

INCIDENCIA DE LA CENIZA DE CUESCO DE PALMA ACEITERA EN  
MORTEROS Y CONCRETOS HIDRÁULICOS

ESTEFANY VALERIA BUSTOS BUSTOS  
JUAN SEBASTIÁN CORTÉS GÓMEZ  
DIEGO ALEJANDRO RONDÓN GIL

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CAMPUS IBAGUÉ ESPINAL  
IBAGUÉ  
2021

INCIDENCIA DE LA CENIZA DE CUESCO DE PALMA ACEITERA EN  
MORTEROS Y CONCRETOS HIDRÁULICOS

ESTEFANY VALERIA BUSTOS BUSTOS  
JUAN SEBASTIÁN CORTÉS GÓMEZ  
DIEGO ALEJANDRO RONDÓN GIL

Informe final de análisis de literatura presentado como requisito parcial para optar  
al título de ingenieros civiles

Directores

ÓSCAR HERNÁN CARDONA GARCÍA  
Ingeniero Civil

ALBERTO GÓMEZ LOZANO  
Ingeniero Mecánico, M, Sc.

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CAMPUS IBAGUÉ ESPINAL  
IBAGUÉ  
2021



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado 1

---

Firma del jurado 2

Ibagué, 8 de noviembre de 2021



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mi madre, quien me dio su apoyo y me ayudó a cumplir este sueño.

También a todos aquellos que me brindaron su apoyo, tiempo, dedicación y paciencia a lo largo de este proceso.

A mis compañeros que con su esfuerzo y dedicación logramos culminar este gran proceso.

Estefany Valeria Bustos Bustos

Quiero dedicar este trabajo de grado a Dios y mi familia, especialmente a mis padres y a mi hermano, por estar presentes en esta etapa de mi vida y haberme forjado como la persona que soy ahora, por ser esa inspiración día tras día de salir a cumplir mis propósitos, siendo este uno de tantos que me he trazado.

Juan Sebastián Cortés Gómez

Este trabajo es dedicado a mis padres y a todas las personas que han sido parte de mi proceso de vida, me han visto crecer, me han aconsejado y han hecho de mí una mejor persona. También agradezco la instrucción del Ingeniero Oscar Hernán Cardona García, quien nos aportó herramientas para la construcción de este trabajo, así mismo agradezco a mis compañeros por su tiempo y dedicación en todo este proceso investigativo.

Diego Alejandro Rondón Gil.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco y dedico primeramente a Dios y a mi madre Alexandra Bustos por permitirme culminar mi carrera y guiarme en cada paso para lograr esta meta, a mi novio por brindarme su apoyo, por alegrar mis días y ser una motivación en este proceso. También agradezco al ingeniero Oscar Hernán Cardona García, por brindarme sus enseñanzas durante el desarrollo de este proyecto, a mis amigos y compañeros por su acompañamiento, paciencia y enseñanzas en lo aprendido durante la carrera.

Estefany Valeria Bustos Bustos

Expreso mi gratitud a Dios por acompañarme en todo este proceso, a mis padres y todas las personas que me han guiado en este camino. Agradezco al programa de ingeniería civil de la UCC por hacer posible este sueño, a nuestro director Oscar Hernán Cardona García, por estar presente a lo largo de esta investigación, gracias a todos los que de una u otra manera me apoyaron a lo largo de mi carrera universitaria.

Juan Sebastián Cortés Gómez

Agradezco a Dios y a la vida por permitirme contar con una familia que me ha apoyado incondicionalmente en cada etapa de mi vida, a la universidad por sus espacios prácticos de aprendizaje y al ingeniero Oscar Hernán Cardona García, quien nos aportó sus conocimientos y experiencia para la elaboración de este trabajo de investigación.

Diego Alejandro Rondón Gil

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	11
1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	12
2. JUSTIFICACIÓN.	13
3. OBJETIVOS.	14
3.1. OBJETIVO GENERAL.	14
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	14
4. MARCO DE REFERENCIA	15
4.1. ESTADO DEL ARTE	15
4.2. MARCO TEORICO	17
4.2.1 La palma aceitera.	17
4.2.2 El concreto.	17
4.2.3 Cuesco de palma africana.	18
4.2.4 Composición química del cemento.	18
4.3. MARCO NORMATIVO	19
5. METODOLOGÍA.	20
5.1. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE MORTERO HIDRÁULICO.	20
5.2. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO.	24
6. RESULTADOS.	29
6.1. RESULTADOS DE ESPECÍMENES DE MORTERO HIDRÁULICO.	29
6.2. RESULTADOS DE ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO.	32
6.3. ENSAYO DE DURABILIDAD	40
7. CONCLUSIONES.	42
8. RECOMENDACIONES.	43
BIBLIOGRAFÍA	44
ANEXOS	46

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Datos de mezcla para cubos de mortero sin cuesco.....	20
Tabla 2. Datos de mezcla para cubos de mortero con 5% de cuesco.....	20
Tabla 3. Datos de mezcla para cubos de mortero con 10% de cuesco.....	21
Tabla 4 Medidas y dosificación para el molde utilizado.....	24
Tabla 5 Datos de mezcla para cilindros de concreto sin cuesco .....	25
Tabla 6 Datos de mezcla para cilindros de concreto con 3% de cuesco.....	25
Tabla 7 Datos de mezcla para cilindros de concreto con 3,5% de cuesco.....	25
Tabla 8 Datos de mezcla para cilindros de concreto con 4% de cuesco.....	26
Tabla 9 Datos de mezcla para cilindros de concreto con 4,5% de cuesco.....	26
Tabla 10 Datos de mezcla para cilindros de concreto con 5% de cuesco.....	26
Tabla 11. Material utilizado para la elaboración de todos los especímenes.....	27
Tabla 12 Ensayo en cubos de mortero sin cuesco.....	29
Tabla 13. Ensayo en cubos de Mortero con el 5% de cuesco.....	30
Tabla 14. Ensayo en cubos de Mortero con el 10% de cuesco.....	31
Tabla 15. Ensayo a compresión en cilindros de concreto sin cuesco .....	33
Tabla 16 Ensayo a compresión en cilindros de concreto con 3% de cuesco. ....	34
Tabla 17. Ensayo a compresión en cilindros de concreto con 3,5 % de cuesco. ...	35
Tabla 18 Ensayo a compresión en cilindros de concreto con 4 % de cuesco. ....	36
Tabla 19. Ensayo a compresión en cilindros de concreto con 4,5 % de cuesco ...	37
Tabla 20. Ensayo a compresión en cilindros de concreto con 5 % de cuesco. ....	38
Tabla 21 Promedio de ensayo a compresión en los distintos especímenes. ....	39
Tabla 22. Resultados del análisis químico de la ceniza .....	41

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	pág.
Fotografía 1. Materiales de mezcla para el mortero .....	21
Fotografía 2. Cuesco triturado en la máquina de los ángeles y pasante tamiz #100 cuesco de palma africana .....	22
Fotografía 3. Llenado de los cubos de mortero .....	22
Fotografía 4. Desencofrado de los cubos y cubos en el proceso de curado .....	23
Fotografía 5. Determinación de resistencia a la compresión de morteros.....	24
Fotografía 6. Determinación de resistencia a la compresión en los cilindros.....	28
Fotografía 7. Ensayo de durabilidad.....	40



## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Mortero sin cuesco carga máxima vs edad.....	29
Gráfica 2. Mortero con 5% de cuesco, carga máxima vs edad. ....	30
Gráfica 3. Mortero con 10% de cuesco, carga máxima vs edad. ....	31
Gráfica 4. Comparación de los tres especímenes de mortero.....	32
Gráfica 5 Concreto sin cuesco, días vs resistencia.....	33
Gráfica 6. Concreto con 3% de cuesco, días vs resistencia.....	34
Gráfica 7. Concreto con 3,5% de cuesco, días vs resistencia.....	35
Gráfica 8. Concreto con 4% de cuesco, días vs resistencia.....	36
Gráfica 9. Concreto con 4,5% de cuesco, días vs resistencia.....	37
Gráfica 10. Concreto con 5% de cuesco, días vs resistencia.....	38
Gráfica 11 Comparación del promedio del ensayo de compresión en cada uno de los especímenes .....	39

## RESUMEN

En este documento se soportan los resultados del proyecto de grado titulado: Incidencia de la ceniza de cuesco de palma aceitera en morteros y concretos hidráulicos. Esta investigación tiene como propósito aportar el suficiente conocimiento para la fabricación de morteros y concretos hidráulicos con diferentes porcentajes de ceniza de cuesco de palma aceitera como aditivo en la mezcla.

Siguiendo la metodología y realizando un análisis adecuado, se diseñó la dosificación para cada una de las muestras de los concretos y morteros hidráulicos con aditivo, obteniéndose la cantidad de material grueso, arena, cemento y agua. Se generaron 3 especímenes por cada uno de los porcentajes que se establecieron (0%, 5%, 10%) para morteros hidráulicos y (0%, 3%, 3.5%, 4%, 4.5% y 5%) para concretos hidráulicos.

Cada una de las series de especímenes se sometió a la prueba de compresión, estableciendo un dato que se promedió junto con las otras dos probetas para generar un único valor para cada edad. Igualmente se compararon con las probetas patrón sin aditivo y por medio de gráficos se obtuvieron las respectivas curvas de resistencia para luego evaluar la incidencia del cuesco en la resistencia a la compresión frente a la edad de cada una de las muestras.

También se realizaron ensayos de durabilidad mediante la aplicación de Fenolftaleína a los especímenes para establecer el pH presente en la muestra y un análisis químico bromatológico mediante laboratorio de los componentes del cuesco de la palma aceitera.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el consumo de materiales de construcción no convencionales está generando un impacto en el modo de vida y aumentando los problemas de la sociedad debido a la alta contaminación que estos y sus procesos de elaboración generan sobre el ambiente. El presente trabajo explorará las alternativas de solución a problemas de arquitectura y de ingeniería que se presentan en cuanto a La fabricación del cemento; un material fundamental en las obras civiles.

En la construcción se usan desechos cuyos orígenes pueden ser antrópicos o naturales. Entre los primeros se pueden contar los residuos de construcción, sobrantes de concretos, morteros, pavimentos, etc., y entre los segundos se pueden mencionar los residuos de los procesos agrícolas como la caña de azúcar, la cascarilla del café o el tema central del presente trabajo, los residuos de la palma africana que después de tratados, se utilizan en el afirmado de vías terciarias, internas o externas.

En diversos trabajos académicos se ha venido profundizando en los diversos usos que se le puedan dar al cuesco de la palma africana, con el fin de evaluar el desempeño que puede aportar en las obras civiles. En algunas de las investigaciones se han observado propiedades de resistencia que se asimilan a materiales utilizados comúnmente en obras de construcción.

Algunos de estos trabajos realizados han sido estructurados buscando una mejoría en la resistencia a la compresión del concreto. Un ejemplo es la realizada en la Universidad Cooperativa sede Villavicencio, donde los estudiantes diseñaron una mezcla de concreto con diferentes porcentajes de cuesco como agregado grueso. (Giraldo & Ruiz, 2018) Los resultados encontrados dan una mejoría en la resistencia a la compresión. También se han visto aplicaciones del cuesco en las estructuras de los pavimentos. (Becerra, 2017).

## 1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

El sector de la construcción es responsable en gran parte de la contaminación que se emite hacia el medio ambiente. Cerca del 50% de los recursos naturales se utilizan en las obras civiles, el 40% de la energía consumida en el mundo se ocupa en la industria de la construcción, además del 50% del total de los residuos totales generados. (Ramirez C. , 2011).

La construcción, siendo un pilar fundamental para el desarrollo de la sociedad, es también uno de los principales responsables de la generación de residuos, contaminación, transformación del entorno y uso considerable de energía. Estas razones no le permiten ser indiferente a la actual problemática ambiental. (Acevedo, Vásquez, & Ramírez, 2012).

