resistencia muy grande a los esfuerzos de compresión y muy poco a los de tracción, (por lo general su resistencia a la tracción es de un 10% de la resistencia a la compresión) por lo cual es inadecuado utilizarlo en piezas que van a estar sometidas a tracciones o flexiones. Pero se suple la deficiencia cuando dispone de varillas de acero en las zonas de tracción, teniendo entonces una pieza resistente a la flexión. De manera que el concreto armado es una piedra artificial que puede resistir esfuerzos de compresión, tracción y flexión,

El mortero mezclado con agregado grueso (piedras), da como resultado el concreto u hormigón.

Adicionalmente cuando el concreto se le agregan piedras de gran tamaño (piedra bola, rajón, mediazonga, etc) cuyo diámetro es del orden de 20 cm o más, se le conoce como concreto de agregado precolado, y más comúnmente en nuestro medio como concreto ciclópeo.

2.2.2.1 El cemento

Es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene: sílice, alúmina y óxido de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire. (RIVERA)

La palabra cemento indica un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos minerales entre si, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas.

En el medio de la construcción y más específicamente en la fabricación de concreto para estructuras, es reconocido que al mencionar la palabra cemento, implícitamente esta se refiere a cemento portland, o cemento a base de portland, el cual tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua ya que con ella experimenta una reacción química. Este proceso se llama hidratación por lo tanto son también llamados cementos hidráulicos. (cbb, 2015).

2.2.2.2 *Cemento portland.*

Es producto que se obtiene por la pulverización del Clinker Portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio.

Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el Clinker.

El cemento Portland está compuesto principalmente por materiales calcáreos tales como caliza, alúmina y sílice que se encuentran como arcilla o pizarra; también se utiliza marga, que es un material calcáreo-arcilloso, por yeso y en los últimos años la adición de material puzolánico, que puede ser en estado natural como tierra de diatomeas, rocas opalinas,

esquistos, cenizas volcánicas, o material calcinado (los nombrados anteriormente y algunos como las arcillas y esquistos más comunes), o de material artificial (óxido de silicio precipitado y cenizas volantes).

El proceso de fabricación del cemento comprende las siguientes etapas principales:

- Explotación de materias primas
- Preparación y dosificación de materias primas
- Homogenización
- Clinkerización
- Enfriamiento
- Adiciones finales y molienda
- Empaque y distribución

A medida que varían los contenidos de C_2S , C_3S , C_3A , C_4AF se modifican las propiedades del cemento Portland, por lo tanto se pueden fabricar diferentes tipos con el fin de satisfacer ciertas propiedades físicas y químicas para situaciones especiales.

2.2.2.2.1 Propiedades del cemento portland.

La mayor parte de las especificaciones para cemento Portland establecen límites a la composición química y algunas propiedades físicas (NTC 121 y 321), por lo tanto, el conocimiento de algunas de estas propiedades es provechoso para interpretar los resultados de las pruebas del cemento. (RIVERA)

2.2.2.2.1.1 Densidad.

La densidad del cemento Portland varía generalmente entre 2,90 y 3,20 g/cm³ dependiendo básicamente de la cantidad y densidad del material puzolánico que se adicione. La densidad

de un cemento no indica la calidad del mismo; su uso principal radica en dosificación y control de mezclas.

La densidad del cemento se determina generalmente con el frasco de LE CHATELIER (NTC 221). (RIVERA)

2.2.2.2.1.2 Finura.

La importancia de la finura en el cemento radica en que a mayor finura el cemento desarrolla mayor resistencia, pero desprende más calor; esto es debido principalmente, a que granos gruesos pueden durar varios años en hidratarse, e inclusive no llegar jamás a realizarlo totalmente, mientras que, cuanto más fino sea el cemento, mayor será la cantidad de material que se hidrata, ya que la superficie total en contacto con el agua es mucho más grande. Al hidratarse un mayor porcentaje de la masa total del cemento, ésta masa reacciona, logrando un desarrollo más alto de resistencia, pero como desprende calor al realizar este proceso, también será mayor la cantidad de calor desprendido. (RIVERA).

2.2.2.2.1.3 Consistencia normal.

Con el propósito de poder determinar algunas propiedades del cemento como tiempos de fraguado o estabilidad volumétrica, se debe realizar una mezcla de cemento y agua llamada pasta; puesto que las propiedades de la pasta se ven afectadas por las cantidades de cada uno de los componentes que entran a formar parte de la mezcla, se debe preparar una pasta "normalizada", con la cantidad de agua necesaria para que la hidratación del cemento sea lo más exacta posible; ésta pasta se denomina de consistencia normal. (RIVERA)

2.2.2.2.1.4 Fraguado.

Fraguado se refiere al paso de la mezcla del estado fluido o plástico al estado sólido. Aunque durante el fraguado la pasta adquiere alguna resistencia, para efectos prácticos es

conveniente distinguir el fraguado del endurecimiento, pues este último término se refiere al aumento de resistencia de una pasta de cemento fraguada. (RIVERA)

2.2.2.2.1.4.1 Falso fraguado.

Se da el nombre de falso fraguado a una rigidez prematura y anormal del cemento, que se presenta dentro de los primeros minutos después de haberlo mezclado con agua.

El falso fraguado se pone en evidencia por una gran pérdida de plasticidad, sin generar mucho calor poco después de haberse realizado la mezcla. (RIVERA)

2.2.2.2.1.5 Estabilidad volumétrica.

El cemento que muestra grandes expansiones luego de fraguado se conoce con el nombre de cemento expansivo; este es el peor defecto que puede presentar un cemento pues las obras hechas con él quedan seriamente amenazadas. Es esencial que la pasta de cemento, una vez fraguada, no sufra un gran cambio en volumen en particular no debe de haber una expansión apreciable, la cual, bajo condiciones de esfuerzo, podría ocasionar un rompimiento de la pasta de cemento endurecida. Tal expansión puede tener lugar debido a una hidratación retardada o lenta o a otra reacción de algún compuesto presente en el cemento endurecido. (RIVERA)

2.2.2.2.1.6 Calor de hidratación.

El calor de hidratación es el calor generado cuando reaccionan el cemento y el agua. La cantidad de calor generado depende principalmente de la composición química del cemento; a tasa de generación de calor la afecta la finura y temperatura de curado, así como la composición química. (RIVERA)

2.2.2.2.1.7 Resistencia del cemento.

La resistencia de un mortero o concreto depende de la cohesión de la pasta de cemento, de su adhesión a las partículas de los agregados y en cierto grado, de la resistencia del agregado mismo. (RIVERA)

2.2.2.3 El agua

El agua es a que componente del concreto en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. Para ello, se clasifica en agua de mezclado y agua de curado.

2.2.2.3.1 Agua de mezclado

Es la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada con una fluidez tal, que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico.

2.2.2.3.2 Agua de curado.

El agua de curado puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el concreto alcance sus propiedades potenciales. Estas condiciones se refieren básicamente a la humedad y a la temperatura.

2.2.2.4 Los agregados o áridos.

Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto.

Son considerados como agregados de las mezclas de mortero o concreto, a todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de la partícula), no perturbe ni afecten desfavorablemente las propiedades y características de las mezclas y garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento Portland.

Los morteros o los concretos hidráulicos están constituidos en un alto porcentaje por agregados (50-80% en volumen), por lo tanto, éstos no son menos importantes que la pasta del cemento endurecida, el agua libre, el aire incorporado, el aire naturalmente atrapado, o los aditivos; por el contrario, gran parte de las características de las mezclas de mortero o de concreto, tanto en estado plástico como en estado endurecido, dependen de las características y propiedades de los agregados, las cuales deben ser estudiadas para obtener morteros o concretos de buena calidad y económicos. (RIVERA) (Sanchez De Guzman, 2001).

2.2.2.4.1 Clasificación de los agregados.

En general los agregados se han clasificado de varias maneras a través del tiempo, pero principalmente desde los puntos de vista de su procedencia, densidad, tamaño, forma y textura.

De acuerdo con el origen de los agregados, según su procedencia ya sea de fuentes naturales o a partir de productos industriales, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- *Agregados naturales.*

Son aquellos procedentes de la explotación de fuentes naturales tales como: depósitos de arrastres fluviales (arenas y gravas de río) o glaciares (cantos rodados) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. (RIVERA).

- *Agregados artificiales.*

Por lo general, los agregados artificiales se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker, limaduras de hierro y otros, comúnmente estos son de mayor o menor densidad que los agregados corrientes. (RIVERA).

- *Clasificación según su densidad.*

Depende de la cantidad de masa por unidad de volumen y del volumen de los poros, ya sean agregados naturales o artificiales. Esta distinción es necesaria porque afecta la densidad del concreto (ligero, normal o pesado) que se desea producir.

- *Clasificación según su tamaño.*

La forma más generalizada de clasificar los agregados es según su tamaño, el cual varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros de sección; ésta distribución del tamaño de las partículas, es lo que se conoce con el nombre de GRANULOMETRÍA. De acuerdo con la clasificación unificada, los suelos se dividen en suelos finos (material de tamaño inferior a 0,074 mm o 74 μ m-tamiz No. 200) y suelos gruesos (material de tamaño superior o igual a 0,074 mm o 74 μ m-tamiz No. 200); para la elaboración de mezclas de mortero o de concreto se emplean los suelos gruesos y se limita el contenido de suelo fino. La fracción fina de los suelos gruesos, cuyas partículas tienen un tamaño inferior a 4,76 mm (tamiz No. 4) y no menor de 0,074 mm o 74 μ m (tamiz No. 200), es lo que comúnmente se denomina *AGREGADO FINO*; y la fracción gruesa, o sea aquellas partículas que tienen un tamaño superior a 4,76 mm (tamiz No. 4), es lo que normalmente se llama *AGREGADO GRUESO*. (RIVERA).

