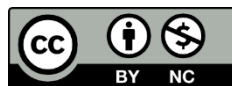


**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO
UTILIZANDO EL CUESCO PROVENIENTE DE LOS RESIDUOS DE FRUTO FRESCO
DE LA PALMA AFRICANA Y EL CONCRETO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN
Y DEMOLICIÓN EN OBRAS CIVILES (RCD)**



Por:
Brayan Edilson García Velásquez
Luis Miguel Díaz Morales



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2019**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO
UTILIZANDO EL CUESCO PROVENIENTE DE LOS RESIDUOS DE FRUTO FRESCO
DE LA PALMA AFRICANA Y EL CONCRETO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN
Y DEMOLICIÓN EN OBRAS CIVILES (RCD)**



Por:
Brayan Edilson García Velásquez
Luis Miguel Díaz Morales

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de
ingeniero civil

Aprobado por:
Ing. Eps. Erika Lorena Becerra Becerra
Director

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2019**

AUTORIDADES ACADÉMICAS

P. José Gabriel Mesa Angulo, O. P.
Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.
Vicerrector Académico General

P. José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.
Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Jhon Jairo Gil Peláez, Ph.D.
Decano Facultad de Ingeniería Civil

Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto utilizando el cuesco proveniente de los residuos de fruto fresco de la palma africana y el concreto de residuos de construcción y demolición en obras civiles (RCD).

Nota de aceptación

ING. JHON JAIRO GIL PELÁEZ
Decano Facultad Ingeniería Civil

Erika Lorena Becerra Becerra
Director Trabajo de Grado

Alexander Solarte Benavides
Jurado

Villavicencio, 19 de diciembre del 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser sus hijos, son los mejores padres.

A nuestros hermanos por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por guiarnos a lo largo de nuestra vida, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a nuestros padres: Pedro García y Lilia Velásquez y, Fredy Bayardo Díaz y Martha Maritza Morales, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, valores, por los consejos y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la Universidad Santo Tomas de Villavicencio sede de aguas claras, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, a la ingeniera Erika Lorena Becerra Becerra directora de nuestro proyecto de investigación quien ha guiado con paciencia y rectitud este trabajo.

RESUMEN

La investigación planteo el uso del concreto y del cuesco (endocarpio) del fruto de la palma africana procesada en los llanos orientales y del concreto de residuos de construcción y demolición, como suplemento en diferentes porcentajes en el agregado grueso de la mezcla de concreto, con el fin de evaluar la resistencia a la compresión. Los datos se obtuvieron experimentalmente a través de ensayos de laboratorios, establecidos por las normas técnicas colombianas (NTC).

En este proceso se elaboraron ciento cinco (105) cilindros de concreto, así: 15 cilindros con materiales convencionales, noventa (90) cilindros que se dividirán en dos partes: el 50% llevara material de residuo de fruto fresco y 50% material concreto de RCD; cada parte se subdivide en tres (3) fracciones iguales, sustituyendo el agregado grueso en porcentajes de 10%, 20% y 30% de material reciclado.

Para la investigación se desarrollaron ensayos donde se fallaron los especímenes a las edades de 7, 14 y 28 días, que permitieron el análisis de los resultados, siendo estos favorables en los valores de resistencia, obtenidos en la mayoría de las variaciones, como se evidencia en contenido de este documento.

Palabras clave: Concreto, residuos, resistencia, compresión, endocarpio.

ABSTRACT

The research proposed the use of concrete and the (endocarp) hull of the fruit of the African palm processed in the eastern plains and of the concrete of construction and demolition waste, as a supplement in different percentages in the coarse aggregate of the concrete mixture, with in order to evaluate the compressive strength. The data was obtained experimentally through laboratory tests, established by Colombian technical standards (NTC).

In this process one hundred five (105) concrete cylinders are calculated, as follows: 15 cylinders with specific materials, ninety (90) cylinders that are divided into two parts: 50% carry fresh fruit waste material and 50% concrete material RCD; Each part is subdivided into three (3) equal fractions, replacing the coarse aggregate in percentages of 10%, 20% and 30% recycled material.

For the investigation trials were developed where the examples were failed at the ages of 7, 14 and 28 days, which allowed the analysis of the results, these being favorable in the resistance values, specific in most of the variations, as evidenced in content of this document.

Keywords: Concrete, waste, resistance, endocarp, compression.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	14
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
2.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
3.	JUSTIFICACIÓN.....	17
4.	OBJETIVOS.....	18
4.1.	OBJETIVO GENERAL	18
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
5.	ALCANCE.....	19
6.	MARCO DE REFERENCIA	20
6.1.	MARCO TEÓRICO	20
6.1.1.	Materiales Reciclados	20
6.1.2.	Generación de concreto de residuos de construcción y demolición.....	22
6.1.3.	Método para dosificación de mezcla	24
6.2.	MARCO CONCEPTUAL	26
6.2.1.	Resistencia del concreto	26
6.2.2.	Propiedades de los materiales	26
6.2.3.	Residuos de Fruto Fresco de Palma africana	27
6.2.4.	Concreto de residuos de construcción y demolición (RCD)	27
6.1.	ESTADO DEL ARTE.....	27
6.2.	MARCO NORMATIVO.....	28
6.3.	MARCO GEOGRÁFICO	30
7.	EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA	31
8.	METODOLOGÍA	32
8.1.	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS	32
8.1.1.	Recolección de información	32
8.1.2.	Identificar y definir el problema	32
8.1.3.	Planteamiento y estructuración de la investigación.....	32
8.1.4.	Ejecución.....	33
8.1.5.	Análisis de resultados y elaboración de documento final	33
8.2.	POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	33
8.2.1.	Recolección de las muestras del concreto de RCD	33
8.2.2.	Recolección de muestras del cuesco	34
9.	DISEÑO DE MEZCLA.....	35
9.1.	GRANULOMETRÍA.....	35
9.2.	DISEÑO DE MEZCLA.....	40
9.2.1.	Elección del tamaño máximo nominal (TMN).....	40
9.2.2.	Estimación del contenido de aire	40
9.2.3.	Estimación de la cantidad de agua de mezclado (a)	40
9.2.4.	Elección de la relación agua/cemento (a/c).....	41
9.2.5.	Cálculo del contenido de cemento	41