Resulta evidente que, con el actual ritmo de crecimiento demográfico, a pesar de la disminución en los últimos años de la tasa de crecimiento, la población continúa creciendo año tras año a una velocidad que podría llegar a duplicarla mundialmente antes de mediados del presente siglo. Una situación en que la actual utilización de los recursos naturales y del medio ambiente suponen una disminución del potencial de dichos recursos para las generaciones futuras. Fenómenos como el cambio climático, el deterioro de la capa de ozono, la lluvia ácida, la deforestación o la pérdida de biodiversidad, parecen estar provocados por las actuales actividades industriales y económicas. (Ramirez A. , 2002).

Los principales elementos que constituyen el medio ambiente natural urbano, tales como el aire, el agua o los suelos, son modificados substancialmente por la construcción de las ciudades. Dentro de la ciudad es difícil separar los elementos aportados por la naturaleza de aquellos construidos socialmente, por lo que las relaciones ambientales están exigiendo nuevos enfoques, como la Ecología Política, que plantean justamente la necesidad de que los problemas ambientales urbanos sean abordados con conceptos integradores. (Bassett & Zimmerer, 2003).

En los últimos años los gobiernos se han propuesto radicar normas que reduzcan la contaminación ambiental como, por ejemplo: El COP25 (Conferencia de naciones unidad por el cambio climático) que se celebró en Madrid – España y que permitió evaluar de qué manera se ha avanzado en los acuerdos realizados desde el año 2016, dando como resultado un preocupante panorama en cuestión de avances por parte de las grandes potencias económicas. Para el año 2021, se celebrará el COP26 en el mes de noviembre, esta reunión busca que los líderes de los países que cuentan con más recursos económicos se proyecten a eliminar el carbón para la generación de energía y así mantener al límite de 1,5°c el calentamiento global durante el resto del siglo. (Ajit, 2021)

## 2. JUSTIFICACIÓN.

El mundo se va expandiendo y es necesario garantizar la sostenibilidad del medio ambiente frente al crecimiento económico; los combustibles fósiles como el gas natural, el petróleo y el carbón, siendo las fuentes de energía más importantes en el mundo se agotan día a día y estos recursos no renovables se vuelven escasos; queda claro que son grandes fuentes de producción de energía, pero tienden a desaparecer. (Quintero & Torres, 2019).

Los materiales como la cáscara del fruto de la palma africana (cuesco), debido a sus propiedades fisicoquímicas, disponibilidad y bajos costos de adquisición, pueden ser considerados como los residuos agrícolas más promisorios para la producción de materiales carbonosos y su implementación en aplicaciones como las celdas de combustible y dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica. (Arango, 2018).

Colombia está entre los mayores productores de palma africana en el mundo, el valor de esta planta radica en su fruto carnoso y la semilla (llamada almendra), de donde se obtienen aceites utilizados en industrias como la de biocombustibles, limpieza, cosmética y alimenticia, entre otras. Luego de extraer lo necesario para estas aplicaciones, queda como residuo el cuesco o cascarón. (Mendoza, 2014).

El cuesco de palma es un residuo que se genera en alto volumen en el país, especialmente en Urabá (Antioquia), donde los cultivos de palma de aceite han aumentado; tiene alto contenido de lignina (polímero orgánico) que aporta rigidez a materiales leñosos y por esto es muy apetecido para la transformación térmica, junto con otros residuos de cova o vegetales. (Quinchia, 2020).

La cantidad de cuesco que genera una planta extractora de aceite es muy alta, los desechos se utilizan aprovechando el componente de calor que genera para alimentar las calderas, relleno de suelos y vías, entre otros. Es importante saber que se cuenta con una alta cantidad de este elemento y se adelantan trabajos para su aprovechamiento al máximo, como por ejemplo en Ecuador donde se investiga si se puede implementar como un combustible para uso comercial. (Heredia, 2013).

Este proyecto busca investigar, evaluar y determinar si el uso de la ceniza del cuesco de la palma africana en la fabricación de morteros y concretos hidráulicos puede aportar propiedades que ayuden a elevar la resistencia de estos. Este trabajo es significativo en la medida que aporta una técnica que implementa el uso de un material no convencional, para reducir el consumo de los materiales tradicionales en las obras civiles. El desarrollo del proyecto también permite ampliar la perspectiva hacia la búsqueda de nuevos materiales amigables con el medio ambiente.

### 3. OBJETIVOS.

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL.

Determinar la incidencia del uso de la ceniza del cuesco de la palma aceitera como aditivo en los morteros y concretos hidráulicos.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Elaborar especímenes de morteros y concretos hidráulicos con distintas dosificaciones de ceniza del cuesco de la palma aceitera.

Determinar la dosificación óptima como aditivo de la ceniza del cuesco de la palma aceitera.

Realizar ensayos de caracterización de los morteros y concretos hidráulicos como: resistencia a la compresión, durabilidad, análisis químico del aditivo y evaluar los resultados obtenidos.

## 4. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1. ESTADO DEL ARTE

Incorporación del cuesco de palma de aceite africana como agregado grueso en mezclas de concreto. – Universidad Cooperativa de Colombia (Sede Villavicencio). El objetivo principal de esta investigación fue: Determinar la influencia de la incorporación del cuesco de palma africana como agregado grueso en mezclas de concreto convencional.

Se realizaron tres ensayos con diferentes porcentajes de cuesco (0%, 25% y 50%) en una mezcla convencional de concreto o comúnmente llamada (1:2:3):

#### **Diseño de mezcla:**

Las proporciones para el concreto convencional fueron; arena 144.7 Kg, grava 181.93 Kg, cemento 67.6 Kg, agua 31.71 Kg.

Para el concreto con un 25 % de cuesco las proporciones fueron los siguientes; arena 144.7 Kg, cuesco 17 Kg, grava 164.92 Kg, cemento 67.6 Kg, agua 31.71 Kg

El concreto con un 50 % de cuesco utilizaron las siguientes proporciones; arena 144.7 Kg, cuesco 34 Kg, grava 147.93 Kg, cemento 67.6 Kg, agua 31.71 Kg

Los investigadores usaron la grava y el cuesco como el agregado grueso de la mezcla de concreto.

Como resultado de esta investigación se encontró que el concreto fabricado con 25% de cuesco, arroja un resultado alto en la resistencia a la compresión comparándolos con el resto de los ensayos.

**Autores:** (Giraldo & Ruiz, 2018)

Caracterización del desecho agroindustrial de la palma de aceite “cuesco” para el mejoramiento de las capas granulares de la estructura de pavimento. Universidad militar de Nueva Granada. Como objetivo principal, la autora definió: Realizar un análisis de las características físicas del cuesco para evaluar su uso en el mejoramiento de las capas granulares en la estructura del pavimento.

Este proceso investigativo se centró en buscar el reemplazo del agregado granular para la base y subbase de la estructura del pavimento, contribuyendo en utilizar este desecho encontrado en grandes cantidades. Una vez determinada la granulometría

establecida por la norma INVIAS, se concluye que el cuesco de palma africano NO cumple con los estándares mínimos que define la norma.

**Autor:** (Becerra, 2017)

Uso del cuesco de palma africana en la fabricación de adoquines y bloques de mampostería. – Corporación universitaria de la costa (Barranquilla). Esta investigación buscó reemplazar la totalidad del agregado grueso por la implementación de cuesco de palma en la fabricación de concreto, se realizaron 30 especímenes para evaluar su comportamiento frente a pruebas de compresión. Además, en la misma investigación, se incluyó también el cuesco como agregado fino en la fabricación de adoquines y bloques para mampostería con reemplazos de 50% para adoquines y 25% para bloques.

Los resultados para el concreto fueron negativos para la resistencia registrada, ya que la redujo en un 50%, aunque el uso del cuesco disminuyó el peso en un 35% a comparación del agregado normal. Para los adoquines y los bloques de mampostería, las pruebas de resistencia resultaron mayores inclusive a las pruebas hechas sin cuesco.

**Autor:** (Buzon, 2009)

Efectos del tratamiento térmico en agregados gruesos de cáscara de palma de aceite para hormigón liviano de alta resistencia. Para este caso, el cuesco fue sometido a tratamientos térmicos con temperaturas de 60°C Y 150°C durante 30 y 60 minutos correspondientemente. Se realizaron mezclas de concreto para hallar las resistencias con la inclusión de este material de lo cual se obtuvo: la densidad disminuyó considerablemente, pero se mantuvo en los rangos correspondientes de los hormigones ligeros de alta resistencia. Además, las pruebas de compresión arrojaron datos de 49 y 52 Mpa. Un dato adicional fue que la exposición al calor elevado en el cuesco mejora la trabajabilidad de este.

**Autores:** (Yew et al.,2014)



## 4.2. MARCO TEORICO

4.2.1 La palma aceitera. La palma aceitera es un cultivo muy importante en el mundo, que puede encontrarse en estado silvestre, semisilvestre y en forma comercialmente cultivada. De todas las plantas oleaginosas, la palma aceitera es la que produce mayor rendimiento de aceite por unidad de área, superando al coco y a otras oleaginosas. El consumo de los derivados de este cultivo es reducido en algunas regiones del mundo debido al desconocimiento de las características del aceite, que es el principal producto obtenido por el proceso de la fruta. En la actualidad, se ha realizado mayor investigación en este campo y se han incrementado las áreas de siembra debido a que ha logrado demostrarse que el aceite de palma es un producto apto y útil para el consumo humano. (Ortiz & Fernandez, 1994)

Los orígenes se han ubicado, tanto en forma natural como cultivada, en una franja distribuida entre los 15 grados norte y sur del ecuador. En condiciones naturales, se pueden encontrar cerca de costas, lagos, orillas de los ríos y zonas selváticas. Es importante resaltar que la palma aceitera requiere para su desarrollo: climas húmedos, con una alta precipitación bien distribuida durante todo el año y periodos de sequía menores a 5 meses. (Ortiz & Fernandez, 1994)

En América latina las primeras semillas procedentes de Malasia fueron plantadas en el año 1920 en el jardín botánico de Lancetilla - Honduras. Para 1936 se realizaron las primeras siembras comerciales en Honduras y en el transcurso de los siguientes 15 años el cultivo llegó a la gran mayoría de países de sur América. (Ortiz & Fernandez, 1994)

A la fecha y según la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Colombia es el primer productor de aceite de palma en América, alcanzando un récord de producción de 1,6 millones de toneladas en 2018, además, el Ministerio de Agricultura de Colombia afirma que el país pasó de tener 480.816 a 537.177 hectáreas sembradas de palma de aceite entre 2014 y 2018. (Ganadero, 2019)

4.2.2 El concreto. Los orígenes del concreto se remontan a dos siglos A. de C., en Roma, cuando utilizaron mezclas de caliza calcinada, tobas volcánicas y piedras para construir algunas de las estructuras que hoy en día subsisten y conservan parte de su diseño, como el Panteón o también llamada Iglesia de Santa María de los Mártires, cuya cúpula, de 44 metros de claro, es de concreto simple; La cúpula esta aligerada por medio de casetones. (Lopez, 2003)

En Colombia se comienza a fabricar concreto desde el año 1910 junto con la creación de la primera planta del país: Cementos Samper. Fue el kiosco conmemorativo de la exposición industrial de ese año, el primero en construirse en concreto hecho en Colombia.