- *Clasificación según su forma y textura superficial.*

La presencia de partículas alargadas o aplanadas puede afectar la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad de las mezclas, porque tienden a orientarse en un solo plano lo cual dificulta la manejabilidad; además debajo de las partículas se forman huecos de aire y se acumula agua perjudicando las propiedades de la mezcla endurecida.

Por otro lado, la textura superficial de las partículas del agregado influye en la manejabilidad y la adherencia entre la pasta y el agregado, por lo tanto, afecta la resistencia (en especial la resistencia a la flexión) (RIVERA)

2.2.2.4.2 Propiedades físicas de los agregados.

2.2.2.4.2.1 Granulometría.

Es la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen una masa de agregados; se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en dividir una muestra representativa del agregado en fracciones de igual tamaño de partículas; la medida de la cuantía de cada fracción se denomina como granulometría.

El análisis granulométrico consiste en hacer pasar el agregado a través de una serie de tamices que tienen aberturas cuadradas y cuyas características deben de ajustarse a la norma NTC 32. (RIVERA)

2.2.2.4.2.1.1 Módulo de finura.

El módulo de finura es un factor empírico que permite estimar que tan fino o grueso es un material.

2.2.2.4.2.1.2 Tamaño Máximo.

Está definido como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad del agregado. De manera práctica representa el tamaño de la partícula más grande que tiene el material.

2.2.2.4.2.1.3 Tamaño Máximo Nominal.

El tamaño nominal máximo de las partículas es el mayor tamaño del tamiz, listado en la norma aplicable, sobre el cual se permite la retención de cualquier material. (RIVERA).

2.2.2.4.2.2 Densidad.

Las partículas del agregado están conformadas por la masa del agregado, vacíos que se comunican con la superficie llamados poros permeables o saturables y vacíos que no se comunican con la superficie, es decir que quedan en el interior del agregado llamados poros impermeables o no saturables; de acuerdo con lo anterior tenemos tres densidades a saber:

2.2.2.4.2.2.1 Densidad real.

Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, excluyendo sus poros permeables o saturables y los no saturables o impermeables.

2.2.2.4.2.2.2 Densidad nominal.

Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, excluyendo únicamente los poros permeables o saturables.

2.2.2.4.2.2.3 Densidad aparente.

Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, incluyendo tanto poros permeables o saturables como poros impermeables o no saturables (volumen aparente o absoluto). (RIVERA)

2.2.2.4.2.3 *Absorción y humedad.*

La absorción (porcentaje de agua necesaria para saturar los agregados o el hormigón expresada con respecto a la masa de los materiales secos) y la humedad, deben determinarse de acuerdo con las normas NTC 176, 237 y 1776, de manera que la cantidad de los materiales en la mezcla pueda controlarse y se establezca las masas correctas de cada uno de ellos.

La estructura interna de las partículas de un agregado está conformada por materia sólida y por poros o huecos los cuales pueden contener agua o no. Las condiciones de humedad en que se puede encontrar un agregado serán:

- *Seco*: Ningún poro con agua.
- *Húmedo no saturado*: Algunos poros permeables con agua.
- *Saturado y superficialmente seco (s.s.s)*: Todos los poros permeables llenos de agua y el material seco en la superficie.
- *Húmedo sobresaturado*: Todos los poros permeables contienen agua y además el material tiene agua en la superficie (agua libre). (RIVERA)

2.2.2.4.2.4 *Masa unitaria*

La masa unitaria de un material es la masa del material necesaria para llenar un recipiente de volumen unitario. En la masa unitaria además del volumen de las partículas del agregado se tiene en cuenta los vacíos que hay entre partículas.

La masa unitaria puede determinarse compactada o suelta; la masa unitaria compactada se emplea en algunos métodos de dosificación de mezclas y la masa unitaria suelta sirve para estimar la cantidad de agregados a comprar si estos se venden por volumen (volumen suelto) como ocurre comúnmente. La masa unitaria se determina de acuerdo con la norma

NTC 92 y su valor para agregados normales varía generalmente entre 1,30 y 1,80 kg/dm³ dependiendo del agregado y el grado de compactación. (RIVERA)

Para hallar la masa unitaria compactada según la norma citada se toma una muestra representativa de los agregados, luego se llena 1/3 parte de los recipientes con las muestras de agregados y se aplican 25 golpes con una varilla, posteriormente se llenan las dos partes restantes y se repitió la operación con la varilla, finalmente se enrasa para eliminar excesos y se pesa la muestra y el recipiente y se determina el volumen de este. Para la determinación de la masa unitaria suelta se toma la muestra representativa de los agregados, luego se llena uno de los recipientes hasta el borde y se enrasa con la varilla, se procede a pesar la muestra y el recipiente y se determina el volumen de este.

2.2.2.5 Propiedades del concreto fresco

2.2.2.5.1 Manejabilidad del concreto.

La manejabilidad es una propiedad del concreto fresco que se refiere a la facilidad con que este puede ser: mezclado, manejado, transportado, colocado, compactado y terminado sin que pierda su homogeneidad (exude o se segregue).

El grado de manejabilidad apropiado para cada estructura, depende del tamaño y forma del elemento que se vaya a construir, de la disposición y tamaño del refuerzo y de los métodos de colocación y compactación.

Un método indirecto para determinar la manejabilidad de una mezcla, consiste en medir su consistencia o fluidez por medio del ensayo de "asentamiento con el cono o slump" (NTC 396).

Es una prueba que se usa comúnmente en las construcciones de todo el mundo; la prueba no mide la trabajabilidad del concreto, sino que determina la consistencia o fluidez de la mezcla; es muy útil para detectar variaciones en la uniformidad de una mezcla de proporciones determinadas. (RIVERA).

2.2.2.5.1.1 Plasticidad.

Se denomina como "plasticidad" a una consistencia del concreto tal que pueda ser fácilmente moldeado, pero que le permita al concreto fresco cambiar de forma lentamente si se saca el molde. Por tal razón, no pueden considerarse como mezclas de consistencia plástica ni las muy secas ni las muy fluidas.

Para aclarar un poco estos conceptos, debe tenerse en cuenta que dentro de ciertos límites, las mezclas húmedas son más manejables que las mezclas secas, pero dos mezclas que tengan la misma consistencia no son igualmente manejables. Para que ello sea así; deben tener el mismo grado de plasticidad. (Sanchez De Guzman, 2001).

2.2.2.5.1.2 Manejabilidad.

Hoy en día no se conoce ningún método directo para medir la manejabilidad de una mezcla de concreto. Sin embargo, hay algunos ensayos que permiten correlacionar esta propiedad del concreto, en estado plástico, con alguna otra característica.

Uno de los ensayos usados para medir la manejabilidad de la mezcla es el ensayo de asentamiento; este ensayo mide la consistencia o fluidez de una mezcla fresca de concreto cuyo tamaño máximo de agregado grueso puede ser hasta de 50,8 mm (2").

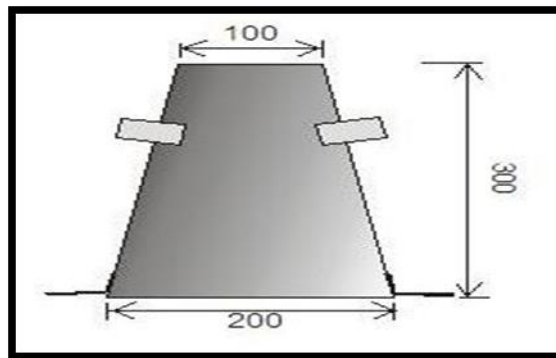


Figura 1: Cono de Abrams
Fuente: construmatica.com

Para hacer esta medición se usa un molde hecho en lámina metálica en forma de tronco de cono, el cual tiene las dimensiones indicadas en la figura 1 y fue desarrollado por Abrams, razón por la cual se le conoce con el nombre de cono de Abrams. Este ensayo se encuentra especificado en la norma NTC 396 y se describe brevemente a continuación.

Una vez que la muestra de concreto fresco ha sido correctamente seleccionada de acuerdo con los procedimientos descritos en la norma NTC 454 (Hormigón Fresco - Toma de muestras), de manera que sea representativa de toda la masa, se procede de la siguiente manera.

El molde se humedece y se coloca sobre una superficie plana húmeda y no absorbente, con la abertura más pequeña hacia arriba. La superficie ideal es una placa metálica rígida, que haya sido colocada en el suelo y nivelada con un nivel de mano. Posteriormente el molde se presiona hacia abajo, cogiendo las agarraderas, con el objeto de que al colocar la mezcla, ésta no salga por la parte inferior de molde.

El cono se llena en tres capas, cada una con aproximadamente una tercera parte del "volumen" total del molde, es decir, que la primera capa tendrá una altura aproximada de 6.5 cm, la segunda llegará hasta 1'5,5 cm y en la tercera se apilará concreto sobre el molde:

Cada capa se apisona 25 veces con una varilla lisa de 16 mm (5/8") de diámetro y más o menos 60 cm de longitud, con uno de sus extremos redondeado.

La introducción de la varilla se debe hacer en diferentes sitios de la superficie con el fin de que la compactación se distribuya uniformemente sobre la sección transversal.

La primera capa se compacta a través de todo su espesor, en tanto que la segunda y la tercera se compactan de manera que la varilla penetre ligeramente (como máximo 2.5 cm) (1") en la capa inmediatamente inferior. En algunas ocasiones al compactar la tercera capa, el concreto se asienta por debajo del borde superior, debido al acomodamiento y consolidación de las partículas, por tal motivo es necesario completar con más mezcla para que en todo momento haya concreto sobre el molde. Al término de esta operación debe

alisarse a ras de la superficie con la varilla, un palustre o cualquier otro instrumento apropiado.