9.2.6.	Estimación del contenido de grava	42
9.2.7.	Estimación del contenido de arena	42
9.2.8.	fabricación de cilindros.....	43
9.3.	ALMACENAMIENTO DEL MATERIAL	43
9.4.	MEZCLA DEL MATERIAL	44
9.5.	LLENADO DE MOLDES	44
9.6.	CURADO	45
10.	FALLA DE CILINDROS	46
10.1.	CARACTERIZACION DE LOS CILINDROS	46
10.1.1.	Peso de los cilindros con residuos de cuesco y RCD	46
10.2.	ENSAYO DESTRUCTIVO	48
10.2.1.	Ensayo destructivo de concreto convencional	48
10.2.2.	Ensayo destructivo CUESCO	49
10.2.3.	Ensayo destructivo concreto de RCD	51
11.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
11.1.	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DE RCD.....	53
11.2.	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN A LA RESISTENCIA DE CUESCO	53
11.3.	COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMRESION DEL CUESCO Y RCD FRENTE AL CONCRETA REFERENCIA.....	54
12.	RESULTADOS E IMPACTOS	56
12.1.	RESULTADOS ESPERADOS	56
12.2.	IMPACTOS	57
13.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	58
13.1.	CONCLUSIONES	58
13.2.	TRABAJOS FUTUROS.....	58
	BIBLIOGRAFÍA	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 6.1. Porcentaje de siembre de palma africana en Colombia	21
Tabla 6.2. Resistencia promedio cuando no hay datos disponibles	24
Tabla 6.3. Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción.	24
Tabla 6.4. Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación a/c.	25
Tabla 6.5 Estado del arte.	27
Tabla 6.6 normatividad.	28
Tabla 8.1 Número de muestras por material	34
Tabla 9.1. Resultados obtenidos de granulometría (grava).....	36
Tabla 9.2. Resultados obtenidos de granulometría (arena)	37
Tabla 9.3. Resultados obtenidos de granulometría (concreto de RCD)	38
Tabla 9.4. Resultados obtenidos de granulometría (Cuesco)	39
Tabla 9.5. Valores de entrada	40
Tabla 9.6. Agua en kg/m ³ de concreto para los TMN del agregado indicados	41
Tabla 9.7. Volumen de agregado grueso secado en el horno por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino.....	42
Tabla 10.1. Peso promedio del concreto con adición de concreto de RCD ...	46
Tabla 10.2. Peso promedio del concreto con adición de cuesco	47
Tabla 10.3. Ensayo destructivo concreto convencional a los 7 días.	48
Tabla 10.4. Ensayo destructivo concreto convencional a los 14 días.	48
Tabla 10.5. Ensayo destructivo concreto convencional a los 28 días.	49
Tabla 10.6. Ensayo destructivo CUESCO 10% 7días.	49
Tabla 10.7. Ensayo destructivo CUESCO 10% 14días.	50
Tabla 10.8. Ensayo destructivo CUESCO 10% 28días.	50
Tabla 10.9. Ensayo destructivo CUESCO 20% 7días.	50
Tabla 10.10. Ensayo destructivo CUESCO 20% 14días.	50
Tabla 10.11. Ensayo destructivo CUESCO 20% 28días.	50
Tabla 10.12. Ensayo destructivo CUESCO 30% 7días.	50
Tabla 10.13. Ensayo destructivo CUESCO 30% 14días.	50
Tabla 10.14. Ensayo destructivo CUESCO 30% 28días.	51
Tabla 10.15. Ensayo destructivo concreto de RCD 10% 7 días.	51
Tabla 10.16. Ensayo destructivo concreto de RCD 10% 14 días.	51
Tabla 10.17. Ensayo destructivo concreto de RCD 10% 28 días.	51
Tabla 10.18. Ensayo destructivo concreto de RCD 20% 7 días.	51
Tabla 10.19. Ensayo destructivo concreto de RCD 20% 14 días.	51
Tabla 10.20. Ensayo destructivo concreto de RCD 20% 28 días.	51
Tabla 10.21. Ensayo destructivo concreto de RCD 30% 7 días.	52
Tabla 10.22. Ensayo destructivo concreto de RCD 30% 14 días.	52
Tabla 10.23. Ensayo destructivo concreto de RCD 30% 28 días.	52
Tabla 11.1 Ensayo destructivo concreto de RCD resistencia promedio	53

Tabla 12.1.Resultados	56
Tabla 12.2. Impactos.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 6.1. Municipios de Villavicencio y San Carlos de Guaroa	30
Figura 9.1 Curva granulométrica – Grava	36
Figura 9.2. Curva granulométrica – Arena	37
Figura 9.3. Curva granulométrica –RCD	38
Figura 9.4. Curva granulométrica – Cuesco	39
Figura 9.5. Material almacenado para la mezcla	43
Figura 9.6. Mezcla de los materiales	44
Figura 9.7. Cilindros fundidos	45
Figura 9.8. curado de los especímenes.	45
Figura 10. Peso promedio del concreto con adicción de concreto de RCD	46
Figura 11 Peso promedio del concreto con adicción de cuesco	47
Figura 10.3. Ensayo destructivo concreto convencional.	48
Figura 10.4. Ensayo destructivo de cuesco y concreto de RCD	49
Figura 14. Comparación de la resistencia a la compresión	55

1. INTRODUCCIÓN

El continuo crecimiento de la población ha generado un aumento en la escala de las construcciones y por ende en los materiales que se utilizan. La generación de esta cantidad de materiales produce contaminación, causando daños irreversibles al planeta, contando cada vez con menos recursos, por ende, es muy importante considerar el uso de materiales no convencionales para la construcción.

El concreto es uno de los materiales más utilizados, el cual se conforma por material cementante, agregado fino y agregado grueso. Lograr reducir la cantidad de uno de estos materiales mediante la implementación de materiales no convencionales obtenidos a partir de la extracción de residuos generaría una reducción en el impacto de la construcción.

Los escombros de las construcciones generalmente son desechados sin darle un aprovechamiento adecuado en nuevos usos. Siendo los residuos de construcción y demolición (RCD) una alternativa para mitigar la contaminación, generada por acopios ilegales sobre los terrenos baldíos de la ciudad de Villavicencio.

El departamento del Meta se ve afectado por la producción masiva de palma africana, pagando costos ambientales considerables en vista a que el cuesco (residuo que resulta del proceso de explotación de aceite del fruto de palma africana), no se aprovecha racionalmente. Ante las pocas alternativas de aprovechamiento la mayor parte termina acopiado como desecho o quemado para presidir de este. Convirtiendo el cuesco en la segunda alternativa en la investigación para la mitigación de contaminación al medio ambiente.

En este proceso se desarrollaron ensayos de laboratorio cuya finalidad fue caracterizar los materiales desechados, residuo de fruto fresco (cuesco o endocarpio) y concreto de residuos de construcción y demolición (RCD). Para luego ser adicionados en diferentes proporciones a la mezcla diseñada, entrando a reemplazar en determinadas cantidades el contenido de grava. Con este proceso se determinó tanto el residuo (cuesco o RCD) con mayor capacidad de resistencia a la compresión, como la variación óptima a reemplazar del agregado grueso.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La problemática de los residuos ha tomado fuerza en Colombia en los últimos años, por lo que se han reglamentado procesos de recolección, transporte, tratamiento y disposición final, manteniendo armonía con lo estipulado en la constitución política de Colombia. En el 2002 con el decreto 1713 fueron modificadas las siguientes leyes: La 99 de 1993 y la 142 de 1994, las del ministerio del medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Leyes 1045 de 2003, 838 de 2005 reglamentadas por el decreto 2820 de 2010. Surgiendo políticas para la gestión de los residuos, con las cuales se diseñan planes para el manejo de estos, denominados planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS).

Se estudió la viabilidad de la implementación de materiales reciclados al concreto convencional, determinando a través de ensayos de laboratorio su resistencia a la compresión con objeto de llevar a cabo comparativos con el concreto tradicional. Para llevar a cabo este estudio comparativo se planteará lo siguiente:

- Elaboración de cilindros en los cuales se reemplace parte del agregado grueso por residuo de cuesco y concreto de RCD, variando las proporciones de sustitución en 10%, 20% y 30 %.
- Para cada porcentaje de inclusión de concreto de RCD y residuo de cuesco se realizarán 15 cilindros siendo en ambos casos sustituida la grava.

Fue necesario realizar ensayos de caracterización previos a la elaboración de los cilindros, tanto al cuesco como al concreto de RCD. Con la finalidad de seleccionar el diámetro de grava que se asemejara a las características arrojadas en dichos ensayos, para posteriormente elaborar el concreto tradicional o muestra referencia que haría parte de la comparativa en las pruebas de resistencia a la compresión.

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La adecuada disposición de los residuos, en este caso el residuo de cuesco y concreto de RCD, siempre ha sido un tema complejo de abordar y lo seguirá siendo mientras la mayoría de la población no entienda que su inadecuado manejo genera efectos nocivos al medio ambiente y con ello al ser humano mismo.

Colombia presenta las condiciones ideales para ser el primer productor de palma de aceite en América Latina y el cuarto en el mundo, tiene como fortaleza un gremio que cuenta con sólidas instituciones, gracias a la creación de la Federación nacional de cultivadores de palma de aceite en 1962. A nivel nacional el Meta junto a los departamentos de Casanare y Caquetá conforman el número 1 de los productores de palma africana de la cual son derivados aceites, grasas, productos de belleza y palmiste [1].

El departamento del Meta como gran referente, se ha visto tanto beneficiado como afectado por la masiva producción de palma africana, porque aun generando un mayor crecimiento en la economía, ha pagado unos costos ambientales considerables en vista de que el desecho (cuesco) que resulta de su explotación no se aprovecha racionalmente. Se estima que al año se producen 300000 toneladas de este material. Ante las pocas alternativas para su aprovechamiento, la mayor parte termina como desecho y algunos lo apilan. Con lo que rápidamente resulta ser refugio de roedores y otras plagas [2]. Esta resulta ser la motivación para que se busque aprovechar este residuo, transformándolo en una alternativa en la búsqueda de reducir impactos ambientales.