Las primeras obras como, por ejemplo; un edificio en la calle 24 con carrera 7 en Bogotá, el sistema de compuertas de la planta eléctrica El charquito, entre otras, fueron construidas con piedras calizas traídas desde la región de Siberia (Occidente de Bogotá). Estas materias primas fueron extraídas con herramientas básicas como el pico, la pala, la pólvora y el azadón al ser las únicas herramientas existentes en esa época. (Ruiz, 2016)

En los siguientes 20 años, la demanda de los materiales de construcción creció de manera exponencial, la alta demanda de cemento provocó que muchas plantas más abrieran sus puertas para satisfacer el mercado que tuvo un alto auge entre los gremios cementeros. (Ruiz, 2016)

4.2.3 Cuesco de palma africana. La cascarilla es de color marrón oscuro, producto de la ruptura de la nuez separando el cuesco de la almendra, tiene un alto poder calorífico, para la cual se usa en la combustión de calderas y calefactores domésticos. La almendra se obtiene de la nuez del fruto de la palma aceitera, y la cascarilla o cuesco se obtiene de la parte externa de la nuez, la almendra se extrae mediante un proceso mecánico de rompedores usando un sistema de impacto o fricción, la separación de la almendra y la cascarilla se realiza por un sistema de vacío en unas columnas. (Palmeras de puerto Wilches, 1985)

Previamente se ha acondicionado la nuez con unos rigurosos controles de temperaturas en el silo, para minimizar la humedad de la nuez y del cuesco la cual debe estar entre el 11 al 14 %; las columnas neumáticas deben estar bien calibradas para que haya una buena separación de cascarilla y almendra, las pérdidas no deben superar el 3 %, es decir, el contenido de almendra en la cascarilla no debe superar este porcentaje porque es posible que pierda poder calorífico y se presenten incrustaciones dentro del hogar de las calderas. (Palmeras de puerto Wilches, 1985)

4.2.4 Composición química del cemento. Las materias primas empleadas para la producción de Clinker deben contener Calcio (Ca), Sílice (Si), Aluminio (Al) y Hierro (Fe). Estos se encuentran en forma de óxidos en las materias primas y estos óxidos son los siguientes: óxido de calcio o cal ( $\text{CaO}$ ), dióxido de sílice o silicato ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de aluminio o aluminato ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Las fases del cemento son la alita ( $\text{C}_3\text{S}$ ), la belita ( $\text{C}_2\text{S}$ ), Celita o compuestos de aluminato ( $\text{C}_3\text{A}$ ) y la felita ( $\text{C}_4\text{AF}$ ), que es rica en ferritos y aluminatos de calcio. Cada fase aporta diferentes propiedades al cemento. (Chipatecua, 2021)

En Colombia los cementos se clasifican según la NTC 121 la cual es la adaptación de la ASTM C 1157, En la cual se clasifican los cementos hidráulicos por su desempeño. La ASTM C150 clasifica los cementos Portland por su composición química.

4.2.5 Durabilidad del concreto. La durabilidad del concreto en masa puede experimentar alteraciones como consecuencia de la acción de agentes agresivos internos o externos, los cuales se caracterizan por producir efectos nocivos que se manifiestan en forma de erosiones, fisuras, expansiones, etc. En el concreto armado la durabilidad dependerá tanto de las características del concreto y del acero como de la interrelación entre ambos.

Los factores que pueden dañar al concreto armado pueden ser físicos, químicos o biológicos. Entre los físicos se encuentran la erosión, abrasión, impacto, hielo-deshielo y las cargas; entre los químicos las aguas puras, marinas, ácidas y sulfatadas; y entre los biológicos los microorganismos, algas y moluscos. (Sanjuan & Castro, 2001).

### 4.3. MARCO NORMATIVO

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

ICONTEC es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

Para este proyecto se tuvieron en cuenta las siguientes normas:

NTC 220. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm de lado. (NTC:220, 2010).

NTC 673. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (NTC:673, 2010)

NTC 5551. Durabilidad de estructuras de concreto (NTC:5551, 2007).

INVIAS E 412 07. Elaboración y curado de muestras de concreto para ensayos de compresión y flexión. (Norma I.N.V. E-412-07, 2007)

## 5. METODOLOGÍA.

### 5.1. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE MORTERO HIDRÁULICO.

Para esta parte de la investigación se decidió realizar 27 cubos de mortero divididos en 3 categorías; con el 0 %, 5 % y 10 % de ceniza de cuesco de palma africana como aditivo a la mezcla. De acuerdo con lo anterior, se muestran las siguientes tablas con los respectivos datos de mezcla para cada categoría.

Tabla 1. Datos de mezcla para cubos de mortero sin cuesco.

<b>Datos de la mezcla de mortero (Sin cuesco)</b>			
Tipo de cemento	Portland (Tipo1)	Cantidad de agua (ml)	520
Marca del cemento	Cemex	Cantidad de arena Tamiz #40 (gr)	787,50
Diseño para mortero (H, M, S o N)	M	Cantidad de arena Tamiz #60 (gr)	630,00
Arena procedente de:	Rio chípalo – Ibagué	Cantidad de arena Tamiz #80 (gr)	157,50
Temperatura ambiente (°C)	25°	Total de arena	1575
Temperatura del agua (°C)	16°	Cantidad de cuesco (gr)	0
		Cantidad de cemento (gr)	787,5

Fuente propia.

Tabla 2. Datos de mezcla para cubos de mortero con 5% de cuesco.

<b>Datos de la mezcla de mortero (Cuesco 5%)</b>			
Tipo de cemento	Portland (Tipo1)	Cantidad de agua (ml)	520
Marca del cemento	Cemex	Cantidad de arena Tamiz #40 (gr)	787,50
Diseño para mortero (H, M, S o N)	M	Cantidad de arena Tamiz #60 (gr)	630,00
Arena procedente de:	Rio chípalo - Ibagué	Cantidad de arena Tamiz #80 (gr)	157,50
Temperatura ambiente (°C)	25°	Total de arena	1575
Temperatura del agua (°C)	16°	Cantidad de cuesco (gr)	39,37
		Cantidad de cemento (gr)	787,5

Fuente propia.

Tabla 3. Datos de mezcla para cubos de mortero con 10% de cuesco.

<b>Datos de la mezcla de mortero (Cuesco 5%)</b>			
Tipo de cemento	Portland (Tipo1)	Cantidad de agua (ml)	520
Marca del cemento	Cemex	Cantidad de arena Tamiz #40 (gr)	787,50
Diseño para mortero (H, M, S o N)	M	Cantidad de arena Tamiz #60 (gr)	630,00
Arena procedente de:	Rio chípalo - Ibagué	Cantidad de arena Tamiz #80 (gr)	157,50
Temperatura ambiente (°C)	25°	Total de arena	1575
Temperatura del agua (°C)	16°	Cantidad de cuesco (gr)	78,75
		Cantidad de cemento (gr)	787,5

Fuente propia.

Para realizar la prueba de resistencia del mortero con cuesco de palma africana, se diseñaron 3 tipos de mezcla usando las cantidades de arena, cemento y cuesco mostradas (Tablas 1, 2 y 3) ver fotografía 1; para obtener 9 cubos de 5 cm x 5 cm x 5 cm. Las normas de referencia citadas en este procedimiento: (NTC:220, 2010), las cuales corresponden a la determinación de resistencia del mortero y a los cementos, cuartos de mezclado y tanques de almacenamiento respectivamente.

Fotografía 1. Materiales de mezcla para el mortero



Fuente propia

A fin de lograr una homogenización en la granulometría, se realizó un proceso de trituración del cuesco y se introdujo al horno a 120° C. durante 24 horas para conseguir que perdiera toda la materia orgánica que este tuviera presente. Una vez pasado este tiempo se procede a pasar la ceniza por una serie de tamices y extraer la parte más fina, en este caso se utilizó lo que pasa del tamiz #100. Ver fotografía 2.

Fotografía 2. Cuesco triturado en la máquina de los ángeles y pasante tamiz #100.



Fuente propia.

Dando continuidad a la elaboración de los cubos y según lo establecido en la norma (NTC:220, 2010), se procedió a la elaboración, una vez los materiales mezclados se llenaron los cubos en dos moldes cada una de 25 mm, dando 32 golpes con el compactador en 4 etapas de 8 golpes, en cada etapa debe golpearse siguiendo una dirección perpendicular a la anterior. Ver fotografía 3.

Fotografía 3. Llenado de los cubos de mortero



Fuente propia.

Seguido esto se dejó que los cubos cumplieran su proceso de fraguado durante 24 horas una vez transcurrido este tiempo se desencofraron los cubos de las formaletas para dar inicio al proceso de curado. Ver fotografía 4.

Fotografía 4. Cubos en el proceso de curado



Fuente propia.

Una vez cumplida las edades de cada categoría se determina la resistencia a la compresión según la (NTC:220, 2010) , se coloca el cubo teniendo en cuenta que las caras sobre las que se va a realizar la presión sean las que estaban en contacto con la formaleta todo esto para asegurar que la cara sea totalmente plana (ver fotografía 5); se centra la máquina de ensayo y se comprueba que este pueda inclinarse libre en cualquier dirección.

Fotografía 5. Determinación de resistencia a la compresión de morteros.



Fuente propia.

## 5.2. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO.

Se elaboraron 54 cilindros de concreto hidráulico divididos en 6 categorías; con el 0%, 3.0 %, 3.5 %, 4.0 %, 4.5 % y 5 % de ceniza de cuesco de palma africana como aditivo a la mezcla. De acuerdo con lo anterior, se utilizó una dosificación 1:2:3 para los cilindros con las siguientes medidas.

Tabla 4 Medidas y dosificación para el molde utilizado

Cilindro		Dosificación 1:2:3 (m <sup>3</sup> )				
						Peso (gr)
Ancho (m)	0,0750	Cemento (Kg)	350	0,2319	231,9	
Alto (m)	0,1500	Arena (m <sup>3</sup> )	0,6	0,0004	583,2	
Área (m <sup>2</sup> )	0,0044	Grava (m <sup>3</sup> )	0,8	0,0006	835,0	
Volumen (m <sup>3</sup> )	0,0007	Agua (Lt)	170	0,1127	112,7	

Fuente propia



Las cantidades de cada material que se utilizó para la elaboración de cada uno de los especímenes y un consolidado del material utilizado en los 54 cilindros se muestra a continuación en las siguientes tablas:

Tabla 5 Datos de mezcla para cilindros de concreto sin cuesco

Tipo de cemento	Portland (Tipo1)	Cantidad de arena (gr)	583,20
Marca del cemento	Cemex	Cantidad de grava (gr)	835,00
Diseño para concreto	1:2:3	Cantidad de Agua (ml)	112,70
Arena procedente de:	Rio chípalo - Ibagué	Cantidad de cuesco (gr)	0
Temperatura ambiente (°C)	25°	Cantidad de cemento (gr)	232
Temperatura del agua (°C)	16°		

Fuente propia.

Tabla 6 Datos de mezcla para cilindros de concreto con 3% de cuesco

Tipo de cemento	Portland (Tipo1)	Cantidad de arena (gr)	583,20
Marca del cemento	Cemex	Cantidad de grava (gr)	835,00
Diseño para concreto	1:2:3	Cantidad de Agua (ml)	112,70
Arena procedente de:	Rio chípalo - Ibagué	Cantidad de cuesco (gr)	6,96
Temperatura ambiente (°C)	25°	Cantidad de cemento (gr)	232
Temperatura del agua (°C)	16°		

Fuente propia.

Tabla 7 Datos de mezcla para cilindros de concreto con 3,5% de cuesco

Tipo de cemento	Portland (Tipo1)	Cantidad de arena (gr)	583,20
Marca del cemento	Cemex	Cantidad de grava (gr)	835,00
Diseño para concreto	1:2:3	Cantidad de Agua (ml)	112,70
Arena procedente de:	Rio chípalo - Ibagué	Cantidad de cuesco (gr)	8,12
Temperatura ambiente (°C)	25°	Cantidad de cemento (gr)	232
Temperatura del agua (°C)	16°		

Fuente propia.