A continuación se quita la mezcla que cayó al suelo alrededor de la base del molde, dejando limpia la zona que lo rodea. Inmediatamente después se retira el molde, alzándolo cuidadosamente en dirección vertical, figura2. En un lapso de 5 a 10 segundos, sin movimientos circulares o laterales y sin tocar la mezcla con el molde cuando éste se haya separado del concreto fresco. Al faltarle apoyo, el concreto se asentará, de ahí el nombre del ensayo.

El tiempo es un factor importante en la prueba. Este ensayo debe iniciarse dentro de los 5 minutos siguientes al muestreo y debe ser completado a los 2 minutos y 30 segundos de haberse iniciado.

La diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro original de la base superior del concreto abatido se llama asentamiento y se mide con una aproximación de 5mm.

Si el concreto se desmorona o se desprende hacia un lado, el ensayo se debe rechazar y repetir con otra porción de la muestra. Si esta segunda muestra también se desploma o se parte, es probable que el concreto no tenga la plasticidad o la cohesión adecuada, y que no sea aplicable el ensayo de asentamiento

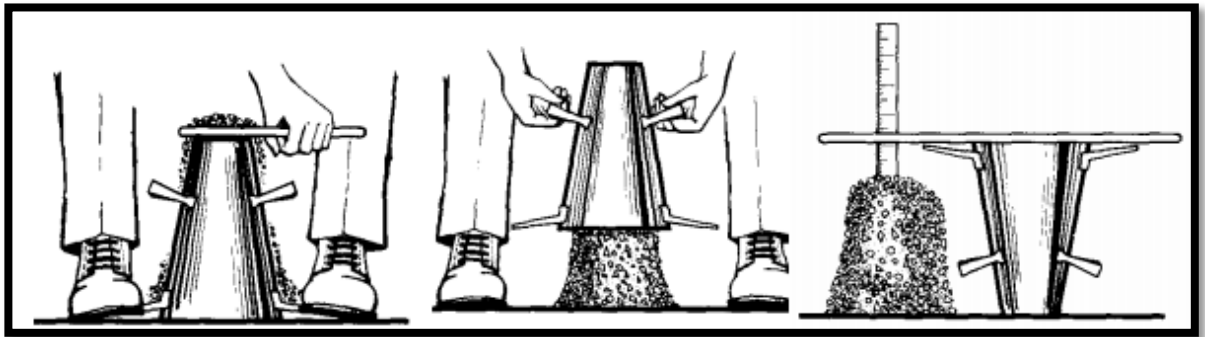


Figura 2 Ensayo de asentamiento

Fuente: micropilote.blogspot

2.2.2.5.1.2.1 Factores que influyen en la manejabilidad.

Los factores más importantes que influyen en la manejabilidad de una mezcla, son los siguientes:

2.2.2.5.1.2.1.1 Gradación del agregado fino.

Una arena mal gradada, con exceso o defecto de partículas de un tamaño dado, puede presentar una gran cantidad de espacios vacíos que deben ser llenados con pasta de cemento y agua para que la mezcla sea manejable y no quede porosa. Las recomendaciones más importantes, relacionadas con la gradación de la arena, se pueden resumir en las siguientes:

- El agregado fino no debe retener más de un 45% entre dos mallas consecutivas, considerando la serie de tamices números 4, 8, 16, 30, 50 y 100.
- Para que la mezcla sea más manejable, cohesiva, tenga menos agua superficial y presente buena textura para un buen acabado, el agregado fino que se utilice, especialmente en muros delgados con acabado liso, debe tener más de un 15% de partículas que pase por la malla No. 50 (297 μm) y más de un 4% por la malla No. 100 (149 μm).
- Debe evitarse la utilización de arenas muy finas o muy gruesas; con las primeras se obtendrán mezclas que se segregan y con las segundas mezclas ásperas. (RIVERA).

2.2.2.5.1.2.1.2 Gradación del agregado grueso.

Con respecto a la gradación del agregado grueso puede decirse lo mismo que para el agregado fino. Una grava o un triturado mal gradado, presentará exceso de vacíos que deben ser llenados con mortero para que la mezcla sea manejable.

Un concepto diferente sobre la influencia de la granulometría de los agregados en la manejabilidad, resistencia y contenido de cemento de una mezcla se emplea para dosificar concretos de granulometría discontinua; si se utiliza un agregado grueso de granulometría discontinua (eliminando tamaños intermedios) y un agregado fino en el cual se descartan las partículas más finas, es posible obtener una igual resistencia con un menor contenido de cemento e igual manejabilidad que con unos agregados de granulometría continua. (RIVERA)

2.2.2.5.1.2.1.3 Cantidades relativas de pasta y agregados.

La manejabilidad del concreto fresco está determinada por el efecto lubricante de la pasta de cemento y agua, el cual está influenciado por la cantidad de pasta con respecto a la de los agregados. Si esta relación tiene un valor alto los agregados podrán moverse libremente dentro de la masa de concreto. Si la cantidad de pasta se reduce hasta un punto en que no es suficiente para llenar los espacios vacíos y permitir que los agregados "floten", la mezcla se volverá granulosa y áspera. (RIVERA)

2.2.2.5.1.2.1.4 Fluidéz de la pasta.

Para una cantidad de pasta y agregados, la plasticidad de la mezcla dependerá de las cantidades relativas de agua y cemento en la pasta. Una pasta con poca agua y mucho cemento será muy rígida, no podrá admitir la adición de los agregados sin llegar a ser enteramente inmanejable. Por el contrario, si el contenido de agua es alto y del cemento es bajo, la pasta puede llegar a ser tan fluida que no es capaz de impedir la segregación de los agregados (especialmente de los tamaños gruesos); los sólidos más pesados se asentarán y el agua se acumulará en la superficie de la mezcla produciendo el fenómeno conocido como exudación.

La pasta fresca es una suspensión, más no una solución de cemento en agua. Mientras más diluida, mayor será el espacio entre las partículas de cemento y entonces más débil será la estructura de la pasta en cualquier estado de hidratación de la misma. Por lo tanto, en mezclas plásticas la resistencia del concreto variará como una función inversa de la relación agua/cemento, la cual es una manera de expresar el grado de dilución de la pasta. (RIVERA)

2.2.2.5.1.2.1.5 Contenido de aire.

Durante las operaciones de dosificación y mezcla del concreto es introducido un volumen de aire variable en cantidad, tamaño y forma de las burbujas, denominado generalmente como "aire atrapado"; si estas burbujas permanecen dentro del concreto ocupando un porcentaje considerable del volumen, se obtiene un descenso importante en la resistencia potencial de la mezcla y en su durabilidad; de allí que no deba ahorrarse esfuerzo para lograr una adecuada compactación del concreto.

El contenido de aire aumentará en una mezcla cuando se presenten las siguientes variaciones:

- Una mayor cantidad de agentes aireantes.
- Mezclas más pobres en cemento.
- Agregados con tamaño máximo menor.
- Mayor cantidad de arena.
- Consistencias más húmedas.
- Operaciones de mezclado más fuertes y prolongadas. (RIVERA)

2.2.2.5.1.2.1.6 Contenido de agua y agregado grueso.

Las experiencias de investigadores tales como: Dunagan, Kellerman y Goldbeck, indican que la manejabilidad y consistencia de una mezcla preparada con unos materiales dados, quedará aproximadamente constante si a la vez los contenidos de agua y agregados gruesos

por m³ de concreto se mantienen constantes; o sea que para modificar la relación agua/cemento, se varían o intercambian los volúmenes absolutos de cemento y arena.

También se encontró que si se utiliza una arena de un determinado módulo de finura y agregado grueso de tamaño máximo dado, cuando se mantiene constante el volumen compactado de agregado grueso por m³ de concreto, se obtiene el mismo asentamiento cualquiera que sea la relación agua/cemento empleada. (RIVERA)

2.2.2.5.1.2.1.7 Porcentaje de arena en el agregado total.

Mezclas que tengan un bajo porcentaje de arena son difíciles de colocar, terminar y tienden a producir segregación y exudación. Por otra parte, cuando el porcentaje de arena es elevado será necesario añadir una cantidad excesiva de agua o de pasta para que la mezcla sea manejable.

En general, el porcentaje de arena que requiere una mezcla preparada con una pasta dada (relación agua/cemento fija), para obtener una manejabilidad determinada es menor si la arena es fina y mayor si la arena es gruesa. (RIVERA).

2.2.2.6 Propiedades del concreto endurecido.

2.2.2.6.1 Resistencia del concreto.

Cuando se estudian los procedimientos para dosificar mezclas de concreto, se recomienda hacer mezclas de prueba, con el fin de determinar las proporciones del hormigón que cumplan con las características deseadas, para ser empleado en la construcción. Sin embargo, esto no significa, que el hormigón hecho en la obra o en la planta vaya a tener una resistencia uniforme e igual a la determinada con base en las mezclas de prueba.

Lo anterior se debe a que el concreto es un material esencialmente heterogéneo, porque sus componentes tienen características que no son constantes. No sólo son los materiales los causantes de las variaciones en la calidad del hormigón; también influye la forma de

mezclarlo, su transporte y colocación en formaletas, la compactación a que se someta y el curado que se le proporcione.

Por las razones anteriores, es necesario tomar las precauciones adecuadas para que la calidad del material producido, sea aceptable. La medida final que informa sobre la calidad obtenida, es la que resulta de los ensayos de resistencia. Aquí surge otra variable, pues la forma de hacer los ensayos y la precisión de la máquina que se use, van a influir en los resultados.