Al departamento del Meta no solo lo aquejan los problemas ambientales relacionados a la agroindustria, sino también otros relacionados a las obras civiles. específicamente los residuos de construcción y demolición (ladrillo, madera, concreto, acero, entre otros), que aparte de ser desechados ilegalmente en terrenos baldíos son foco de polución. Las actividades de construcción generan altos índices de contaminación, originados desde la extracción de materiales de la corteza, terrestre hasta la disposición final del producto (después de la vida útil de la construcción).

Cuál es la resistencia a la compresión del concreto modificado con la incorporación del material restante de la palma y los residuos de construcción para generar una reducción del uso de materiales de construcciones convencionales.

3. JUSTIFICACIÓN

La investigación se fundamenta en el estudio del residuo cuesco proveniente de RFF y el concreto de RCD presentes en el departamento del Meta, diagnosticando la factibilidad de incorporar dichos materiales a la mezcla de concreto tradicional, mitigando los altos índices de contaminación que producen.

Por otra parte, el cultivo de palma africana se posiciona en el primer lugar en lo que concierne a la producción, contando con 116.161 hectáreas de producción en el 2016. Siendo una de las fuentes económicas principales del departamento, al fortalecer la agroindustria de la región [1]. Una vez superado el período de postcosecha resulta una enorme cantidad de residuos susceptibles de sufrir degradación promovida por las condiciones de su entorno, generando efectos nocivos sobre el medio ambiente que se refleja en aparición de plagas, alteración del ecosistema, entre otros [1].

Para precisar datos, se realizó una visita de campo a la planta de aceites Manuelita S.A.; donde se encontró que produce cerca de 24 toneladas de materia prima por cada hectárea cultivada, teniendo un total de 5100 hectáreas sembradas. El fruto extraído de la palma se subdivide en los siguientes elementos con sus respectivos porcentajes de obtención: aceite 23%, raquis 19% y cuesco 58% [3].

La investigación aportará un estudio detallado de las propiedades mecánicas que presenta el cuesco de palma y el concreto derivado de los escombros generados en obras civiles, logrando así obtener un criterio para determinar la funcionalidad derivada de estos dos componentes, basándose en los parámetros reglamentarios presentados por la norma sismo resistente NSR-10. La implementación del cuesco de la palma y el concreto de RCD como agregados resultará atractivo, ya que siendo un producto reciclado es competitivo con las materias primas, siendo además un material de constante uso. Esta actividad reducirá el impacto ambiental ocasionado por los desechos depositados sobre el suelo, teniendo en cuenta de que el cultivo local de palma es alto y los escombros generados son significativos.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la resistencia a la compresión del concreto elaborado a partir de sustitución de porcentajes de agregado grueso por residuo de cuesco proveniente del racimo fruto fresco de palma africana (RFF) y el concreto de residuos de construcción y demolición (RCD)

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades mecánicas del cuesco proveniente de la palma africana
- Evaluar el comportamiento físico del cuesco como agregado, a través de pruebas de laboratorio.
- Determinar las propiedades mecánicas del concreto de RCD.
- Evaluar el comportamiento físico del concreto de RCD como agregado, a través de pruebas de laboratorio.
- Realizar una comparación entre los resultados obtenidos del concreto con contenido de residuos de cuesco y RCD, con respecto al concreto convencional de 21 MPa.

5. ALCANCE

El proyecto de estudio y análisis de la adición de materiales reciclados para la generación de nuevas alternativas en la construcción tiene como objeto estudiar el comportamiento mecánico del cuesco y el concreto de RCD, principalmente debido a su elevada capacidad contaminante.

Para esto, se elaboraron 90 cilindros con diferentes variaciones en la cantidad del material de reemplazo en proporciones de 10%, 20% y 30% para el cuesco y el concreto de RCD. Adicionalmente, se elaboraron 15 cilindros de concreto de referencia. Para cada uno de éstos se realizó un diseño de mezcla según las normas técnicas aplicadas en Colombia, relacionadas con el uso de materiales no convencionales o de origen orgánico, así que se llevó a cabo un diseño que cumpla tanto con el reglamento estipulado como con la resistencia necesaria.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEÓRICO

6.1.1. Materiales Reciclados

La gestión de residuos sólidos entendida como manejo y eliminación de los mismos ha constituido una problemática en Colombia. Generalmente dichos residuos son depositados en los rellenos sanitarios. En las ciudades el problema es mayor debido a la densidad poblacional, siendo considerables los volúmenes generados. A diario una persona produce cerca de 1kg de desperdicios de acuerdo a estimativas mundiales. Si para el 2009 este número se aplicase en Colombia la cifra resultante no sería muy halagadora [4].

Los residuos una vez recolectados pueden clasificarse y someterse a diversos procesos de transformación, entre las cuales se encuentra el reciclaje, el aprovechamiento energético y la elaboración de compost; que consiste en un proceso biológico que finalmente deriva en su uso como abono y/o sustituto de fertilizantes químicos. Estos procesos deben estar enmarcados dentro de una gestión integral de residuos sólidos, de tal forma que representen beneficios sanitarios, ambientales, sociales, económicos e inclusive culturales. Cuando el aprovechamiento de las basuras no es posible, el relleno sanitario, y en algunos casos la incineración, aparecen como opciones para la disposición final de las mismas. Sin embargo, cada día, se crean nuevas formas de aprovechar los residuos, para disminuir el impacto que genera el hombre al medio ambiente, y la tendencia actual es la disminución de la fracción de aquellos despojos enviados a los rellenos sanitarios, aumentando el incremento en las cifras correspondientes al reciclaje y el compost. La meta de muchos países, en particular los europeos, es en un futuro no utilizar rellenos sanitarios. Sin embargo, para los países latinoamericanos donde los recursos son limitados, el construir una cultura de reciclaje toma tiempo, siendo los rellenos sanitarios la mejor opción a mediano y corto plazo, amigable con el ambiente y además económica, en comparación con otros métodos como la incineración [4].

Toda construcción por pequeña que sea genera un impacto positivo y negativo, tal es el caso de la industria de la construcción que consume la mayor parte de las materias primas extraídas de la litosfera y produce una gran cantidad de CO² [5]. Según un artículo realizado por la revista Ingenierías de la universidad de Medellín, las sociedades en desarrollo tienen un efecto consumista en lo que respecta a la demanda de cemento y los insumos utilizados para obras civiles, debido a que en los años 2005 y 2012 se reportaron tasas de 170Kg/hab-año y 300Kg/hab-año, poniendo de manifiesto que el desarrollo económico jalona un incremento en la tasa de construcción [6].

La misma fuente menciona que los residuos de construcción y demolición (RCD) son una combinación de varios elementos como ladrillo, cemento, arena, grava, gravilla, recebo, acero, madera entre otros; Los cuales están constituidos por un 20 % de concreto, 50% de material de albañilería, 10% asfalto y 20% de otros materiales como maderas y partes metálicas [7].

Teniendo en cuenta las leyes 541 de 1994 y la 769 de 2002 y los decretos en los cuales estas fueron reglamentadas, se determina que en la ciudad de Villavicencio la construcción ha crecido de forma constante en la última década, y con él, la producción de RCD. Al investigar sobre el tema en la ciudad mencionada no se ha tratado el tema en forma puntual, sino que más bien se ha desarrollado dentro de lo que concierne al manejo de desechos sólidos, sin aún ser establecidas normativas apropiadas para los RCD.

6.1.1.1 Residuos Cuesco del Racimo de Fruto Fresco (RFF)

La extracción de la palma africana fue originaria de Guinea, en donde su historia alcanza los 5000 años de antigüedad, Siendo introducida en América durante los viajes de Cristóbal Colón y posteriormente llevada al Asia.