Tabla 8 Datos de mezcla para cilindros de concreto con 4% de cuesco.

Tipo de cemento	Portland (Tipo1)	Cantidad de arena (gr)	583,20
Marca del cemento	Cemex	Cantidad de grava (gr)	835,00
Diseño para concreto	1:2:3	Cantidad de Agua (ml)	112,70
Arena procedente de:	Rio chípalo - Ibagué	Cantidad de cuesco (gr)	9,28
Temperatura ambiente (°C)	25°	Cantidad de cemento (gr)	232
Temperatura del agua (°C)	16°		

Fuente propia.

Tabla 9 Datos de mezcla para cilindros de concreto con 4,5% de cuesco.

Tipo de cemento	Portland (Tipo1)	Cantidad de arena (gr)	583,20
Marca del cemento	Cemex	Cantidad de grava (gr)	835,00
Diseño para concreto	1:2:3	Cantidad de Agua (ml)	112,70
Arena procedente de:	Rio chípalo - Ibagué	Cantidad de cuesco (gr)	10,44
Temperatura ambiente (°C)	25°	Cantidad de cemento (gr)	232
Temperatura del agua (°C)	16°		

Fuente propia.

Tabla 10 Datos de mezcla para cilindros de concreto con 5% de cuesco.

Tipo de cemento	Portland (Tipo1)	Cantidad de arena (gr)	583,20
Marca del cemento	Cemex	Cantidad de grava (gr)	835,00
Diseño para concreto	1:2:3	Cantidad de Agua (ml)	112,70
Arena procedente de:	Rio chípalo - Ibagué	Cantidad de cuesco (gr)	11,6
Temperatura ambiente (°C)	25°	Cantidad de cemento (gr)	232
Temperatura del agua (°C)	16°		

Fuente propia.

La cantidad de material utilizado para la elaboración de los 54 especímenes de concreto con la adición de la ceniza de cuesco de palma africana, evidenciando el total de cada agregado empleado. Ver Tabla 11.

Tabla 11. Material utilizado para la elaboración de todos los especímenes.

Tipo de cilindro	Cantidad	Cemento (gr)	Arena (gr)	Grava (gr)	Cuesco (gr)
Estándar	9,00	2088	5248,8	7515	0
Cuesco 3%					62,64
Cuesco 3,5%					73,08
Cuesco 4%					83,52
Cuesco 4,5%					93,96
Cuesco 5%					104,4
	54,00	12528	31492,8	45090	

Fuente propia.

Con los especímenes de concreto hidráulico se utilizó el mismo proceso para la obtención de la ceniza de cuesco de palma africana como aditivo, ver fotografía 2. El proceso de elaboración de cada uno de los cilindros se llevó a cabo bajo la (Norma I.N.V. E-412-07, 2007). Una vez lista la mezcla se dio inicio a la llenada de cada uno de los moldes con concreto en dos capas, este número se definió según el diámetro del molde, cada capa fue compactada con 25 golpes, luego se golpeó 10 veces con un mazo de caucho esto con el fin de eliminar el aire que queda atrapado, se dejaron en proceso de fraguado por 24 horas. Pasado este tiempo de fraguado fueron desformaletados y se inició el proceso de curado en los tiempos establecidos, etapa importante para la adquisición de la resistencia de estas.

Cumplidas las edades de cada categoría se determinó la resistencia a la compresión según la (NTC:673, 2010) , se ubicó el bloque de apoyo sobre la mesa o platina de la máquina de ensayo directamente debajo del bloque de apoyo superior, se limpiaron las caras de apoyo de los bloques y se colocó el espécimen sobre el bloque de apoyo inferior (ver fotografía 6). Debe quedar alineado los ejes del cilindro con el centro de empuje del bloque superior. Previo al ensayo se verificó que el indicador de carga estuviera en cero.

Fotografía 6. Determinación de resistencia a la compresión en los cilindros.



Fuente propia.

De esta manera se registraron los datos de cada serie de cilindros con los porcentajes establecidos de cuesco. Lo siguiente es realizar gráficas y evaluar los resultados encontrados.

## 6. RESULTADOS.

### 6.1. RESULTADOS DE ESPECÍMENES DE MORTERO HIDRÁULICO.

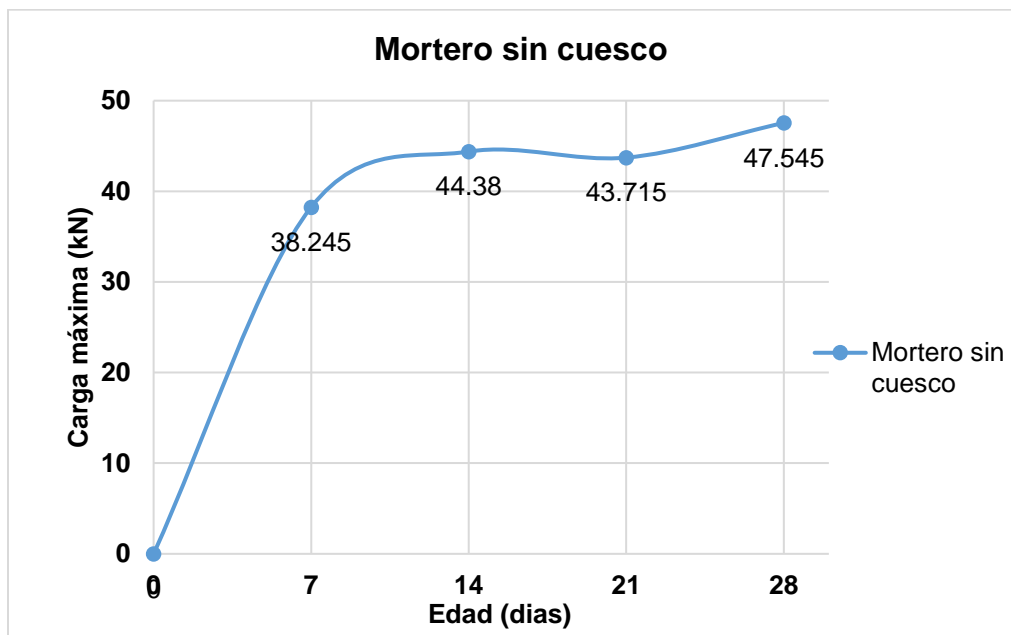
De acuerdo con la norma (NTC:220, 2010), utilizada en los ensayos de determinación para la resistencia de los morteros con los diferentes porcentajes de ceniza de cuesco de palma africana como aditivo, se obtuvieron los siguientes resultados reflejados en las tablas 12,13 y 14, con las gráficas 1, 2 y 3 respectivamente de carga máxima vs edad.

Tabla 12 Ensayo en cubos de mortero sin cuesco.

Muestra	Edad (días)	Fecha de ensayo	Carga máxima o rotura (kN)	MPa
1	7	29/08/2019	39,43	15,77
2	7	29/08/2019	37,06	14,81
3	14	05/09/2019	42,49	16,99
4	14	05/09/2019	46,27	18,51
5	21	12/09/2019	43,41	17,54
6	21	12/09/2019	44,02	17,6
7	28	19/09/2019	47,08	18,82
8	28	19/09/2019	48,01	19,2

Fuente propia.

Gráfica 1. Mortero sin cuesco carga máxima vs edad.



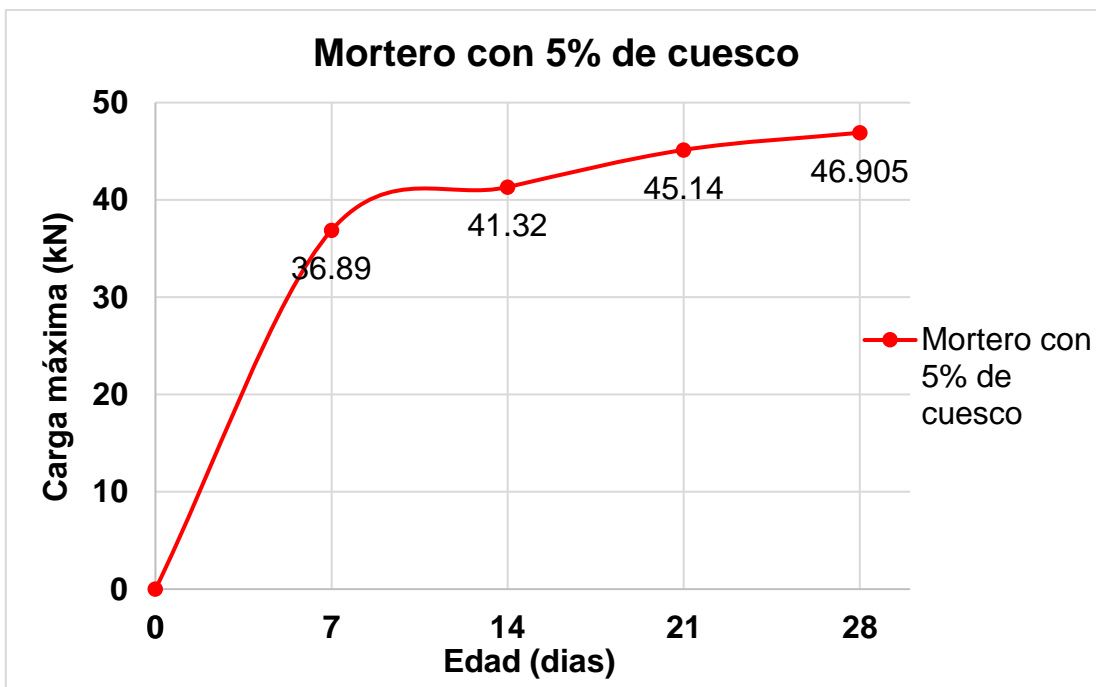
Fuente propia.

Tabla 13. Ensayo en cubos de Mortero con el 5% de cuesco.

Muestra	Edad (días)	Fecha de ensayo	Carga máxima o rotura (kN)	Mpa
1	7	02/09/2019	38,47	15,39
2	7	02/09/2019	35,31	14,12
3	14	09/09/2019	42,05	16,82
4	14	09/09/2019	40,59	16,5
5	21	16/09/2019	44,7	17,91
6	21	16/09/2019	45,58	18,23
7	28	23/09/2019	46,8	18,72
8	28	23/09/2019	47,01	18,8

Fuente propia.

Gráfica 2. Mortero con 5% de cuesco, carga máxima vs edad.



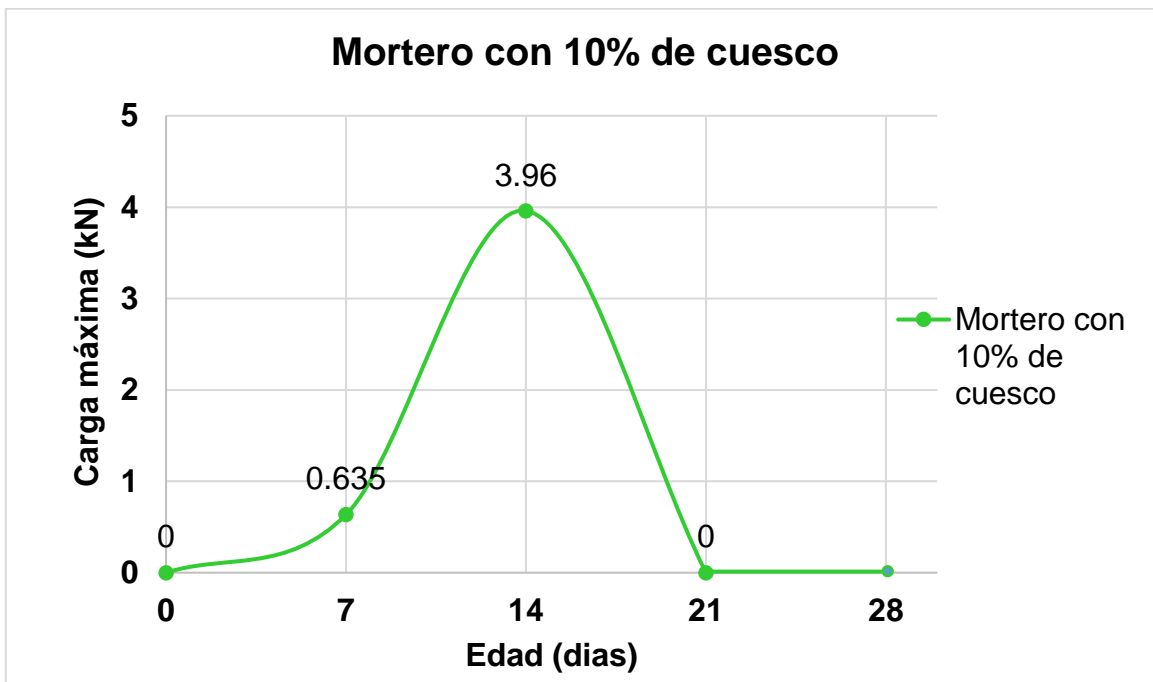
Fuente propia.