La resistencia de un concreto, normalmente aumenta con la edad. Dicho aumento se produce muy rápidamente durante los primeros días posteriores a su colocación, resultando más gradual al transcurrir el tiempo, aún continuará incrementándose en una proporción más reducida durante un período de tiempo indefinido. La resistencia a compresión de un concreto a los 28 días, determinada de acuerdo con los ensayos normalizados y suponiendo que haya sido curado en forma correcta, se emplea generalmente como índice de calidad del mismo. (RIVERA).

2.2.2.6.2 Medida de la resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado. La forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (p.s.i.). La equivalencia que hay entre los dos es que 1 p.s.i. es igual a 0.07 kgf/cm^2 . Aunque hoy en día se ha acogido expresarla en Mega-Pascales (MPa), de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades.

La forma de evaluar la resistencia del concreto es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, para lo cual se toman muestras y se hacen especímenes para fallar, o no destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Para las

primeras, se utilizan tres tipos de muestras: cilindros, cubos y prismas. Para las segundas hay diferentes sistemas, como se verá más adelante. (Sanchez De Guzman, 2001).

El ensayo más universalmente reconocido para ejecutar pruebas de resistencia mecánica a la compresión simple es el ensayo de probetas cilíndricas, las cuales se funden en moldes especiales de acero o hierro fundido que tienen 150 mm de diámetro por 300 mm de altura (relación diámetro: altura 1:2).

Los procedimientos relativos a este ensayo se encuentran especificados en las normas NTC 550 y 673 que hacen referencia a la confección de los cilindros y al ensayo de resistencia a compresión, respectivamente. A continuación se describen brevemente.

Una vez que la muestra de concreto fresco ha sido correctamente seleccionada de acuerdo con los procedimientos descritos en la norma NTC 454 (hormigón fresco - toma de muestras), de manera que sea representativa de toda la masa, se procede de la siguiente forma:

Antes de colocar el concreto en el molde, es necesario aceitar el interior del cilindro para evitar que el concreto se adhiera al metal; para hacer esto, es suficiente untar las paredes y el fondo con una brocha impregnada de aceite mineral; la capa de aceite debe ser delgada y en el fondo no debe acumular aceite.

El cilindro se llena en tres capas de igual altura (10 cm) y cada capa se apisona con una varilla lisa de 16mm (5/8") de diámetro, con uno de sus extremos redondeados, la cual se introduce 25 veces por capa en diferentes sitios de la superficie del concreto, teniendo cuidado de que la varilla sólo atraviese la capa que se está compactando, sin pasar a la capa siguiente.

Al final de la compactación se completa el llenado del molde con más mezcla y se alisa la superficie con la ayuda de un palustre o de una regla.

Una vez que se ha llenado cada capa, se dan unos golpes con la varilla o con un martillo de caucho a las paredes de éste, hasta que la superficie del concreto cambie de mate a

briIIante, con el objeto de eliminar las burbujas de aire que se hayan podido adherir al molde o hayan quedado embebidas en el concreto.

Los cilindros recién confeccionados deben quedar en reposo, en sitio cubierto y protegidos de cualquier golpe o vibración y al día siguiente (20 ± 4 horas después de elaborados) se les quita el molde cuidadosamente.

Inmediatamente después de remover el molde, los cilindros deben ser sometidos a un proceso de curado en tanques de agua con cal, o en cuarto de curado a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, con el fin de evitar la evaporación del agua que contiene el cilindro, por la acción del aire o el sol, y en condiciones estables de temperatura para que el desarrollo de resistencia se lleve a cabo en condiciones constantes a través del tiempo. En estas condiciones, los cilindros deben permanecer hasta el día del ensayo.

La resistencia a la compresión del concreto se mide con una prensa que aplica carga sobre la superficie superior del cilindro (Norma NTC 673). Generalmente esta superficie es áspera y no plana, lo cual puede conducir a concentraciones de esfuerzo que reducen considerablemente la resistencia real del concreto.

Una falta de planicie de 0.25. mm puede reducir en un tercio la resistencia. Para remediar esta situación, normalmente se hace un cabeceado de las tapas del cilindro con materiales como yeso o mezclas compuestas de azufre, tal como se especifica en la norma NTC 504. La resistencia a la compresión, como ya se mencionó, se acostumbra a dar en términos de esfuerzo, o sea fuerza por unidad de área, en kg/cm^2 , con aproximación de $1 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

(Sanchez De Guzman, 2001)



Figura 3 Máquina de ensayos a compresión de hormigón

Fuente: *civilgeeks.com*



Figura 4 Molde de cilindros

Fuente: *arqhys.com*

2.2.2.6.3 Ensayo de flexión.

La resistencia a flexión del concreto se determina ensayando vigas de sección cuadrada de 500 mm de longitud por 150 mm de lado, elaboradas y curadas de acuerdo con las normas ASTM C-192 y C-31. Los ensayos de resistencia a flexión se hacen de acuerdo a las normas ASTM C-78 y ASTM C-293; el ensayo descrito en la primera norma consiste en apoyar las vigas a 2.5 cm como mínimo de sus extremos, con una luz de 45 cm y cargarlas en dos puntos situados en los tercios medios de la luz, mientras que en la segunda norma se establece que la carga debe aplicarse en el centro de la viga. El esfuerzo máximo de flexión se denomina módulo de rotura (MR).

Para la norma ASTM C-78 el módulo de rotura se calcula según la siguiente formula cuando la falla ocurre dentro del tercio medio (de la luz libre de la viga)

$$MR = \frac{PL}{bd^2}$$

Dónde:

MR= Módulo de rotura del concreto, en kg/cm²

P= Carga máxima aplicada en kg

L= Luz libre entre apoyos en cm

b = Ancho de la viga en cm

d = Altura de la viga en cm

Si la falla ocurre por fuera del tercio medio de la viga, pero no está separada de él por más de una longitud equivalente al 5% de la luz-libre, el módulo de rotura debe ser calculado de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$MR = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Donde **a**= distancia entre la línea de rotura y el apoyo más próximo, medida a lo largo del eje longitudinal de la cara inferior de la viga, en cm.

Si la falla ocurre por fuera del tercio medio de la viga y a una distancia de él mayor del 5% de la luz libre de la viga, el ensayo se debe descartar. El módulo de rotura debe ser calculado con una precisión de 0,35 kgJcm² (5 p.s.i.). Por otra parte, el ensayo descrito por la norma ASTM C-293 consiste en apoyar las vigas de igual forma que en la norma ASTM C-78, pero con aplicación de carga en el centro de la luz. En este caso, el módulo de rotura se calcula según la siguiente expresión:

$$MR = \frac{3PL}{bd^2}$$

Es de anotar que el valor obtenido por medio de estas fórmulas no coincide con la resistencia real a la tracción del concreto, principalmente porque al aplicarla se supone un comportamiento elástico del concreto hasta la falla por tracción, lo cual no es cierto.

A pesar de lo anterior, el módulo de rotura del concreto es una medida útil para el diseño de pavimentos de concreto, puesto que las placas del pavimento trabajan principalmente a

flexión; de ahí que en estos casos, la calidad del concreto se especifique indicando su módulo de rotura. (Sanchez De Guzman, 2001)

Para la norma ASTM C- 293 el módulo de rotura se calcula mediante la siguiente formula:

$$MR = \frac{3PL}{2bd^2}$$

2.2.2.6.4 Ensayo de tracción indirecta.

Fue desarrollado por L. Carneiro y A. Bercellos; en este método, la resistencia a la tracción (T) es determinada cargando a compresión el cilindro convencional de 15 x 30 cm a lo largo de dos líneas diametralmente opuestas (acostado). Icontec ha estandarizado este ensayo en su norma 722 (ASTM C- 496) y la resistencia a la tracción indirecta se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$T = \frac{2P}{\pi Ld}$$

Dónde:

T = Resistencia a la tracción indirecta en kgJcm²

P = Carga máxima aplicada en kg

L = Longitud del cilindro en cm

d = Diámetro del cilindro en cm

Sin embargo, esta resistencia T, aparentemente de acuerdo con algunas investigaciones, es aproximadamente un 15% más alta que la determinada por ensayos de tracción directa. (Sanchez De Guzman, 2001)

2.2.2.6.5 *Densidad del concreto endurecido*

La densidad se calcula de la masa (peso) y volumen, que se obtienen de un testigo de hormigón endurecido.

- **Probetas:** Se requieren testigos con un volumen mínimo de 1 litro. Si el tamaño nominal de la partícula máxima de árido está por encima de los 25 mm, el volumen mínimo del testigo debe estar por encima de 50 D³, siendo D el tamaño máximo de partícula de árido. (Ejemplo: un tamaño máximo de partícula de 32 mm requiere un volumen mínimo de 1.64 litros).
- **Determinación de la masa:** existen 3 condiciones bajo las cuales puede determinarse la masa del testigo: muestra según se recibe, muestra saturada de agua y muestra secada en estufa.
- **Determinación del volumen:** hay 3 métodos para determinar el volumen de un testigo: por desplazamiento de agua (método de referencia), por cálculo a partir de las masas actuales (geométricamente) y por cálculo a partir de las masas específicas (para cubos).

2.2.2.7 *Aditivos.*

Un aditivo es una sustancia química, generalmente dosificada por debajo del 5% de la masa del cemento, distinta del agua, los agregados, el cemento y los refuerzos de fibra, que se emplea como ingrediente de la pasta, del mortero o del concreto, y se agrega al conjunto antes o durante el proceso de mezclado, con el fin de modificar alguna o algunas de sus propiedades físicas, de tal forma que el material se adapte de una mejor forma a las características de la obra o las necesidades del constructor.

Los aditivos se emplean cada vez en mayor escala en la fabricación de morteros y hormigones, para la elaboración de productos de calidad, en procura de mejorar las características del producto final. No se trata en ningún modo de aditivos del cemento, pues la misión del aditivo no consiste en mejorar el cemento, sino permitir la transformación o modificación de ciertos caracteres o propiedades de un producto acabado, que según los casos, puede ser un hormigón, un mortero o una lechada para inyecciones. (RIVERA).