Es un producto con alta demanda, debido a la gran cantidad de derivados que se pueden obtener, como lo son: jabones, detergentes, cosméticos, margarinas, aceite comestible, mantecas, biodiesel. Los principales productores son Colombia y Ecuador.

En Colombia el cultivo de palma de aceite se encuentra en 124 municipios de 20 departamentos, con más de 483000 Has sembradas, por lo que el país tiene la capacidad de ser uno de los mayores productores [8].

Según los datos reflejados por Fedepalma, uno de los mayores productores del fruto es el departamento del Meta. Alcanzado el 30% de la producción del país en el 2016, en un área cultivada de 141068 Has de palma. Como se muestra en la Tabla 6.1. [8].

Tabla 6.1. Porcentaje de siembre de palma africana en Colombia

NO.	DEPARTAMENTO	PARTICIPACIÓN EN ÁREA SEMBRADA (%)	PARTICIPACIÓN EN PRODUCCIÓN (%)
1	Meta	31	30,4
2	Cesar	16,3	25,6
3	Magdalena	9,5	19
4	Santander	18,8	13,9
5	Casanare	8,7	6
6	Bolívar	5,9	3,1
7	Nariño	4	1

8	Norte de Santander	3,5	0,9
9	Cundinamarca	1	0
10	Antioquia	0,3	0
11	La guajira	0,2	0
12	Córdoba	0,2	0
13	Cauca	0,1	0
14	Chocó	0,1	0
15	Caquetá	0,1	0
16	Atlántico	0,1	0
17	Sucre	0,1	0

Fuente: Adaptado de la página de Fedepalma

De la palma africana se obtienen dos (2) clases de aceites. El primero obtenido del palmiste que es extraído de la semilla y el segundo del fruto; que son derivados luego de realizar varios procesos físico- químicos [5]. Procesos que a su vez derivan desechos como lo son el cuesco y el raquis, materias que están ocasionando problemas de contaminación en las zonas aledañas al acopio seleccionado para éstos [9].

Esta investigación se encamina al estudio del subproducto de la palma denominada cuesco, residuo que se acumula en abundantes cantidades en las plantaciones de palma. Una vez finaliza la extracción de aceite y el cuesco es apartado, sus usos son nulos. Razón por la cual es desechado a la intemperie, en donde tienen lugar procesos de descomposición e incluso en ocasiones es quemado, donde se da solución a los acopios de cuesco, pero a su vez genera impactos negativos al medio ambiente. [10].

6.1.2. Generación de concreto de residuos de construcción y demolición

Dentro del ciclo de vida de un proyecto, son en las etapas de diseño, construcción y final de la vida útil (demolición) en donde más se reporta la generación de los residuos de construcción y demolición (RCD), lo cual no significa que no resulten este tipo de residuos en otras etapas del proyecto. Encontrando considerables generaciones de residuos en la operación y termino de la vida útil (demolición del medio edificado). Llegando a cobrar importancia en cuanto al volumen potencial de residuos y la escasez de espacios aptos para su manejo [11].

Uno de los cambios tecnológicos más significativos de este siglo es reutilizar los residuos de construcción e industrias. Destacando los siguientes aspectos:

- Limitación de los residuos en concordancia con las demandas de protección ambiental y la creciente falta de lugares de depósito apropiados.

- Utilización de los residuos para un reciclaje adecuado y reutilización, donde la energía y las fuentes puedan ahorrarse.

La limitación y reciclaje de los residuos está considerada como la tecnología más limpia y amiga de los recursos naturales. Una gran parte de los residuos deriva de los desechos de la construcción, entre los que se encuentran normalmente los provenientes de: Demolición de viejas edificaciones y estructuras, rehabilitación y restauración de edificios y estructuras existentes, construcción de nuevos edificios y estructuras [12].

6.1.1.2 Programa para el reciclaje de residuos de la construcción

Los residuos de la construcción cuentan con un fácil aprovechamiento en comparación con otros tipos de residuos. Además de la instrucción de planes de acción para incrementar el reciclaje en países industrializados. Estos planes tienen por objeto conseguir mayores porcentajes de reciclaje.

Un claro ejemplo se da en Dinamarca, donde el ministerio del medio ambiente plantea por objeto una medida en donde se debe obtener el 50% reciclado de los residuos producidos. Los pasos para mejorar la efectividad de los programas de reutilización de residuos de construcción y demolición son [12]:

- Cálculo de las cantidades y las causas de producción de residuos de construcción.
- Puesta en marcha y desarrollo eventual de los medios técnicos apropiados para la demolición, la manipulación y procesamiento de los residuos de obra.
- Establecimiento de las actuaciones apropiadas para el reciclaje de materiales junto con la fijación de un estándar y sistemas de control de la calidad que pueden documentar la aplicabilidad de estos materiales.

6.1.1.3 Procedimientos para el manejo de los residuos de construcción y demolición (RCD).

El manejo de los residuos de construcción y demolición (RCD) es algo que debe ser pensado a corto, mediano y largo plazo, debido a que implica no sólo la iniciativa privada, sino también al poder público y la sociedad en general. Depositar y destinar de forma correcta los residuos de construcción y demolición (RCD) es una acción que traerá beneficios no sólo ambientales, sino también sociales, económicas y mejoras en la salud pública.

Se considera que la solución para el mejoramiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) debe ser capaz de integrar las operaciones de: Organismos públicos municipales, encargados del control y la supervisión sobre el transporte y destino de los residuos; Generadores de residuos, responsables del cumplimiento

de las normas establecidas en la legislación específica con respecto a la disposición final de los residuos, haciendo de su gestión interna y externa.

6.1.3. Método para dosificación de mezcla

Cuando la investigación no cuenta con la información y la experiencia necesaria para establecer la desviación estándar requerida para la elección del valor de la resistencia promedio a la compresión (f'_{cr}), por tal motivo, el reglamento (NSR-10 título c) brinda una alternativa de selección de acuerdo a la Tabla 6.2 [13].

Tabla 6.2. Resistencia promedio cuando no hay datos disponibles

RESISTENCIA ESPECIFICADA COMPRESIÓN MPa	A	LA	RESISTENCIA REQUERIDA COMPRESIÓN, MPa	PROMEDIO A	LA
$f'_c < 21$			$f'_{cr} = f'_c + 7.0$		
$21 \leq f'_c \leq 35$			$f'_{cr} = f'_c + 8.3$		
$f'_c > 35$			$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$		

Fuente: Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, Título C.

Se realizará un diseño de mezcla teniendo como base el libro “Tecnología y propiedades Instituto del concreto” [14]. El cual detalla el proceso necesario para realizar un diseño de mezcla, teniendo en cuenta diversas variaciones. Caso dado en este proyecto, donde se plantea el reemplazo de un porcentaje de agregado grueso por residuos de fruto fresco (el cuesco) y concreto de residuos de construcción y demolición.

Para la elaboración de un diseño de mezcla es necesario contar con ciertos valores iniciales de los materiales, como lo son: Granulometría, densidad aparente, absorción, humedad natural, entre otros.

Una vez obtenidos los valores iniciales, se selecciona el asentamiento que deberá poseer la mezcla, teniendo en cuenta el tipo de estructura, grado de trabajabilidad y la consistencia del concreto como se observa en la Tabla 6.3

Tabla 6.3. Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción.

Asentamiento	Consistencia (tipo de concreto)	Grado de trabajabilidad	Tipo de estructura y condiciones de colocación
0-2,0	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibradores de formaleta

Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto utilizando el cuesco proveniente de los residuos de fruto fresco de la palma africana y el concreto de residuos de construcción y demolición en obras civiles (RCD).

2,0-3,5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados con máquina pequeña
3,5-5,0	Semi-seca	Pequeño	Construcciones en masa voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundiciones en concreto simple. Pavimentos con vibradores normales
5,0-10,0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración
10,0-15	Humedad	Alto	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración

Fuente: Adaptado de D. Sánchez. Colección, básica del concreto, Tecnología y Propiedades.

El siguiente paso consiste en determinar el tamaño máximo nominal (TMN) para lo cual se deberá contar con la caracterización de agregado grueso (ensayo de granulometría).