Tabla 14. Ensayo en cubos de Mortero con el 10% de cuesco

Muestra	Edad (días)	Fecha de ensayo	Carga máxima o rotura (kN)	MPa
1	7	05/09/2019	0,92	0,2
2	7	05/09/2019	0,35	0,12
3	14	12/09/2019	2,81	0,5
4	14	12/09/2019	5,11	2,04
5	21	19/09/2019	0	0
6	21	19/09/2019	0	0
7	28	26/09/2019	0	0
8	28	26/09/2019	0	0

Fuente propia.

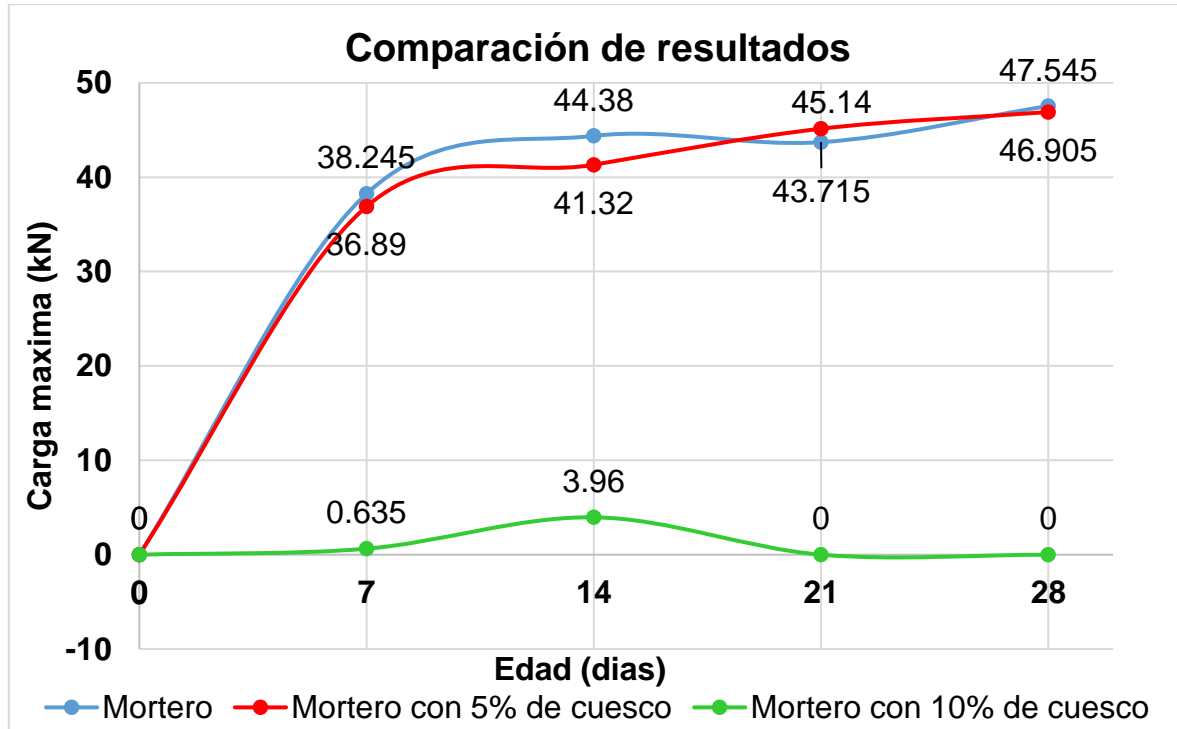
Gráfica 3. Mortero con 10% de cuesco, carga máxima vs edad.



Fuente propia.

Así mismo se elaboró una gráfica para la comparación con cada uno de los porcentajes de ceniza de cuesco de palma africana como aditivo en el concreto respecto a la carga máxima y el tiempo. Ver Gráfica 4.

Gráfica 4. Comparación de los tres especímenes de mortero



Fuente propia.

## 6.2. RESULTADOS DE ESPECÍMENES DE CONCRETO HIDRÁULICO.

Para estos especímenes según la norma (NTC:673, 2010) para ensayos de resistencia a la compresión se utilizó en cada una de las categorías que se realizaron las cuales fueron del 0 %, 3 %, 3.5 %, 4 %, 4.5 % y 5% de ceniza de cuesco de palma africana, siendo fallados a los 14, 28 y 90 días.

Se obtuvieron las tablas 15,16,17,18,19 y 20 de cada porcentaje y sus graficas correspondientes comparando la resistencia con las edades de cada cilindro.

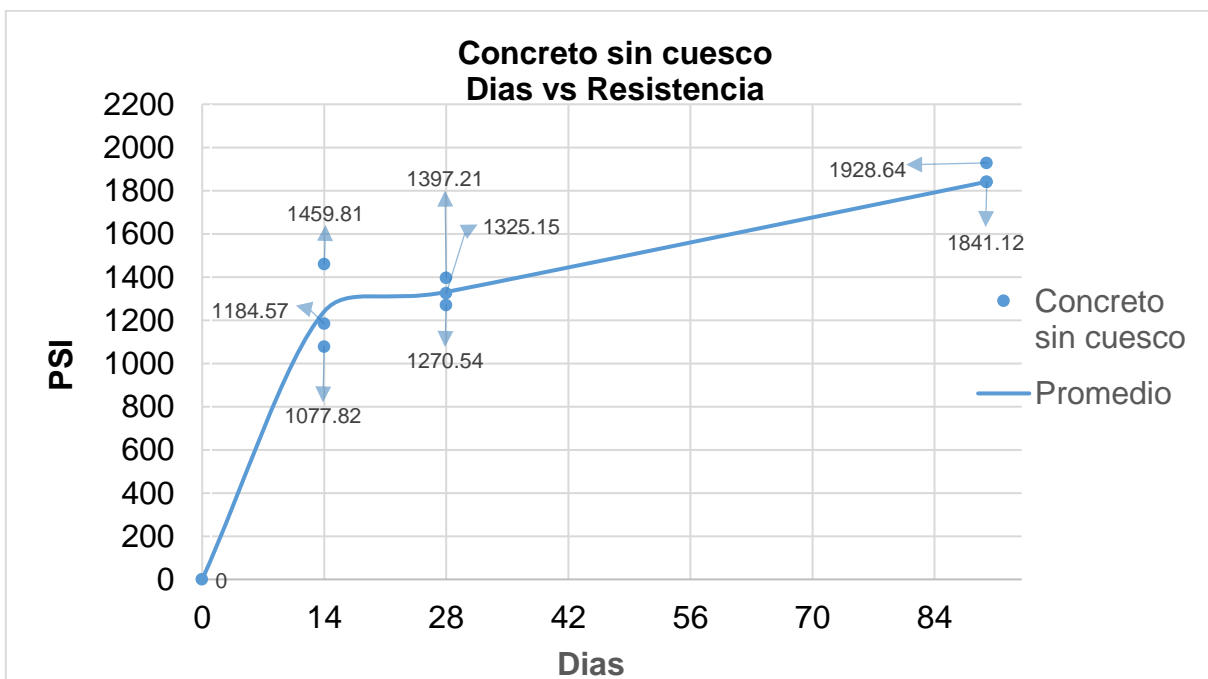


Tabla 15. Ensayo a compresión en cilindros de concreto sin cuesco

Muestra	Edad (días)	Fecha de ensayo	Diámetro	Área	Carga máxima o rotura (Lbf)	Peso (gr)	PSI (Lb/in <sup>2</sup> )	Mod. de falla
1	14	10-nov.	7,52	6,88	9890	1555	1436,61	2
2	14	10-nov.	7,49	6,83	7420	1546	1086,47	5
3	14	10-nov.	7,46	6,77	8090	1557	1194,12	5
4	28	24-nov.	7,53	6,90	9220	1559	1335,73	5
5	28	24-nov.	7,56	6,96	9670	1563	1389,83	5
6	28	24-nov.	7,54	6,92	8770	1559	1267,17	4
7	90	25-ene.	7,56	6,96	13490	1596	1938,86	4
8	90	25-ene.	7,56	6,96	12810	1596	1841,12	6
9	90	25-ene.	7,58	6,99	12810	1957	1831,42	2

Fuente propia.

Gráfica 5 Concreto sin cuesco, días vs resistencia.



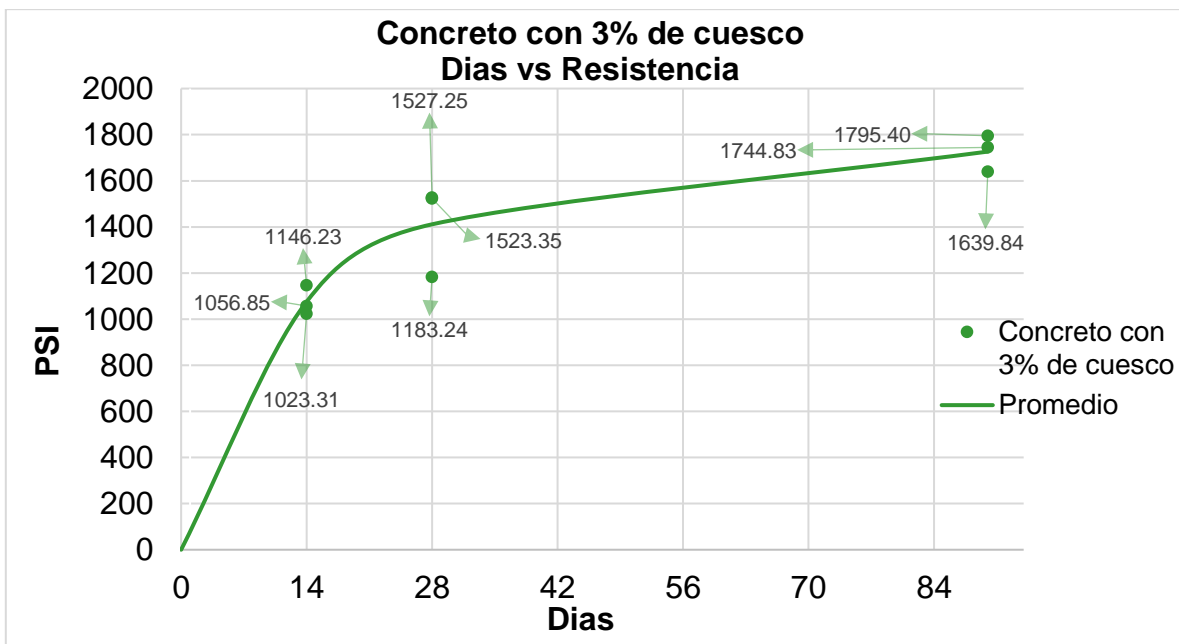
Fuente: propia.