2.2.2.7.1 Clasificación.

En Colombia, la norma NTC 1299 establece los requisitos que deben cumplir los aditivos químicos que pueden agregarse al concreto, y los clasifica en:

- TIPO A - PLASTIFICANTE: Es el aditivo que permite disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una determinada consistencia del hormigón
- TIPO B - RETARDADOR: Es aquel que demora el fraguado del hormigón.
- TIPO C - ACELERANTE: Es aquel que acelera tanto el fraguado como la ganancia de resistencia a temprana edad del concreto.
- TIPO D - PLASTIFICANTE RETARDADOR: Es aquel que permite disminuir la cantidad de agua (acción primaria) necesaria para obtener un hormigón de una determinada consistencia y retardar su fraguado (acción secundaria).
- TIPO E - PLASTIFICANTE ACELERANTE: Es aquel que permite disminuir la cantidad de agua (acción primaria) necesaria para obtener un hormigón de determinada consistencia y acelerar tanto el fraguado como la resistencia del hormigón a temprana edad (acción secundaria).
- TIPO F – SUPERPLASTIFICANTE: Es el aditivo que permite la reducción del agua de mezcla en más de un 12% para obtener una determinada consistencia del hormigón
- TIPO G – SUPERPLASTIFICANTE RETARDADOR: Es el aditivo que permite la reducción del agua de mezcla, en más de un 12%, para obtener una determinada consistencia del hormigón (acción primaria) y además retarda el fraguado (acción secundaria).
- TIPO H – SUPERPLASTIFICANTE ACELERANTE: Es el aditivo que permite la reducción del agua de mezcla, en más de un 12%, para obtener una determinada consistencia del hormigón (acción primaria) y además acelera tanto el fraguado como la resistencia del hormigón a temprana edad (acción secundaria). (RIVERA)

2.2.3 Residuos industriales.

Es cualquier elemento, sustancia u objeto en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, obtenido como resultado de un proceso industrial, por la realización de una actividad de servicio, o por estar relacionado directa o indirectamente con la actividad, incluyendo eventuales emergencias o accidentes, el cual su poseedor, productor o generador, no puede utilizar, y debe desechar o tenga la obligación legal de hacerlo.

2.2.3.1 Residuos agroindustriales.

Durante algunos procesos agroindustriales se generan subproductos o residuos y si ellos no son reciclados o procesados apropiadamente, generan diversos problemas ambientales. Algunos son quemados o vertidos en rellenos sanitarios produciendo una gran liberación de dióxido de carbono, contaminación de cursos de aguas, molestias por presencia de olores, proliferación de ratas, moscas y otros insectos, etc. Su eliminación supone un problema de gestión para las empresas productoras. Sin embargo, estos materiales son fuentes especialmente atractivas por su contenido en compuestos químicos (como azúcares, pigmentos, fibra alimentaria, proteína, polifenoles, lignina, etc.) y pueden ser potencialmente útiles cuando se les transforma mediante tratamientos químicos o microbiológicos en productos de elevado valor añadido. La utilización de residuos agrícolas en procesos de remediación de suelos y tratamiento de efluentes ha sido también de gran interés y varios procesos han sido reportados. (E, Azucena, & Adriana, 2008).

2.2.3.2 PALMA AFRICANA

La palma de aceite (*elaeis guineensis*) es una planta oleaginosa cuyo tallo puede alcanzar más de 30 metros de altura y produce racimos de frutos compactos que pueden pesar entre

10 y 40 kilogramos. Se caracteriza por ser la oleaginosa más productiva del planeta: en promedio, una hectárea sembrada produce entre seis y diez veces más aceite que otras. Aunque la vida productiva de la palma es mayor a cincuenta años, la altura que alcanza a los 20 ó 25 años dificulta las labores de cosecha, lo cual indica el comienzo de la renovación en las plantaciones comerciales. De acuerdo con Fedepalma, los frutos de color naranja rojizo contienen en su interior una única semilla, llamada almendra o palmiste, protegida por una pulpa carnosa de la que se obtiene el aceite de palma propiamente dicho. (SIC)

2.2.3.2.1 Cuesco de la palma africana.

Es el endocarpio o cascara dura que recubre la semilla de la palma africana también llamada palmiste. Cerca de 300 mil toneladas anuales de cuesco son desechadas por las plantas extractoras de aceite; la palmicultura es uno de los sectores agrícolas que más desechos produce en el país. (fedepalma)

2.2.3.2.1.1 Características del cuesco o pericarpio en la mezcla de concreto.

El cuesco posee una alta resistencia, de hecho su desprendimiento en el racimo se da solo por el calentamiento en hornos y su trituración por altos procesos industrializados. La razón principal de utilizar este tipo de agregado en la composición de la mezcla de concreto es que actúe como material de relleno haciendo más económica la mezcla y que proporcione su resistencia como elemento esencial a la compresión, además que controle el cambio volumétrico en el fraguado al pasar de un estado plástico ha endurecido. (LACCEI)

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de la incorporación como agregado grueso, del cuesco de palma africana sin alteraciones químicas, sobre las propiedades físicas y mecánicas del concreto mediante un análisis comparativo de los resultados obtenidos al ensayar especímenes de mezclas con y sin cuesco, para establecer la viabilidad de este residuo como reemplazo del agregado grueso convencional.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una caracterización física del cuesco de palma africana.
- Realizar diseño de mezcla patrón y elaborar mezclas reemplazando de manera progresiva el agregado convencional con cuesco de palma.
- Establecer las propiedades físicas y mecánicas de las muestras fabricadas con cuesco de palma africana y con agregado convencional, mediante ensayos a compresión, tracción indirecta, flexión .
- Realizar una comparación de los resultados obtenidos de los ensayos teniendo en cuenta las condiciones de fraguado.

4 ALCANCE

El propósito de esta investigación es determinar la viabilidad del cuesco de palma africana como reemplazo del agregado grueso convencional en la fabricación de concreto bajo las condiciones ambientales de la ciudad de Cartagena de Indias, lugar donde se realizó la investigación, la cual cuenta con una altitud de 2 msnm y una temperatura media de 28 °C. Los materiales utilizados fueron extraídos en el departamento de Bolívar.

Esta investigación fue realizada del mes de septiembre de 2015 al mes de marzo de 2016.

Se estudió la variación de la resistencia y de la densidad del concreto endurecido tras el reemplazo del agregado grueso por el material estudiado. Además se establecieron algunas propiedades físicas del cuesco y de los agregados convencionales, los cuales fueron canto rodado y arena lavada de la cantera AGRECAR.

Los ensayos para determinar la resistencia del concreto y las propiedades físicas de los agregados fueron realizados en un laboratorio ubicado en el barrio los tamarindos y los laboratorios de Geotecnia y Materiales de la Universidad de Cartagena.



Figura 5 Delimitación espacial del proyecto **Fuente:** Google Earth

Este documento contiene los resultados de los ensayos de laboratorio y unas recomendaciones de uso para el concreto fabricado con cuesco que ayuden a generar más alternativas de uso para este material.

Este informe servirá de base para investigaciones futuras sobre la utilización del cuesco para la fabricación de concreto ligero y para investigaciones relacionadas con el aprovechamiento de este residuo.

En esta investigación no se tiene en cuenta la influencia del cuesco sobre las propiedades químicas, tampoco se tienen en cuenta factores como la temperatura y la humedad.

5 METODOLOGIA

Esta investigación fue de tipo mixta ya que consistió en un análisis descriptivo y experimental del fenómeno, en este caso, la variación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto al reemplazar su agregado grueso convencional por un residuo agroindustrial (cuesco de palma africana). Se realizó un análisis comparativo de los resultados arrojados por los diferentes ensayos sobre las muestras experimentales y las muestras de control, es decir, muestras con y sin el cuesco respectivamente, esto se hizo teniendo en cuenta la edad del espécimen.

La investigación tuvo tres fases:

- Recolección de información secundaria
- Recolección de información primaria
- Evaluación de resultados

5.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Para la realización de la investigación se hizo una revisión bibliográfica de la cual se obtuvo información referente a investigaciones afines realizadas previamente y a normas técnicas colombianas sobre especificaciones y métodos de prueba del concreto (NTC), esto para una correcta ejecución de los respectivos ensayos a los que fueron sometidas las muestras.

Dicha información fue recolectada de la base de datos de la universidad de Cartagena y de libros sobre la temática estudiada.

5.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA

5.2.1 Caracterización de los agregados

Se hizo un análisis granulométrico de los agregados, en este caso arena lavada, canto rodado de 3/8 y cuesco de palma africana. Además para el cuesco y para el agregado grueso se determinaron otras propiedades físicas como peso específico, absorción (NTC

176) y peso unitario (ASTM C 92). Estos ensayos se llevaron a cabo en los laboratorios de Geotecnia y Materiales de la Universidad de Cartagena siguiendo las normas técnicas vigentes para su correcta elaboración.



Figura 6. Materiales y equipos utilizados en la granulometría

Fuente. Autores



Figura 7. Determinación de la masa unitaria.

Fuente. Autores

5.2.2 Fabricación de muestras

Se fabricaron especímenes con diferentes proporciones de cuesco de palma aceitera previamente lavado con detergente para la eliminación de rastros de grasa y cualquier otra impureza, también se fabricaron especímenes patrón sin dicho material y fabricados con agregados convencionales en moldes cilíndricos con dimensiones de 15 x 30 cm para los ensayos a compresión y tracción indirecta, y viguetas de 15x15x52 cm para los ensayos a flexión. La mezcla para los especímenes patrón fue preparada con cemento marca Argos, arena lavada y canto rodado en una relación volumétrica 1:2:3 respectivamente; luego, de acuerdo al volumen de agregado grueso obtenido para la mezcla patrón, se elaboraron las mezclas para la fabricación de las muestras experimentales reemplazando el porcentaje correspondiente (20%, 60% y 100%) de agregado grueso por cuesco de palma africana. Se fabricaron dos especímenes por cada porcentaje y edad. El concreto para las muestras fue realizado con mezcla manual y con una relación agua/cemento de 0.38.