La relación agua cemento (a/c) es obtenida de la Tabla 6.4, en donde según la resistencia deseada y el contenido de aire en este, se recomienda una relación absoluta por peso, como se muestra a continuación.

Tabla 6.4. Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación a/c.

Resistencia a la compresión a los 28 días en kg/cm² (psi)	Concreto sin inclusión de aire, relación absoluta por peso	Concreto con inclusión de aire, relación absoluta por peso
175(2500)	0.65	0.56
210(3000)	0.58	0.50
245(3500)	0.52	0.46
280(4000)	0.47	0.42
315(4500)	0.43	0.38

350(5000)

0.40

0.35

Fuente: Adaptado de D. Sánchez. Colección, básica del concreto, Tecnología y Propiedades.

Una vez obtenido estos valores se realiza el cálculo de cemento, teniendo la relación en peso y la cantidad de agua, se logra la cantidad en peso de cemento por cada metro cúbico de concreto.

$$r = \frac{a}{c} \Rightarrow c = \frac{a}{r} \quad (1).$$

Por tanto, el volumen de cemento por metro cúbico de concreto será:

$$v_c = \frac{c}{3100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \quad (2).$$

Para la estimación del contenido de grava se obtiene un valor b/bo haciendo uso del módulo de finura de la arena y el TMN.

$$bo = \frac{MUC}{dg} \Rightarrow B = \frac{b}{bo} * bo \quad (3).$$

El volumen de arena (VA) será el complemento de la suma del volumen de los materiales encontrados para un metro cúbico.

$$VA = 1 - (B + VC + a + c) \quad (4).$$

6.2. MARCO CONCEPTUAL

6.2.1. Resistencia del concreto

La resistencia a la compresión es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm², MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi).

El ensayo universalmente conocido para determinar la resistencia a la compresión, es el ensayo sobre probetas cilíndricas elaboradas en moldes especiales que tienen 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. Las normas NTC 550 y 673 son las que rigen los procedimientos de elaboración de los cilindros y ensayo de resistencia a la compresión respectivamente [15].

6.2.2. Propiedades de los materiales

En ingeniería, las propiedades mecánicas de los materiales son las características inherentes, que permiten diferenciar un material de otro. También hay que tener en

cuenta el comportamiento que puede tener un material en los diferentes procesos de mecanización que pueda tener. Estas son [16]:

- Elasticidad.
- Plasticidad.
- Resistencia a la fluencia
- Resistencia a la tracción o resistencia ultima.
- Resistencia a la torsión.
- Resistencia a la fatiga.
- Dureza.
- Fragilidad.
- Tenacidad.
- Ductilidad.
- Maleabilidad.

6.2.3. Residuos de Fruto Fresco de Palma africana

La fibra y el cuesco de la palma de aceite africana son materiales considerados como desechos, que actualmente son causales de contaminación ambiental debido a la falta de alternativas de aprovechamiento [2]. Siendo el reciclaje y reutilización de este, en procesos de construcción una elección sostenible para el medio ambiente.

6.2.4. Concreto de residuos de construcción y demolición (RCD)

Según el decreto 1713 de 2002, por medio del cual se reglamenta la gestión integral de residuos sólidos en Colombia, los escombros pueden ser definidos como todo residuo sólido sobrante de las actividades de la construcción, reparación o demolición de obras civiles o de otras actividades conexas, complementarias o análogas [17]. Se considera que el sector de la construcción en el país, es uno de los que más ingresos genera, por ello es importante que en el municipio de Villavicencio se haga una gestión del residuo de construcción, con el fin de mitigar un impacto ambiental y de esta manera mejorar la calidad de vida de los habitantes y la imagen de la ciudad.

6.1. ESTADO DEL ARTE

Tabla 6.5 Estado del arte.

NOMBRE	FECHA	AUTOR	RESUMEN O PUNTO IMPORTANTE
Effect of Palm Oil Fuel Ash in Controlling Heat of Hydration of Concrete	2014	Facultad de Ingeniería civil, Universidad Teknologi Malaysia, Johor, Malaysia	En esta investigación se hace un análisis de la sustitución parcial del cemento por ceniza de aceite de palma, y se encuentra que estas adiciones redujeron el aumento de la temperatura, debido al calor de hidratación, y por tanto, una disminución del agrietamiento de las muestras [18].
Fabricación de adoquines para uso en vías peatonales, usando cuesco de palma africana	4 de julio el 2010	Jorge Elías Buzón	Los autores hacen una breve descripción de la necesidad de desarrollar técnicas y procesos novedosos, orientados a la reducción de costos y del impacto ambiental. Por ello, analizan las características mecánicas del desecho de la palma de aceite: alta dureza, alta resistencia al desgaste y bajo peso. Con estos estudios, se demuestra que los adoquines presentan mayor resistencia a los 28 días, menor peso, y una mayor capacidad de absorber humedad cumpliendo con la norma [19].
Evaluación del manejo de residuos de construcción y demolición (RCD) en seis proyectos de viviendas de interés prioritario, como contribución a la revisión del panorama de gestión de RCD en la ciudad de Medellín	2014	Alma Shafica Cadavid	El documento es el resultado de una investigación en la Ciudad de Medellín, acerca del manejo de RCD, a partir de la evaluación de seis proyectos de vivienda de interés prioritario. Donde se evidencia que la cultura de la comunidad apunta al no reciclaje de materiales y al desconocimiento de las bondades del mismo [17].
Caracterización del desecho agroindustrial de la palma de aceite “cuesco” para el mejoramiento de las capas granulares de la estructura de pavimento	2017	Erika Becerra	El documento describe el procedimiento de la caracterización de desecho de la palma de aceite “cuesco”, para su uso como posible material de mejoramiento de las capas granulares que componen la estructura de pavimento. Se realiza análisis a partir de ensayos de laboratorio y especificaciones del INVIAS, cumpliendo los requisitos mínimos de esta normativa. Los principales laboratorios son la granulometría, humedad, densidad, entre otros. Estos con el objetivo de establecer su uso como agregado grueso o fino en capas granulares de la estructura [20].

Fuente: Autores 2019.

6.2. MARCO NORMATIVO

Tabla 6.6 normatividad

NORMATIVIDAD		
400 1997	de	NSR-10 Reglamento colombiano de construcción sismo resistente
Esta establece criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas, así como de aquellas indispensables para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de un sismo, que puedan verse sometidas a fuerzas sísmicas y otras fuerzas impuestas por la naturaleza o el uso, con el fin de que sean capaces de resistirlas, incrementar su resistencia a los efectos que éstas producen, reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender en lo posible el patrimonio del estado y de los ciudadanos.		
DECRETOS		
1713 2002	de	Artículo 44
“Recolección de escombros. Es responsabilidad de los productores de escombros su recolección, transporte y disposición en las escombreras autorizadas. El Municipio o Distrito y las personas prestadoras del servicio de aseo son responsables de coordinar estas actividades en el marco de los programas establecidos para el desarrollo del respectivo Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS” [21].		
948 1995	de	Prevención y control de la contaminación
“Reglamenta la prevención y control de la contaminación atmosférica y protección de la calidad del aire”. Este decreto hace referencia a la producción y manejo del material a desarrollar no genere una contaminación atmosférica y protección de la calidad del aire [22].		

Fuente: Autores 2019.

6.3. MARCO GEOGRÁFICO

El lugar del cual se obtuvieron los escombros de demolición y construcción, fue el municipio de Villavicencio del departamento del Meta, enfatizando la obtención en los terrenos baldíos donde con gran frecuencia son abandonados dichos residuos. Necesarios para realizar los laboratorios y por ende determinar la viabilidad de este proyecto de investigación.



Figura 6.1. Municipios de Villavicencio y San Carlos de Guaroa
Fuente: Darío Ortega, Turismo Villavicencio 2019.

Para obtener el cuesco proveniente de los residuos del racimo de fruto fresco (RFF), fue necesario dirigirse a una plantación de palma de aceite, razón por la cual se selecciona la planta biogás aceites Manuelita, la cual está ubicada en el municipio de San Carlos de Guaroa.

7. EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA

PERSONAL	NOMBRE	PERFIL	EXPERIENCIA
Estudiante	Brayan Edilson García Velásquez	Estudiante	Curso y aprobó todas las asignaturas teóricas practicas del plan de estudios correspondiente a los diez (10) semestres de ingeniería civil.
Estudiante	Luis Miguel Díaz Morales	Estudiante	Curso y aprobó todas las asignaturas teóricas practicas del plan de estudios correspondiente a los diez (10) semestres de ingeniería civil.
Director	Erika Lorena Becerra Becerra	Ingeniera Civil especialista en pavimentos	Tipo de proyecto: Investigación y desarrollo Productividad de la mano de obra en construcción Inicio: enero 2015 Fin: agosto 2015 Duración Tipo de proyecto: Investigación Caracterización del desecho agroindustrial de la palma de aceite cuesco para el mejoramiento de las capas granulares de la estructura de pavimento Inicio: febrero 2017 Fin: agosto 2017 Duración

Fuente: Autores 2019.

8. METODOLOGÍA

Esta propuesta de investigación tiene un enfoque cuantitativo porque se realiza con la finalidad de probar la teoría al describir variables (investigación descriptiva), comparando diferentes relaciones.

Las variables de investigación contemplan dos residuos a estudiar: Los residuos generados en obras civiles (escombros) y el cuesco proveniente del racimo de fruto fresco de la palma (RFF)

Los resultados de la investigación se obtuvieron mediante un proceso sistemático, formal y objetivo, que se vale de los datos numéricos para alcanzar toda la información necesaria en el proyecto.

8.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

8.1.1. Recolección de información

Se hizo una búsqueda previa de antecedentes donde ya se hallan trato dichos materiales (cuesco y concreto de RCD) o propuestas investigativas en donde se implementen materiales reciclables para la elaboración de concreto.

8.1.2. Identificar y definir el problema

Las ciudades en su constante afán de crecer no tienen en cuenta los posibles impactos que pueden afectar negativamente al medio ambiente, como la inadecuada disposición de residuos de construcción, y la quema o acumulación de desechos orgánicos separados una vez han cumplido su función.

Ante las pocas alternativas para su aprovechamiento, resultan ser contaminantes de sus alrededores, refugio de roedores y otras plagas. Surgiendo la necesidad de reducir, reciclar y reutilizar los desechos de fruto fresco (cuesco) y concreto de residuos de construcción y demolición (RCD).

Para ello decidimos utilizar dichos materiales y realizarle una evaluación a la compresión, adicionándolos en porcentajes en la dosificación de la elaboración de concreto, para ver su viabilidad y saber si pueden ser incomparados como materiales de construcción.

8.1.1. Planteamiento y estructuración de la investigación

En esta etapa se planteó realizar un documento, que plasmara una investigación con aporte de conocimiento a la ingeniería civil; a través de la revisión, selección y análisis de la información, orientada hacia el aprovechamiento de dos tipos de residuos. Así mismo, organizar la temática de manera que sea clara la exposición

del alcance, metodología y resultados.

8.1.2. Ejecución

Una vez desarrolladas las etapas anteriores, se realizaron los ensayos de laboratorio y/o pruebas requeridas para cumplir los objetivos establecidos, según lo establecido en el cronograma de actividades.

8.1.3. Análisis de resultados y elaboración de documento final

Finalizada la etapa de ejecución, se realizó una interpretación de los valores obtenidos en los laboratorios, para determinar la funcionalidad de la conglomeración del concreto de RCD y el cuesco (endocarpio). Para así proceder a la elaboración del documento final, en el cual se plasmaron los resultados y conclusiones a las cuales se llegan en el proceso de investigación.

8.2. POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

8.2.1. Recolección de las muestras del concreto de RCD

Para dar inicio al respectivo análisis del concreto de residuos de construcción y demolición, se estudió si el material es aceptable, por medio de recolección y selección de muestras en los puntos de acopio más sobresalientes de la región.

Una vez seleccionado y clasificado el material a reciclar, se procedió a triturarlo manualmente, de tal forma que su tamaño favoreciera la mezcla. Luego, se caracterizó por medio del tamizado, indicando los resultados en una curva granulométrica para analizar el tamaño máximo nominal de la muestra.

Los ensayos de laboratorio que se llevaron a cabo para este material son los siguientes:

- Granulometría.
- Ensayo de mezcla y elaboración de cilindros.
- Desgaste.
- Humedad.
- Densidad.
- Ensayo de compresión.

8.2.2. Recolección de muestras del cuesco

Para la obtención del cuesco, fue necesario viajar a las plantas extractoras del municipio de San Carlos de Guaroa en el departamento del Meta; lugar en el cual se encuentra la planta que suministró los desechos de material orgánico, producidos en el proceso de extracción de aceite.

Para este proceso, es necesario realizar los siguientes ensayos de laboratorio a la muestra:

- Lavado con agua y jabón
- Secado al horno
- Granulometría
- Mezcladora y cilindros
- Ensayo de compresión

Tabla 8.1 Número de muestras por material

NÚMERO DE MUESTRAS PARA EL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN					
Material	Porcentaje de inclusión	Número de muestras	Edad del concreto en días		
			7	14	28
Cuesco	10%	15	5	5	5
	20%	15	5	5	5
	30%	15	5	5	5
CONCRETO DE RCD	10%	15	5	5	5
	20%	15	5	5	5
	30%	15	5	5	5

Fuente: Autores 2019.

9. DISEÑO DE MEZCLA

La NSR-10 título C, brinda una alternativa a la selección de la resistencia promedio requerida a la compresión, cuando no se cuenta con la información y/o experiencia necesaria para establecer la desviación estándar. Al emplear un material orgánico que no cuenta con antecedentes de su implementación en mezclas de concreto, como lo es el caso del cuesco; es necesario definir la resistencia promedio requerida a la compresión (f'_{cr}) encontrado en la Tabla 6.2..

$$f'_{cr} = f'_c + 8.3 \quad (5).$$

Por tanto, el diseño se mezcla se realiza con un f'_{cr} de:

$$f'_{cr} = 21Mpa + 8.3$$

$$f'_{cr} = 29.3 \text{ Mpa (4200psi)}$$

Después de calcular la resistencia mínima de diseño, fue necesario realizar la caracterización de los agregados que se usan en la mezcla.

Los agregados usados para el desarrollo de esta investigación son:

- Agregados finos, arena de río
- Agregados gruesos, gravilla de 3/8", cuesco y concreto de RCD
- Cemento comercial

9.1. GRANULOMETRÍA

Este ensayo se realiza bajo los parámetros de la norma NTC-77, donde solicita el uso de los siguientes equipos:

- Horno
- Tamices
- Balanza

Para realizar el ensayo se debe secar la muestra previamente, tanto los agregados gruesos como los finos. El siguiente paso es seleccionar el grupo de tamices a emplear, que permitan obtener la información requerida, así: 3/4", 3/8", N° 4, N° 8, N°10, N°16, N°30, N°50 y N°100. Se organizan estos en orden descendente, para luego adicionar la muestra que debe ser pesada, antes de utilizar los respectivos tamices. Posteriormente se toma la masa retenida en cada tamiz.

Los resultados obtenidos en el ensayo se muestran a continuación:

Tabla 9.1. Resultados obtenidos de granulometría (grava)

GRAVA					
TAMIZ mm	pulg	MASA RETENIDA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
19,5	3/4	64,15	1,3%	1%	98,72%
9,5	3/8	3389,88	67,8%	69,08%	30,92%
4,75	N° 4	1472,17	29,4%	98,52%	1,48%
2,36	N° 8	68,84	1,4%	99,90%	0,10%
1,18	N° 10	4,97	0,1%	100,00%	0,00%
FONDO		0,00	0,0%	100,00%	0,00%
TOTAL		5000	100,0%		

Fuente: Autores 2019.