Tabla 16 Ensayo a compresión en cilindros de concreto con 3% de cuesco.

Muestra	Edad (días)	Fecha de ensayo	Diámetro	Área	Carga máxima o rotura (Lbf)	Peso (gr)	PSI (Lb/in <sup>2</sup> )	Mod. de falla
1	14	11-nov.	7,53	6,90	7295	1548	1056,85	5
2	14	11-nov.	7,48	6,81	6970	1546	1023,31	5
3	14	11-nov.	7,51	6,87	7870	1561	1146,23	2
4	28	25-nov.	7,6	7,03	8320	1556	1183,24	5
5	28	25-nov.	7,55	6,94	10571	1563	1523,35	5
6	28	25-nov.	7,54	6,92	10570	1556	1527,25	3
7	90	26-ene.	7,58	6,99	11470	1560	1639,84	5
8	90	26-ene.	7,56	6,96	12140	1563	1744,83	6
9	90	26-ene.	7,52	6,88	12360	1565	1795,40	5

Fuente: propia.

Gráfica 6. Concreto con 3% de cuesco, días vs resistencia



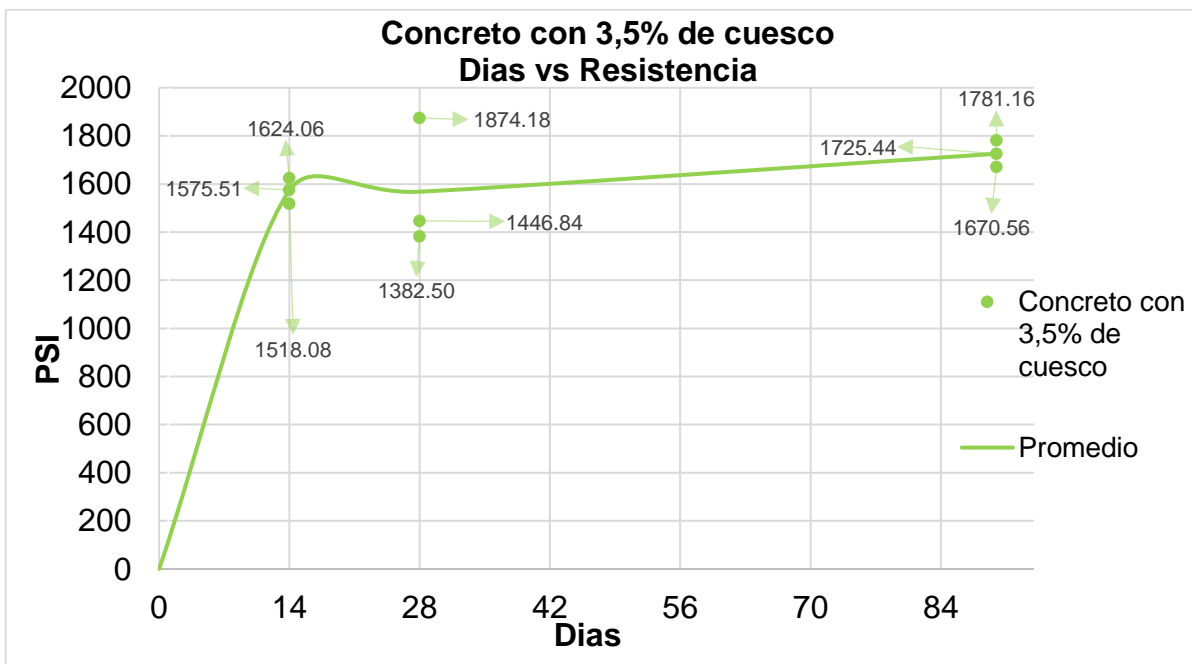
Fuente: propia

Tabla 17. Ensayo a compresión en cilindros de concreto con 3,5 % de cuesco.

Muestra	Edad (días)	Fecha de ensayo	Diámetro	Área	Carga máxima o rotura (Lbf)	Peso (gr)	PSI (Lb/in <sup>2</sup> )	Mod. de falla
1	14	17-nov.	7,58	6,99	11020	1620	1575,51	3
2	14	17-nov.	7,48	6,81	10340	1569	1518,08	6
3	14	17-nov.	7,54	6,92	11240	1596	1624,06	6
4	28	1-dic.	7,58	6,99	9670	1586	1382,50	3
5	28	1-dic.	7,56	6,96	13040	1598	1874,18	5
6	28	1-dic.	7,58	6,99	10120	1565	1446,84	6
7	90	1-feb.	7,53	6,90	11910	1567	1725,44	3
8	90	1-feb.	7,55	6,94	12360	1576	1781,16	5
9	90	1-feb.	7,51	6,87	11470	1569	1670,56	5

Fuente propia.

Gráfica 7. Concreto con 3,5% de cuesco, días vs resistencia



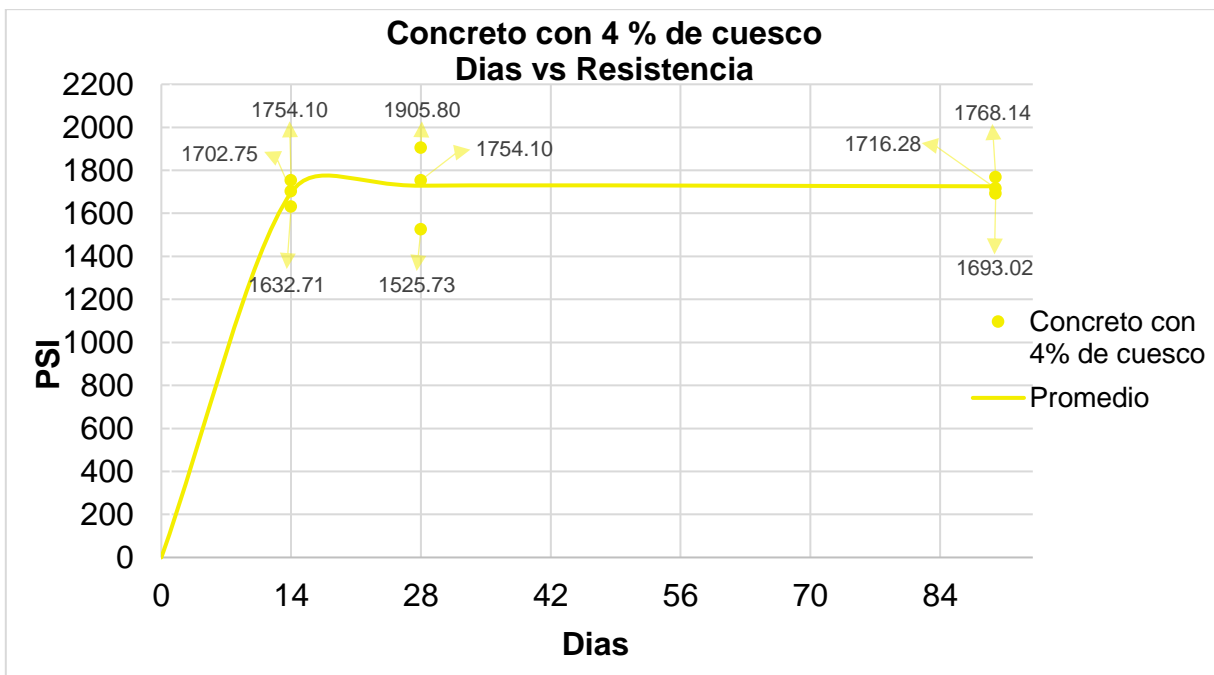
Fuente propia

Tabla 18 Ensayo a compresión en cilindros de concreto con 4 % de cuesco.

Muestra	Edad (días)	Fecha de ensayo	Diámetro	Área	Carga máxima o rotura (Lbf)	Peso (gr)	PSI (Lb/in <sup>2</sup> )	Mod. de falla
1	14	18-nov.	7,54	6,92	12140	1603	1754,10	3
2	14	18-nov.	7,52	6,88	11240	1610	1632,71	2
3	14	18-nov.	7,58	6,99	11910	1597	1702,75	4
4	28	2-dic.	7,59	7,01	10700	1616	1525,73	5
5	28	2-dic.	7,54	6,92	12140	1603	1754,10	2
6	28	2-dic.	7,56	6,96	13260	1606	1905,80	5
7	90	2-feb.	7,46	6,77	11470	1576	1693,02	6
8	90	2-feb.	7,48	6,81	11690	1583	1716,28	5
9	90	2-feb.	7,51	6,87	12140	1553	1768,14	2

Fuente propia.

Gráfica 8. Concreto con 4% de cuesco, días vs resistencia



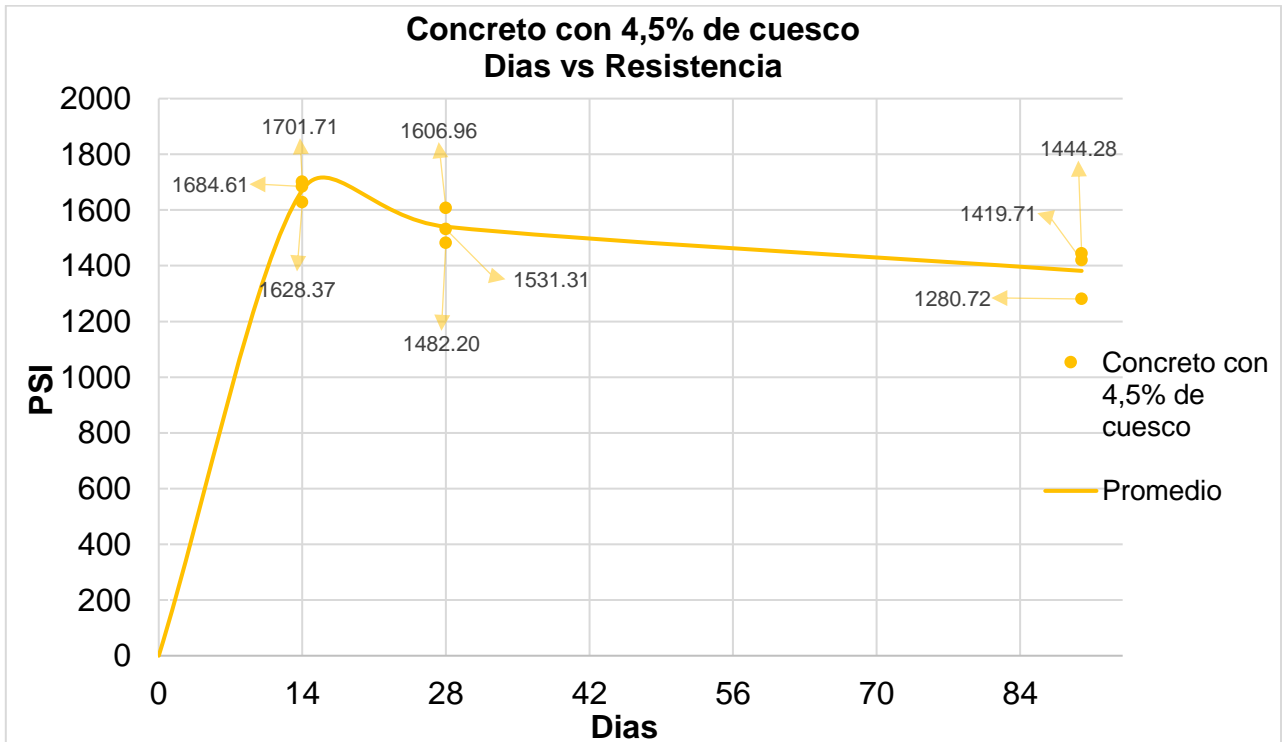
Fuente propia

Tabla 19. Ensayo a compresión en cilindros de concreto con 4,5 % de cuesco

Muestra	Edad (días)	Fecha de ensayo	Diámetro	Área	Carga máxima o rotura (Lbf)	Peso (gr)	PSI (Lb/in <sup>2</sup> )	Mod. De falla
1	14	19-nov.	7,55	6,94	11690	1583	1684,61	2
2	14	19-nov.	7,53	6,90	11240	1575	1628,37	4
3	14	19-nov.	7,56	6,96	11840	1613	1701,71	6
4	28	3-dic.	7,58	6,99	11240	1583	1606,96	3
5	28	3-dic.	7,53	6,90	10570	1586	1531,31	5
6	28	3-dic.	7,57	6,98	10340	1579	1482,20	2
7	90	3-feb.	7,48	6,81	9670	1590	1419,71	3
8	90	3-feb.	7,5	6,85	9890	1579	1444,28	5
9	90	3-feb.	7,5	6,85	8770	1573	1280,72	2

Fuente propia.