Las muestras fueron retiradas de los moldes en un lapso de tiempo comprendido entre 24 y 48 horas y fueron sometidas a un proceso de curado hasta la realización de los ensayos correspondientes.

5.2.3 Ensayos a especímenes

Las muestras patrón y las muestras elaboradas con distintas proporciones del material estudiado (20%, 60% y 100%) se ensayaron a compresión, tracción indirecta y flexión, a edades de 7, 14 y 28 días.

Los ensayos fueron realizados de acuerdo a lo establecido en las normas NTC 673 (resistencia a la compresión), NTC 722 (resistencia a la tensión indirecta) y ASTM C293 (resistencia a la flexión), las cuales se describen en el marco teórico de esta investigación.



Figura 8. Ensayo de resistencia a Compresión

Fuente: Autores



Figura 9. Ensayo de resistencia a Tracción indirecta

Fuente: Autores



Figura 10. Ensayo de resistencia a Flexión

Fuente: Autores

5.3 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Luego de realizar todos los ensayos correspondientes, utilizando herramientas de cómputo, se tabularon los datos obtenidos en el laboratorio y se realizaron gráficas representativas para su posterior análisis. Se realizó un análisis comparativo entre los resultados obtenidos para las muestras de control y las muestras experimentales y estos a su vez fueron comparados con las normas técnicas colombianas y con investigaciones afines ya realizadas.

6 RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS

Los agregados convencionales fueron caracterizados con el fin de verificar el cumplimiento de las normas técnicas colombianas. En el caso del agregado grueso y el cuesco se determinaron características adicionales, ya que teniendo en cuenta el propósito de esta investigación, se quiso mostrar las diferencias existentes entre ellos y además ampliar el conocimiento del material estudiado.

6.1.1 Agregado fino

6.1.1.1 Granulometría agregado fino

El agregado fino fue sometido a un análisis granulométrico y sus resultados fueron comparados con lo establecido en la norma NTC – 174.



Figura 11. Proceso de tamizado
Fuente: Autores

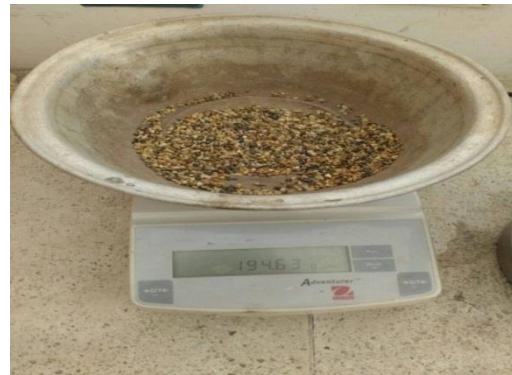
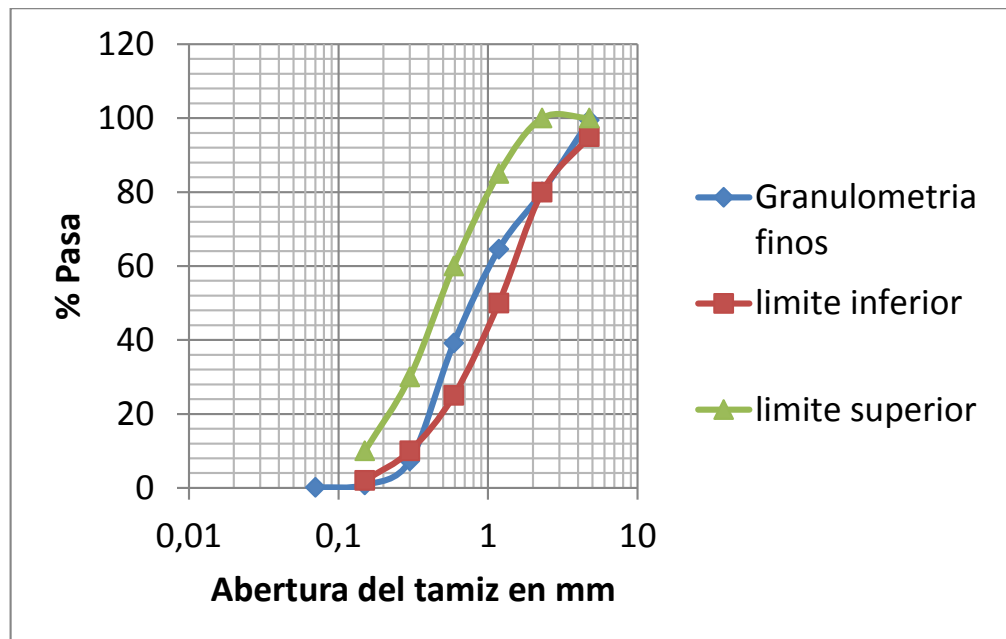


Figura 12. Retenido tamiz N°8
Fuente: Autores

Tamiz	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	% Pasa
N° 4	5.7	5.7	0.57	0.57	99.43
N° 8	194.63	200.33	19.39	19.96	80.04
N° 16	155.45	355.78	15.49	35.44	64.56
N° 30	255.13	610.91	25.42	60.86	39.14
N° 50	319.7	930.61	31.85	92.71	7.29
N° 100	65.06	995.67	6.48	99.19	0.81
N° 200	7.04	1002.71	0.70	99.89	0.11
FONDOS	1.12	1003.83	0.11	100.00	0.00
∑ retenidos	1003.83		100.00		

Tabla 1. Granulometría del agregado fino

Fuente: Autores



Gráfica 1. Curva granulométrica del agregado fino

Fuente: Autores

De acuerdo a los datos arrojados se puede notar como el agregado, en cuanto a gradación, cumple con lo establecido en la norma NTC – 174 como se muestra en la figura 12; también se puede notar la ausencia casi en su totalidad de limos y arcillas, por lo tanto el material es apto para su uso.

Tamiz NTC 32 (ASTM E 11)	Porcentaje que pasa
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	10 a 30
150 μm	2 a 10

Figura 13. Gradación del agregado fino

Fuente: Norma NTC- 174

6.1.2 Agregado grueso

6.1.2.1 Granulometría

Con el fin de verificar si el agregado grueso tenía una buena gradación, aspecto importante para que el concreto desarrolle una buena resistencia, se determinó la granulometría del mismo y se constató si cumplía con las normas técnicas.

La muestra tomada para la granulometría fue de 2000,7 gr y estos fueron los resultados obtenidos:



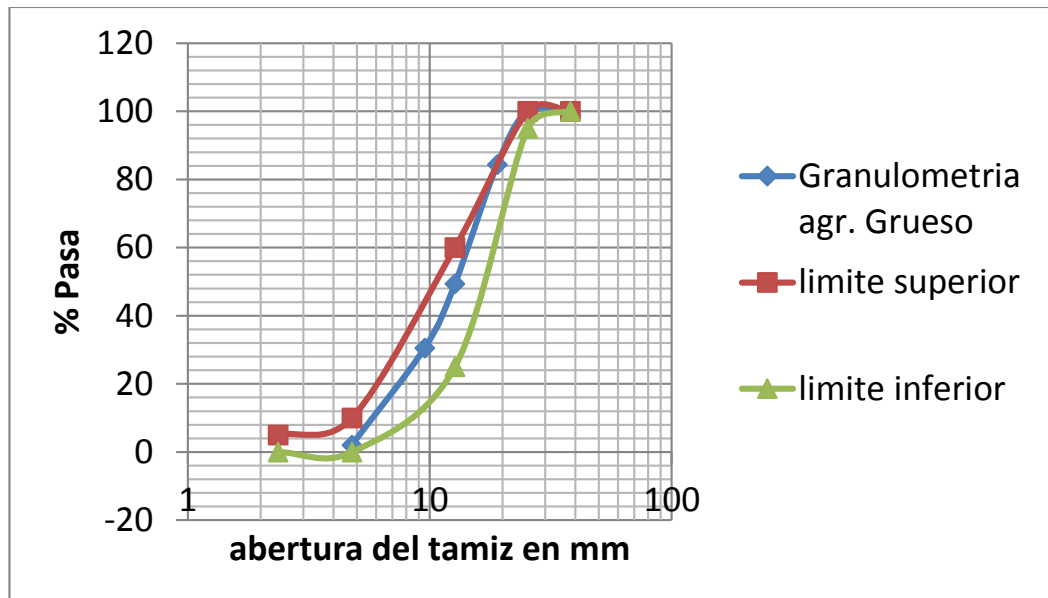
Figura 14. Proceso de tamizado

Fuente: Autores

Tamiz	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	% Pasa
1 1/2 "	0	0	0	0	100
1"	0	0	0	0	100
3/4"	312.76	312.76	15.63	15.63	84.36
1/2"	700.55	1013.31	35.02	50.65	49.352
3/8"	376.27	1389.58	18.81	69.45	30.545
N°4	570.19	1959.77	28.50	97.95	2.046
FONDO	40.93	2000.7	2.05	100.00	0
Σ retenidos	2000.7		100		

Tabla 2. Granulometría del agregado grueso

Fuente: Autores



Gráfica 2. Curva granulométrica del agregado grueso

Fuente: Autores

El análisis granulométrico deja ver que el material es bien gradado y que cumple con los requisitos de granulometría para agregado grueso establecidos en la norma NTC-174 como se puede apreciar en la figura 14.