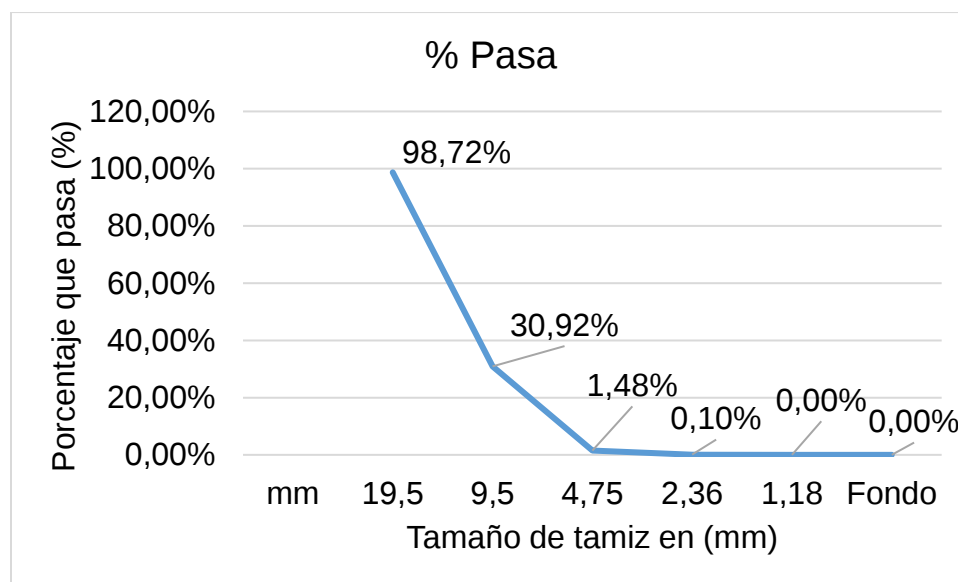


Figura 9.1 Curva granulométrica – Grava

Fuente: Autores 2019.

Tabla 9.2. Resultados obtenidos de granulometría (arena)

Arena					
TAMIZ mm	pulg	MASA RETENIDA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
9,5	3/4	37,93	0,8%	1%	99%
4,75	3/8	125,00	2,5%	3,26%	97%
2,36	N° 4	1160,99	23,2%	26,48%	74%
1,18	N° 8	924,54	18,5%	44,97%	55%
0,63	N° 10	959,37	19,2%	64,16%	36%
0,32		940,40	18,8%	82,96%	17%
0,16	N° 100	666,80	13,3%	96,30%	4%
Fondo		184,98	3,7%	100,00%	0%
Total		5000,00	100,0%		

Fuente: Autores 2019.

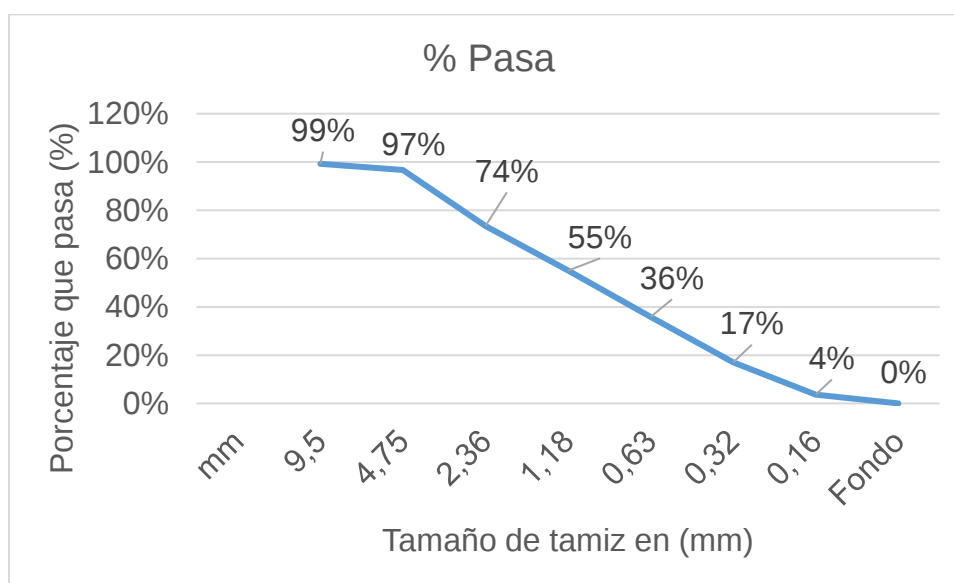


Figura 9.2. Curva granulométrica – Arena

Fuente: Autores 2019.

Tabla 9.3. Resultados obtenidos de granulometría (concreto de RCD)

RCD					
TAMIZ		MASA	%	%	% PASA
mm	pulg	RETENIDA (gr)	RETENIDO	RETENIDO	
19	3/4	1659,76	33,2%	33%	67%
9,5	3/4	2219,86	44,4%	77,59%	22%
4,75	3/8	751,97	15,0%	92,63%	7%
2,36	N° 4	197,59	4,0%	96,58%	3%
1,18	N° 8	64,69	1,3%	97,88%	2%
0,63		75,13	1,5%	99,38%	1%
Fondo		31,00	0,6%	100,00%	0%
Total		5000,00	100,0%		

Fuente: Autores 2019.

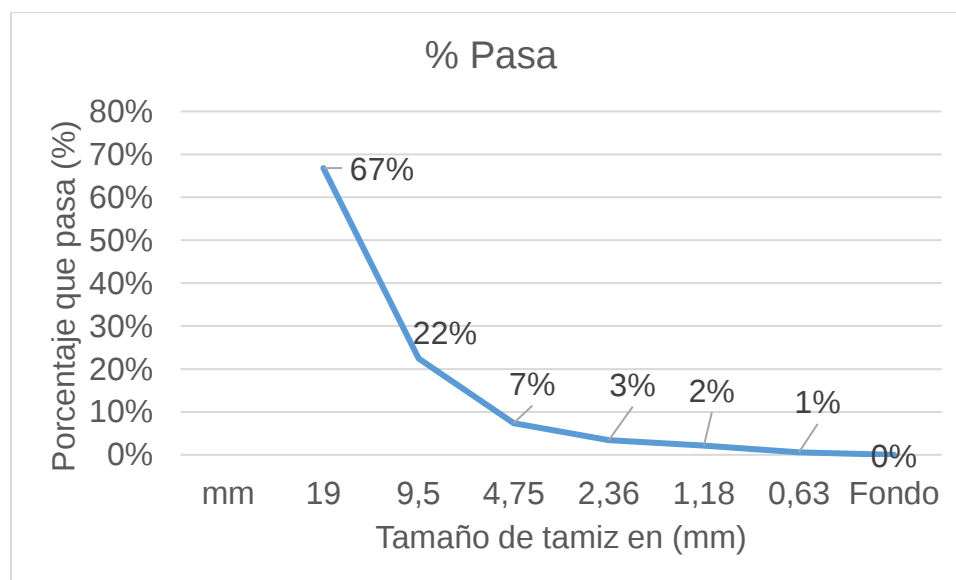


Figura 9.3. Curva granulométrica –RCD

Fuente: Autores 2019.

Tabla 9.4. Resultados obtenidos de granulometría (Cuesco)
CUESCO

TAMIZ		MASA	%	%	% PASA
mm	pulg	RETENIDA (gr)	RETENIDO	RETENIDO	
9,5	3/4	601,66	12,0%	12%	88%
4,75	3/8	3508,16	70,2%	82,20%	18%
2,36	N° 4	825,17	16,5%	98,70%	1%
1,18	N° 8	62,68	1,3%	99,95%	0%
Fondo		2,33	0,0%	100,00%	0%
Total		5000,00	100,0%		

Fuente: Autores 2019.