Gráfica 9. Concreto con 4,5% de cuesco, días vs resistencia



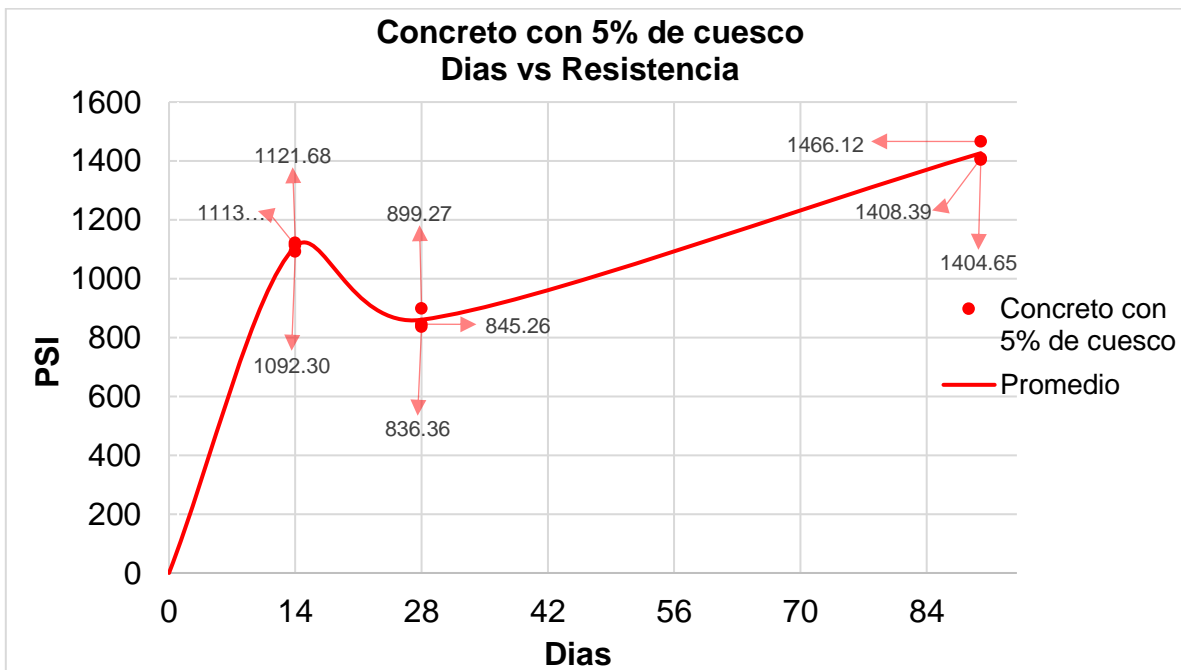
Fuente propia

Tabla 20. Ensayo a compresión en cilindros de concreto con 5 % de cuesco.

Muestra	Edad (días)	Fecha de ensayo	Diámetro	Área	Carga máxima o rotura (Lbf)	Peso (gr)	PSI (Lb/in <sup>2</sup> )	Mod. de falla
1	14	20-nov.	7,48	6,81	7640	1565	1121,68	6
2	14	20-nov.	7,51	6,87	7642	1564	1113,02	4
3	14	20-nov.	7,47	6,79	7420	1573	1092,30	2
4	28	4-dic.	7,58	6,99	5850	1554	836,36	4
5	28	4-dic.	7,58	6,99	6290	1542	899,27	2
6	28	4-dic.	7,54	6,92	5850	1554	845,26	4
7	90	4-feb.	7,52	6,88	9670	1559	1404,65	5
8	90	4-feb.	7,53	6,90	10120	1579	1466,12	5
9	90	4-feb.	7,51	6,87	9670	1553	1408,39	4

Fuente propia.

Gráfica 10. Concreto con 5% de cuesco, días vs resistencia



Fuente propia

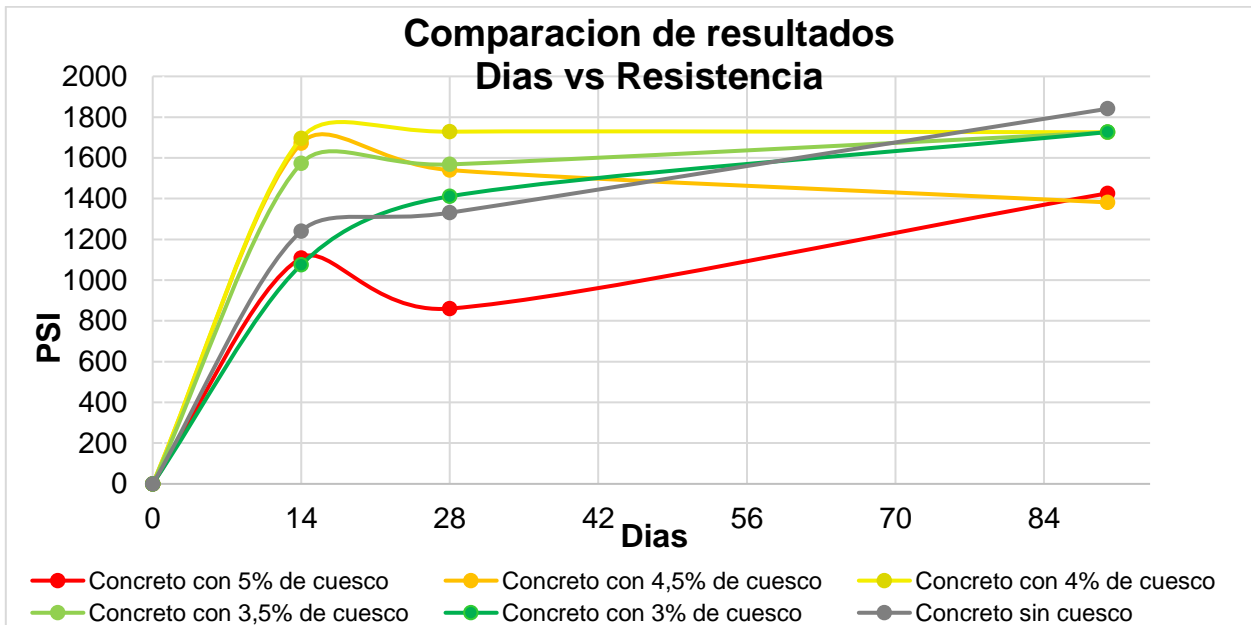
De igual manera se elaboró una tabla, realizando un promedio de su resistencia en las distintas edades de cada espécimen para graficar los resultados como se puede observar en la gráfica 11.

Tabla 21 Promedio de ensayo a compresión en los distintos especímenes.

Concreto sin cuesco		Concreto con 3% de cuesco	
días	Psi	días	Psi
14	1240,73	14	1075,46
28	1330,97	28	1411,28
90	1841,12	90	1726,69
Concreto con 3,5% de cuesco		Concreto con 4% de cuesco	
días	Psi	días	Psi
14	1572,55	14	1696,52
28	1567,84	28	1728,54
90	1725,72	90	1725,82
Concreto con 4,5% de cuesco		Concreto con 5% de cuesco	
días	Psi	días	Psi
14	1671,56	14	1109,00
28	1540,16	28	860,30
90	1381,57	90	1426,39

Fuente propia.

Gráfica 11 Comparación del promedio del ensayo a compresión en cada uno de los especímenes



Fuente propia.

### 6.3 ENSAYO DE DURABILIDAD

Para ensayos de durabilidad se utilizó fenolftaleína, que a partir de un análisis visual se pudieron notar las zonas de carbonatación en el concreto, donde no se torne a un color rosado es que existe carbonatación en el concreto. Ver fotografía 7.

Fotografía 7. Ensayo de durabilidad.



Fuente propia.

### 6.4 ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CENIZA

Para verificar la incidencia de la ceniza y sus componentes en la mezcla de los morteros y concretos, se llevó la muestra al laboratorio de Biología de la Universidad del Tolima para que se le realizara el análisis químico de la misma.

En la tabla 21 se muestra el resultado suministrado por el Laboratorio Laserex, encargado de hacer los ensayos, dentro del cual se puede resaltar lo siguiente:

La presencia de nitrógeno en cantidades pequeñas, (0.89 %) lo que puede significar que la temperatura de calcinación no fue la suficiente para evaporar la presencia de la materia orgánica.

El calcio presentó un 1.60 %. Es el componente principal del cemento. Las propiedades mecánicas del cemento aumentan a mayor cantidad de calcio. Aunque la cal libre, arriba de ciertos límites, perjudica la estabilidad del volumen.



La presencia de sodio fue de 336 mg/kg. Los óxidos de sodio y de potasio (álcalis) son fundentes del cemento y proveen alcalinidad al concreto, lo que ayuda en la durabilidad y protección al acero. Además, son acelerantes del fraguado.

El hierro tuvo una presencia de 523.78 mg/kg. El óxido de hierro es un fundente enérgico y junto con la alúmina facilita la producción comercial de cemento con alto porcentaje de cal sin tener cal libre.

El manganeso presentó una cantidad de 84.89 mg/kg.

Estos minerales, entre otros, pueden presentar incidencias positivas o negativas en las mezclas ensayadas.

La primera consideración tiene que ver con la temperatura de calcinación. Al ser muy baja (200 °C) no permite la liberación de elementos constitutivos de Materia orgánica. La presencia de nitrógeno y posiblemente carbono, representa un grave problema para el fraguado y endurecimiento del concreto.

Tabla 22. Resultados del análisis químico de la ceniza

MINERAL	UNIDAD	
Fosforo	%	0.31
Azufre	%	0.05
Nitrógeno	%	0.89
Calcio	%	1.60
Magnesio	%	0.10
Potasio	%	1.38
Zinc	mg/Kg	29.03
Boro	mg/Kg	42.95
Sodio	mg/Kg	336
Hierro	mg/Kg	523.78
Manganeso	mg/Kg	84.89
Cobre	mg/Kg	57.05

## 7. CONCLUSIONES.

Mediante las gráficas de resistencia a la compresión frente a la edad, se pudo apreciar que los porcentajes alrededor del 3% grafican una tendencia similar a la curva del concreto sin cuesco. Hay que tener en cuenta que un valor muy alto de cuesco genera una reacción negativa en la mezcla, esto se confirmó cuando se realizaron las pruebas con los cubos de mortero con el 10% de ceniza de cuesco de palma africana.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba a la compresión de los cilindros de concreto, se pudo evidenciar que la dosificación óptima de aditivo de ceniza de cuesco de palma africana se encuentra entre el 3 % y 3,5% debido a que el pasar de los días tiende a incrementar su resistencia.

El uso de ceniza de cuesco de palma africana como aditivo para el concreto aporta una buena característica en cuanto a la presencia de carbonatación, ya que no lo convierte en un concreto ácido, es decir que al ser utilizado con acero de refuerzo este no presentara corrosión para debilitarlo.