Numero del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa cada uno de los siguientes tamices (porcentaje)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	1,18 mm (No.16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25,0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
4	37,5 mm a 19,0 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (No.8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Figura 15. Requisitos de granulometría para agregado grueso

Fuente: Norma NTC-174

6.1.2.2 *Peso específico*

Peso específico	
Peso específico aparente(gr/cm ³)	2.52
Peso específico aparente(S.S.S)(gr/cm ³)	2.53
Peso específico nominal (gr/cm ³)	2.58
Absorción (%)	0.89

Tabla 3. Peso específico

Fuente: Autores

Se puede notar que el valor de la absorción es aceptable y el peso específico obtenido está dentro del valor promedio para agregado grueso que, según la experiencia, oscila entre 2.3 g /cm³ y 2.8 g /cm³ (Sanchez De Guzman, 2001) .

6.1.3 *Cuesco de palma africana*

6.1.3.1 *Granulometría*

Los resultados arrojados en el análisis dejan ver un exceso de partículas entre 4.75 y 9.5 mm como se muestra a continuación:



Figura 16. Fondo de tamizado del cuesco

Fuente: Autores



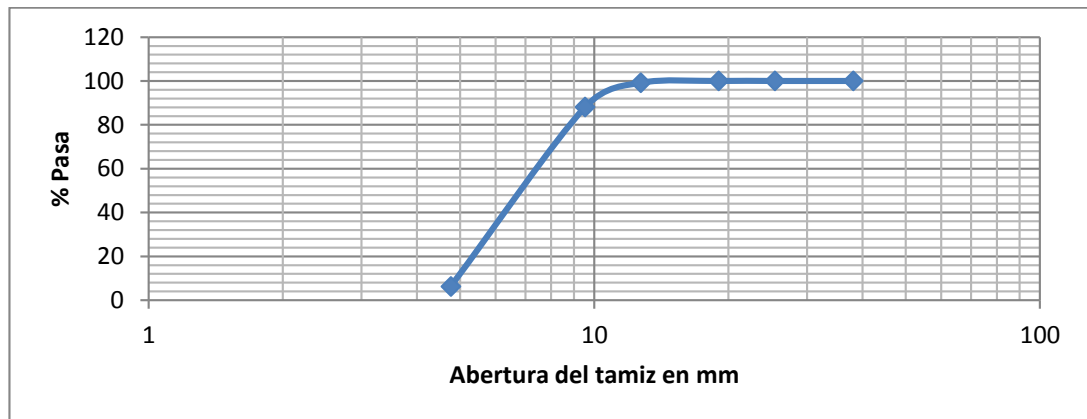
Figura17. Peso del fondo del cuesco

Fuente: Autores

Tamiz	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	% Pasa
1 1/2 "	0	0	0.00	0.00	100.00
1"	0	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	0	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	3.3	3.3	0.84	0.84	99.16
3/8"	43.73	47.03	11.08	11.92	88.08
N°4	323.07	370.1	81.86	93.78	6.22
FONDO	24.55	394.65	6.22	100.00	0.00
∑ retenidos	394.65		100.00		

Tabla 4. Granulometría del cuesco de palma africana

Fuente: Autores



Grafica 3. Curva granulométrica del cuesco

Fuente: Autores

6.1.3.2 *Peso específico*

Peso específico	
Peso específico aparente(gr/cm ³)	0.98
Peso específico aparente(S.S.S)(gr/cm ³)	1.31
Peso específico nominal (gr/cm ³)	1.46
Absorción (%)	33.84
Humedad natural (%)	9.39

Tabla 5. Peso específico, absorción y humedad natural del cuesco

Fuente: Autores

Peso unitario	
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	290.2
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	389

Tabla 6. Peso unitario suelto y compactado

El peso unitario obtenido es muy bajo en comparación con los agregados normales cuyos valores, según la experiencia, oscilan entre 1300 kg/m³ y 1800 kg/m³ según el grado de compactación (RIVERA), por lo cual se espera que la densidad del concreto fabricado con el material disminuya. El porcentaje de absorción obtenido para el cuesco fue muy alto en comparación con el agregado normal, lo cual podía afectar la resistencia del concreto al afectar el proceso hidratación de la mezcla, por esta razón el material fue saturado con agua antes ser incorporado a esta. El peso específico registrado es similar al obtenido en investigaciones previas donde el rango esta entre 1.17 y 1.62. (U. Johnson Alengaram, 2013)

6.2 ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO

Las muestras fabricadas fueron ensayadas a edades de 7, 14 y 28 días y se registraron las resistencias a flexión, tracción indirecta y compresión, también el peso de los especímenes fue registrado. Los resultados obtenidos fueron comparados con estudios existentes y de acuerdo a la norma INV E-410 se estableció si eran aptos para ser usados en la construcción.

ENSAYOS DE RESISTENCIA			
Ensayos a los 7 días			
Agregado grueso reemplazado (%)	Resistencia a la compresión (psi)	Resistencia a la tracción indirecta (psi)	Resistencia a la flexión (psi)
0	1216.87	111.24	378.71
20	825.27	105.44	234.38
60	509.08	72.66	148.65
100	529.39	111.24	100.17
Ensayos a los 14 días			
Agregado grueso reemplazado (%)	Resistencia a la compresión (psi)	Resistencia a la tracción indirecta (psi)	Resistencia a la flexión (psi)
0	1510.17	166.12	381.40
20	1241.79	116.28	337.77
60	837.16	108.83	237.25
100	738.67	132.96	145.03
Ensayos a los 28 días			
Agregado grueso reemplazado (%)	Resistencia a la compresión (psi)	Resistencia a la tracción indirecta (psi)	Resistencia a la flexión (psi)
0	2002.62	195.75	430.21
20	1359.15	153.48	384.77
60	970.94	123.11	283.28
100	914.31	160.87	181.78

Tabla 7. Resultados de las pruebas de resistencia a las edades de 7, 14 y 28 días.

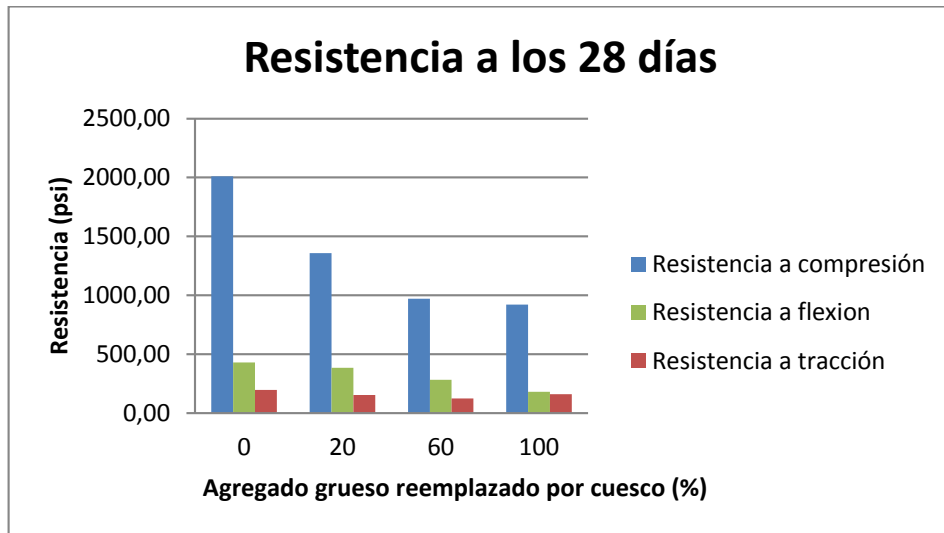
Fuente: Autores

Las densidades de las muestras por cada porcentaje fueron promediadas y se determinó la densidad para cada porcentaje a los 28 días, los resultados se muestra en la tabla 8, solo el concreto con 100% de cuesco entra dentro de la categoría de concreto ligero ya que es el único dentro del rango de 400kg/m³ a 2000 kg/m³ que son las densidades que se presentan en este tipo de hormigones. (Sanchez De Guzman, 2001)

Edad	Porcentaje de cuesco en la mezcla			
	0%	20%	60%	100%
28 días	2477.81	2348.60	2056.51	1846.19

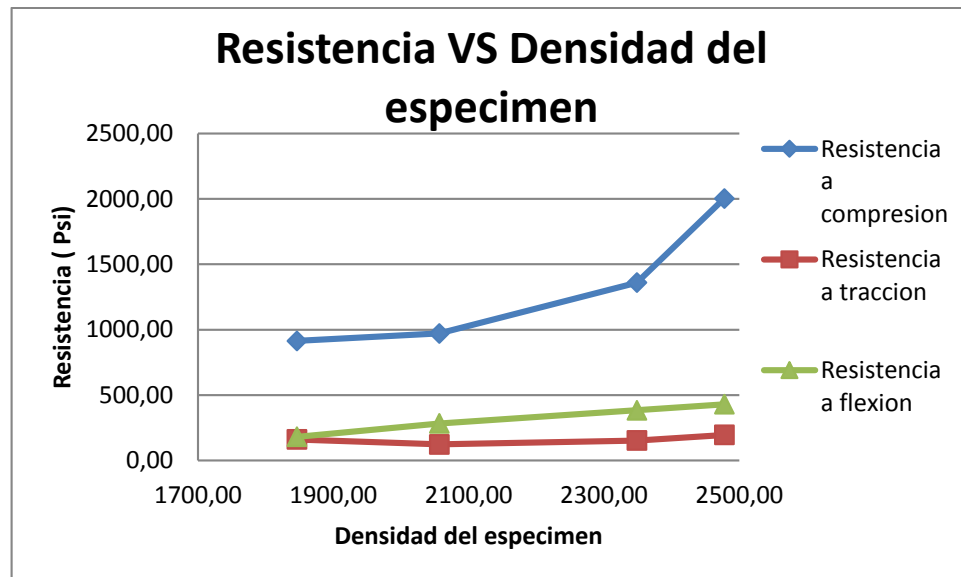
Tabla 8. Densidades de los especímenes en Kg/m³ a los 28 días.