En el análisis químico que se le realizó a la ceniza se encontró que hay presencia de nitrógeno lo cual es un indicio de presencia de materia orgánica en la ceniza de cuesco de palma africana. Es representativo de la falta de temperatura en el proceso de calcinación que fue menor a los 800 °C, necesarios para la evaporación del carbono y los elementos orgánicos residuales en la ceniza.

La durabilidad del concreto está directamente ligada a la ausencia o presencia de acidez en los agregados y aditivos. Mediante el ensayo de la fenolftaleína se comprobó que los morteros y concretos no presentaron acidez y por el contrario se mostraron alcalinos en su totalidad.

La ceniza del cuesco de palma aceitera representa una gran posibilidad para la adición en concretos y morteros como aditivo para el aumento de la resistencia a la compresión. Esta característica representa la posibilidad de fabricar concretos más económicos al realizar la disminución de cemento en la mezcla y disminuir los costos económicos y ambientales.

## 8. RECOMENDACIONES.

La investigación puede profundizarse más evaluando los componentes químicos que contiene las cenizas de cuesco. Al comparar los valores que se hallarían con los que tiene el cemento, se podrían dar conclusiones más precisas de por qué se aumentaría o disminuiría la resistencia de los especímenes. Las reacciones químicas que se presenten dentro de la mezcla son clave para la resistencia en cada edad del concreto, pues en cada segmento (14, 28 y 90 días) se marcan tendencias de crecimiento diferente.

Se recomienda para las investigaciones posteriores, manejar una temperatura más alta al momento de eliminar la materia orgánica del cuesco de palma africana, ya que a 120° C. durante 24 horas aún se encuentra presencia de materia orgánica en el aditivo. La temperatura se debe llevar a por lo menos 800 °C.

Los ensayos realizados al concreto permiten su utilización en obras no estructurales, por ejemplo, en la fabricación de adoquines y en mezclas para andenes ya que se requiere más profundización para evaluar su comportamiento en concretos estructurales.

## BIBLIOGRAFÍA

Acevedo, H., Vásquez, A., & Ramírez, D. A. (2012). *Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia*. Revista Gestión y Ambiente UNAL. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/41521/30825-111602-1-PB.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Ajit, N. (2021). *Crisis climática: ¿por qué es clave la COP26?*. Deutsche Welle. Obtenido de <https://www.dw.com/es/crisis-clim%C3%A1tica-por-qu%C3%A9-es-clave-la-cop26/a-59541984>

Arango, D. (2018). *Los materiales como el endocarpio del fruto del café (cisco) y la cáscara del fruto de la palma*. Obtenido de: Universidad Pontificia Bolivariana <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4522/Obtenci%C3%B3n%20de%20carbones%20activados%20a%20partir%20del%20cisco%20de%20caf%C3%A9...pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bassett, T. J., & Zimmerer, K. S. (2003). *Political Ecology*. Obtenido de An Integrative Approach to Geography and Environment-Development Studies: <https://www.routledge.com/Political-Ecology-An-Integrative-Approach-to-Geography-and-Environment-Development/Bassett-Zimmerer/p/book/9781572309166>

BBC News. (2019) *COP25: 3 claves del polémico nuevo acuerdo por el clima (y por qué dicen que fracasó)*. BBC News. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-50800493>

Becerra, L. (2017). *Caracterización del desecho agroindustrial de la palma de aceite “cuesco” para el mejoramiento de las capas granulares de la estructura de pavimento*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Buzon, J. (2009). *Uso del Cuesco de la Palma Africana en la fabricación de Adoquines y Bloques de Mampostería*. Barranquilla: Corporación Universitaria de la Costa, CUC. Obtenido de Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions.: [http://www.laccei.org/LACCEI2009-Venezuela/Papers/EI1202\\_BuzonOjeda.pdf](http://www.laccei.org/LACCEI2009-Venezuela/Papers/EI1202_BuzonOjeda.pdf)

Chipatecua, L. (2021). *Cemento ARGOS*. Obtenido de 360 en concretos: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/191cu193l-es-la-composici211n-qu205mica-del-cemento-y-c211mo-afecta-sus-propiedades>

Ganadero, C. (2019). *5 cosas que no sabías del aceite de palma colombiano*. Agronet (MINCULTURA). Obtenido de <https://www.contextoganadero.com/agricultura/5-cosas-que-no-sabias-del-aceite-de-palma-colombiano>

Giraldo, C., & Ruiz, F. (2018). *Incorporación del cuesco de palmade aceite africana como agregado grueso en mezclas de concreto*. Villavicencio: Universidad Cooperativa de Colombia.

Heredia, M. (2013). *Cuesco de palma africana, un nuevo combustible para uso*. Aveiro, Portugal. Obtenido de Departamento de Ambiente e Ordenamiento, Universidade de Aveiro,: [https://www.researchgate.net/profile/Mario-Salgado-2/publication/316844319\\_Cuesco\\_de\\_palma\\_africana\\_un\\_nuevo\\_combustible\\_para\\_uso\\_comercial\\_en\\_Ecuador\\_analisis\\_economico\\_y\\_evidencia\\_experimental/links/59133c80aca27200fe4b323e/Cuesco-de-palma-africana-un-n](https://www.researchgate.net/profile/Mario-Salgado-2/publication/316844319_Cuesco_de_palma_africana_un_nuevo_combustible_para_uso_comercial_en_Ecuador_analisis_economico_y_evidencia_experimental/links/59133c80aca27200fe4b323e/Cuesco-de-palma-africana-un-n)

Lopez, L. G. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales (Colombia) : Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales .

Mendoza, D. S. (2014). Residuos de palma africana purifican aire y agua. *Periodico Universidad Nacional de Colombia*, pág. 15.

Norma I.N.V. E-412-07. (2007). *Elaboración y curado en el laboratorio de muestras de concreto para ensayos de compresión y flexión*.

NTC:220. (2010). *Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50mm ó 50,8 mm de lado*. Bogota, D.C: Icontec.

NTC:5551. (2007). *Durabilidad de estructuras de concreto*. Bogotá, D.C: Icontec.

NTC:673. (2010). *Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Bogota, D.C: Icontec.

Ortiz, R., & Fernandez, O. (1994). *El cultivo de la palma aceitera*. San Jose - Costa Rica: Universidad Estatal y a distancia. Obtenido de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xZkO8yiPgf0C&oi=fnd&pg=PR5&dq=palma+aceitera&ots=1ICziL1bsv&sig=nEszHMrovS\\_R8JuezoiFQ3BeMII#v=onepage&q=palma%20aceitera&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xZkO8yiPgf0C&oi=fnd&pg=PR5&dq=palma+aceitera&ots=1ICziL1bsv&sig=nEszHMrovS_R8JuezoiFQ3BeMII#v=onepage&q=palma%20aceitera&f=false)

Palmeras de puerto Wilches. (2015). *Cascarilla – Palmeras de Puerto Wilches*. Obtenido de Palmeras de Puerto Wilches S.A: <https://www.palmwil.com/cascarilla/>

Quinchia, A. (2020). *Residuos de palma africana se aprovecharían como biofertilizante*. Obtenido de Agronet MinCultura:

<https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Residuos-de-palma-africana-se-aprovechar%C3%ADan-como-biofertilizante.aspx>

Quintero, L., & Torres, C. (2019). *Análisis de residuos sólidos de palma africana, como alternativa de aprovechamiento de energías renovables en el departamento del Cesar-Colombia*. Ingenierías USB-MED, 9.

Ramirez, A. (2002). *Física y sociedad*. Obtenido de La construcción sostenible: [https://www.cofis.es/pdf/fys/fys13/fys13\\_30-33.pdf](https://www.cofis.es/pdf/fys/fys13/fys13_30-33.pdf)

Ramirez, C. (2011). *¿Por qué contamina tanto la industria de la construcción?* Obtenido de Arquitectura, Tecnología y Medio Ambiente: <https://arquitecturamexico.wordpress.com/2011/11/08/%C2%BFpor-que-contamina-tanto-la-industria-de-la-construccion/>

Ruiz, S. M. (2016). *El surgimiento de la fábrica de cementos del valle y su impacto en las transformaciones que se dieron en el desarrollo económico y empresarial de la región 1938 a 1971*. Obtenido de Universidad Del Valle: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/10067/CB-0557914.pdf?sequence=1>




Sanjuan, M. Á., & Castro, P. (2001). *Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto*. México, D.F.: Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, A.C.

United Nations. (2018). *¿Qué es el Acuerdo de París?* Obtenido de United Nations Climate Change: <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/que-es-el-acuerdo-de-paris>

Yew, M. K., Mahmud, H. B., Ang, B. C., & Yew, M. C. (2014). *Efectos del tratamiento térmico en agregados gruesos de cáscara de palma aceitera para hormigón ligero de alta resistencia*. *Materiales en Ingeniería*, 54, 702–707.

## ANEXOS

### Anexo A. Análisis químico y bromatológico de la ceniza

	<b>SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD</b>		Código: PS-P04-F07	
	<b>REPORTE RESULTADOS ANÁLISIS QUÍMICO BROMATOLOGICOS- FOLIARES Y OTROS- LASEREX</b>		Versión: 04	
USUARIO (persona o entidad)		OSCAR HERNAN CARDONA		
FECHA DRECEPCION		FECHA DE MUESTREO		FECHA DE ENTREGA
22/04/2021		1/04/2021		20/05/2021
TIPO DE ANALISIS		VEREDA	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO
MINERALES		----	IBAGUE	TOLIMA
N° CONSECUTIVO		282		OBSERVACIONES
IDENTIFICACION		CENIZAS		---
PUNTO DE MUESTREO		----		
PARÁMETROS	UNIDADES	282	MÉTODO ANALÍTICO	
Humedad	%	7,93	Gravimétrico	
Materia seca	%	92,07	Gravimétrico	
Ceniza	%	---	Gravimétrico	
Extracto Etéreo	%	---	Gravimétrico	
Nitrógeno	%	0,89	Kjeldalh	
Proteína cruda	%	---	Kjeldalh	
Fibra bruta	%	---	Gravimétrico	
Calorías	Kcal/100 g	---	Cálculo Teorico	
Nitritos	mg/Kg	---	Espectrofotométrico/Uv-Vis	
CaCO <sub>3</sub>	%	---	Gravimétrico	
CaO	%	---	Gravimétrico	
Calcio	%	1,60	Gravimétrico	
Magnesio	%	0,10	Espectrofotométrico/AA	
Sodio	mg/Kg	336,00	Espectrofotométrico/AA	
Potasio	%	1,38	Espectrofotométrico/AA	
Hierro	mg/Kg	523,78	Espectrofotométrico/AA	
Cobre	mg/Kg	57,05	Espectrofotométrico/AA	
Manganeso	mg/Kg	84,89	Espectrofotométrico/AA	
Zinc	mg/Kg	29,03	Espectrofotométrico/AA	
Boro	mg/Kg	42,95	Espectrofotométrico/Uv-Vis	
Fósforo	%	0,31	Espectrofotométrico/Uv-Vis	
Azufre	%	0,05	Espectrofotométrico/Uv-Vis	
Observaciones :				
1. Los resultados son reportados en base seca.				
2. Los resultados encontrados son válidos únicamente para la muestra analizada. La misma fue tomada por personas ajenas al laboratorio.				
3. LASEREX no se hace responsable de la interpretación de los resultados ni de la forma como se proceda con ellos.				
Certificados bajo las normas: ISO 9001:2008 SC 6996 - 2 Y GP1000: 2009 GP 168 - 2				
		FIRMA:	 <b>DIRECTOR LASEREX</b> LUIS OVEIMAR BARBOSA JAIMES PQ-2316 2771212 EXT 9359	
		NOMBRE:		
		MAT. PROF:		
		TELEFAX:		
Fecha Versión 04: 01-09-2014				

Fuente: Laboratorio Laserex, 2021