Fuente. Autores



Grafica 4. Resistencia Vs porcentaje de agregado grueso reemplazado por cuesco

Fuente: Autores



Grafica 5. Resistencia VS densidad del espécimen a los 28 días.

En las gráficas 4 y 5 se puede ver como la resistencia se ve afectada de forma significativa con la disminución de la densidad; sin embargo para la resistencia a tracción indirecta los resultados obtenidos para las muestras experimentales no se alejan tanto de los registrados para las muestras patrón, exceptuando las muestras con 60% de cuesco cuya resistencia a tracción indirecta fue la menor registrada.



Figura 18. Espécimen con 100% de cuesco ensayado a tracción indirecta

Fuente. Autores

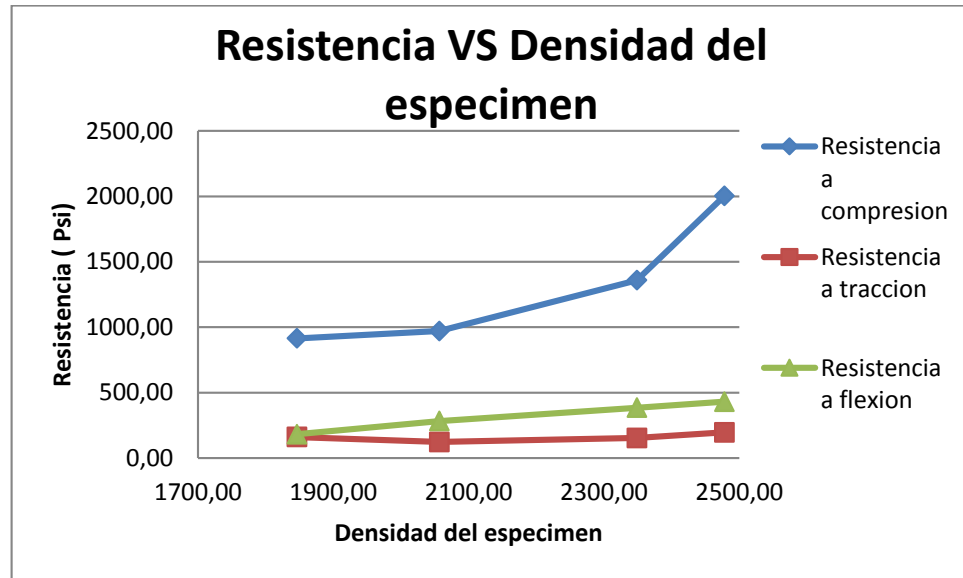
7 CONCLUSIÓN

En el estudio realizado se pudo evidenciar el comportamiento del concreto con cuesco de palma africana como sustituyente del agregado grueso en especímenes que fueron sometidos a pruebas a compresión, tracción indirecta y flexión, las cuales arrojaron resultados favorables y desfavorables para su uso en obras de ingeniería al ser comparados con muestras patrón desde el punto de vista estructural; sin embargo se determinó su factible utilización como medida de mitigación del impacto ambiental.

Con el fin de profundizar el conocimiento acerca del cuesco de palma africana y compararlo con el agregado normal, se establecieron sus características físicas observándose un porcentaje de absorción muy elevado (33.84 %); de acuerdo a esto se deduce un alto grado de porosidad lo cual contribuyó a la pérdida de resistencia del concreto resultante, ya que las partículas de cuesco son menos duras y resistentes en comparación con las partículas macizas que conforman el agregado convencional. También, como se esperaba, se obtuvo un peso unitario muy bajo (389 kg/m³ compactado) en comparación con el agregado normal que según la experiencia, oscilan entre 1300 kg/m³ y 1800 kg/m³ lo cual derivó en la disminución de la densidad del concreto en estado endurecido, que fue la propiedad física del concreto estudiada en este proyecto. (RIVERA) (Sanchez De Guzman, 2001)

La mezcla usada en el estudio corresponde a una relación volumétrica 1:2:3, procurando obtener un concreto patrón de resistencia normal y de acuerdo a este analizar el comportamiento de las muestras experimentales. Los resultados arrojados muestran que, para esta relación, a la mezcla de concreto puede incorporarse un 20% de cuesco en reemplazo del agregado grueso y tener un comportamiento aceptable en todas sus propiedades mecánicas, ya que es la única con una resistencia a compresión superior a 1000 psi, que es la mínima resistencia aceptada para hormigones normales, sin embargo el concreto obtenido no es ligero pues la densidad es superior a 2000 kg/m³. Se observa también que la resistencia a compresión registrada para la mezcla con 100% de cuesco es muy baja (914.31 Psi), lo cual se registró en algunas investigaciones previas; sin embargo aunque no alcanza el valor mínimo establecido por la norma de 1000 psi, se acerca mucho a este valor por lo cual es probable que pueda usarse en situaciones donde no se amerite mucha resistencia. De acuerdo a el comportamiento registrado es probable que al reemplazar un 50% del agregado grueso por cuesco y con otra proporción más rica (1:2:2) pueda obtenerse aún un concreto ligero y mayor resistencia. (Sanchez De Guzman, 2001)

En cuanto a la resistencia a tracción indirecta, la cual ha sido muy poco estudiada para concretos con cuesco, no se presentó una disminución significativa dicha resistencia en comparación con las muestras patrón.



Resistencia a los 28 días vs densidad del espécimen

En términos generales los resultados obtenidos son alentadores pues apuntan a que el cuesco puede utilizarse como sustituto del agregado grueso convencional para la fabricación de concreto ligero, lo cual se traduce en una disminución considerable de costos al bajar el peso de la estructura y al ser el cuesco, en comparación con el agregado convencional, mucho más económico. En términos ambientales los resultados encontrados son de gran importancia pues se da a este material, que actualmente es un foco de contaminación debido a la falta de alternativas de uso industrial y a su inadecuado manejo, una posibilidad de uso que no representa un impacto ambiental considerable pues es trabajado en estado natural. Con todo esto se mejora la calidad de vida de las poblaciones aledañas no solo al disminuir la contaminación sino además el valor proyectos sociales de infraestructura que favorezcan la comunidad. (LACCEI)

8 RECOMENDACIONES

Se observó que las mezclas con cuesco eran más secas, se recomienda vigilar la relación agua/cemento. Se recomienda realizar una mezcla adecuada para lograr una mayor homogeneidad y evitar espacios vacíos y en general una mejor distribución de las partículas en toda la extensión de la mezcla.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Buzon Ojeda, J. (2009). Uso del cuesco de la palma africana en la fabricación de adoquines y bloques de mampostería. *Seventh Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology* (págs. 1-10). San Cristobal: LACCEI.
- cbb*. (20 de febrero de 2015). Obtenido de http://www.cbb.cl/cementos/PutDocument.aspx?File=576096_CEMENTO%20FABRICAC.pdf
- E, B. H., Azucena, T. D., & Adriana, L. T. (2008). UTILIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES . *Revista Sistemas Ambientales*, 44-50.
- fedepalma*. (s.f.). Recuperado el 22 de Febrero de 2015, de <http://web.fedepalma.org>
- Gunasekaran, K., Kumar, P., & Lakshmiathy, M. (2011). Mechanical and bond properties of coconut shell concrete. *Construction and Building Materials*, 92–98.
- Guzmán, M. F., & Ruíz, D. D. (2011). CONCRETO PREPARADO CON RESIDUOS INDUSTRIALES. *educacion en ingenieria*, 1-11.
- Juarez, C., Rodriguez, P., Rivera, R., & Rechy, M. d. (2004). Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto. *Ingenierias*, 22, 7-19.
- LACCEI*. (s.f.). Recuperado el 22 de 02 de 2015, de <http://www.laccei.org/LACCEI2009-Venezuela/p202.pdf>
- María Fernanda Serrano Guzmán, D. D. (2011). *Agregados no convencionales para la preparación de concretos*.
- Martinez Acevedo, I. L. (20 de febrero de 2015). *slideshare*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/LennHegg/exposicion-de-kfc> visitado el 20/02/15
- RAJANAIDU, N. (1995). Semillas de calidad - Material de propagacion de palma de aceite de calidad. *palmas*, 33-36.
- RIVERA, G. (s.f.). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y EL MORTERO CONCRETO*. Universidad del Cauca.
- Sanchez De Guzman, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero* (5ta edición ed.). Bogota D.C : Pontificia Universidad Javeriana.

- Shafigh, P., Jumaat, M. Z., Mahmud, H. B., & Hamid, N. A. (2012). Lightweight concrete made from crushed oil palm shell: Tensile strength and effect of initial curing on compressive strength. *Construction and Building Materials* , 252–258.
- SIC. (s.f.). Recuperado el 22 de febrero de 2015, de Superintendencia de industria y comercio de Colombia :
<http://www.sic.gov.co/drupal/sites/default/files/files/Palma.pdf>
- TEO, D. C., MANNAN, M. A., & KURIAN, V. J. (2006). Structural Concrete Using Oil Palm Shell (OPS) as Lightweight aggregate. *TUBITAK*, 251-257.
- U. Johnson Alengaram, B. A. (2013). Utilization of oil palm kernel shell as lightweight aggregate in concrete – A review. *Construction and Building Materials* 38 , 161–172.
- Yewa, M. K., Mahmuda, H. B., Ang, B. C., & Yew, M. C. (2014). Effects of heat treatment on oil palm shell coarse aggregates for high trength lightweight concrete. *Materials and Design*, 702-707.