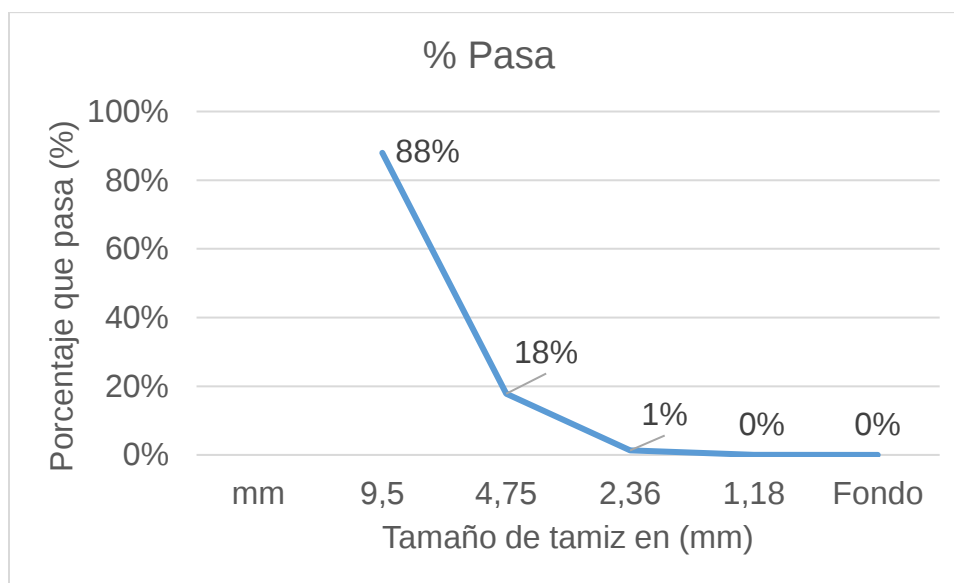


Figura 9.4. Curva granulométrica – Cuesco
Fuente: Autores 2019.

9.2. DISEÑO DE MEZCLA

Se realiza un diseño de mezcla para un concreto que no estará expuesto a intemperismo ni a condiciones agresivas. La resistencia a la compresión a los 28 días de 21 MPa. El tamaño máximo nominal (TMN) se determina de acuerdo con la similitud entre los agregados gruesos (grava, cuesco y concreto de RCD) siendo este de 3/8" (9.5mm).

Tabla 9.5. Valores de entrada

Valores de entrada		
TMN	9,5	mm
Masa unitaria compacta (MUC)	1510	kg/m ³
Masa unitaria suelta (MUS)	1420	kg/m ³
Densidad aparente	2470	kg/m ³
Absorción	2,5	%
Humedad natural	4	%
Módulo de finura	2.67	

Fuente: Autores 2019.

De acuerdo a lo establecido en el libro "Tecnología y propiedades" [14], se realizaron los siguientes pasos:

9.2.1. Elección del tamaño máximo nominal (TMN)

El tamaño máximo nominal (TMN) para este diseño es de 9.5 mm, teniendo como base el tamaño del cuesco del fruto de palma africana, porque la mayoría de los granos de este cuentan con la misma dimensión. Por el contrario, tanto la grava como el RCD se encuentran en diferentes presentaciones.

9.2.2. Estimación del contenido de aire

El concreto no estará expuesto a ambientes agresivos ni a ciclos de congelamiento y deshielo por tanto no se requiere del uso de incorporador de aire [14].

9.2.3. Estimación de la cantidad de agua de mezclado (a)

Para estimar el contenido de agua es necesario tener en cuenta 3 factores: Asentamiento, contenido de aire y TMN. El asentamiento utilizado es de 5 cm, de acuerdo con las características de obra para el cual se diseña la mezcla; véase en la Tabla 6.3. Según la Tabla 9.6. se toman 205 kg/m³ de agua.

Tabla 9.6. Agua en kg/m³ de concreto para los TMN del agregado indicados

Contenido de aire	Asentamiento (cm)	Agua en kg/m ³ de concreto para los TMN del agregado indicados							
		10	12,5	20	25	40	50	70	150
Concreto sin aire incluido	3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
	8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
	15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	--
Concreto con aire incluido	3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
	8 a 10	200	192	180	175	160	155	150	135
	15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	--

Fuente: Adaptado de D. Sánchez. Colección, básica del concreto, Tecnología y Propiedades.

9.2.4. Elección de la relación agua/cemento (a/c)

Para la elección de la relación agua/cemento fue necesario interpolar entre los valores de 28Mpa en donde $r = 0.47$ y 31.5Mpa $r = 0.43$, debido a que la resistencia mínima diseñada es de 29.3Mpa, y su r no es posible encontrarlo en la Tabla 6.4 donde nos muestra los valores de la relación agua cemento, por ende, luego de interpolar encontramos que.

El valor de la relación es:

$$r = \frac{a}{c} \Rightarrow c = \frac{a}{r} \quad (1)$$

$$r = 0.46$$

9.2.5. Cálculo del contenido de cemento

Con la relación agua/cemento elegida y la cantidad de agua, se logra la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto.

$$r = 0.46 \text{ y } a = 205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Entonces:

$$c = \frac{205 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.43} = 476.74 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

El volumen por metro cúbico de concreto será:

$$V_c = \frac{447,37}{3100} * \frac{kg}{m^3} = 0.14 \frac{m^3}{m^3}$$

9.2.6. Estimación del contenido de grava

Para el módulo de finura de la arena de 2.67 y un TMN de 9.5 mm (3/8”), se obtiene de las Tabla 9.7.

Tabla 9.7. Volumen de agregado grueso secado en el horno por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino

Máximo tamaño nominal de agregados		Volumen de agregado grueso secado en el horno por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
		módulo de finura			
Pulgadas	mm	2,4	2,6	2,8	3
3/8	9,51	0,5	0,48	0,46	0,44
1/2	12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4	19,1	0,66	0,64	0,62	0,6
1	25,4	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2	38,1	0,75	0,73	0,71	0,69
2	50,8	0,78	0,76	0,74	0,72
3	76,1	0,82	0,8	0,78	0,76
6	152,4	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Adaptado de D. Sánchez. Colección, básica del concreto, Tecnología y Propiedades.

La relación b/b_0 es:

$$\frac{b}{b_0} = 0.48$$

Donde:

$$b_0 = \frac{MUC}{dg} = \frac{1510}{2470} = 0.61$$

Por tanto:

$$B = \frac{b}{b_0} * b_0 = 0.466 * 0.61 = 0.29 \frac{m^3}{m^3}$$

9.2.7. Estimación del contenido de arena

El volumen de arena (VA) se da, al completar la suma de los elementos ya calculados para un metro cúbico, según la ecuación (4).

$$VA = 1 - (0.010 + 0.29 + 0.205 + 0.14) = 0.35 \frac{m^3}{m^3}$$

9.2.8. fabricación de cilindros

Para la fabricación de los cilindros de concreto se siguió la normativa estipulada en el libro “Tecnología y propiedades” el cual detalla los procedimientos para la elaboración y curado de especímenes de concreto. Este proceso se realizó en los laboratorios de la Universidad Santo Tomas de Bogotá, para el primer lote. Más adelante, se continuo con el mismo procedimiento con los lotes faltantes, en la Universidad Santo Tomas de Villavicencio.

Para este proceso se realizaron los siguientes pasos:

9.3. ALMACENAMIENTO DEL MATERIAL

El material no se debe exponer al contacto con el agua ni a factores de intemperismo.



Figura 9.5. Material almacenado para la mezcla
Fuente: Autores 2019.

9.4. MEZCLA DEL MATERIAL

Para este proceso se solita a los laboratorios de la Universidad la máquina mezcladora, en la cual se vierte el agua, grava, cuesco o CONCRETO DE RCD (según el lote), cemento y arena. En el respectivo orden en el que se mencionan.



Figura 9.6. Mezcla de los materiales
Fuente: Autores 2019.

9.5. LLENADO DE MOLDES

Una vez la mezcla esta lista y los moldes ajustados, se empiezan a llenar en tres (3) capas, apisonando cada una de ellas con una varilla de 3/8". Se deberán realizar 35 golpes por capa, distribuidos desde la parte perimetral hasta llegar al centro del mismo. Seguido a esto, se golpea ligeramente con un mazo de caucho de 10 a 15 veces la parte exterior del molde, eliminando las burbujas de aire que puedan haber quedado atrapadas.



Figura 9.7. Cilindros fundidos

Fuente: Autores 2019

9.6. CURADO

Luego de 24 horas se desencofran los cilindros para posteriormente ser inmersos en un tanque de agua y de esta manera empezar un proceso de curado.

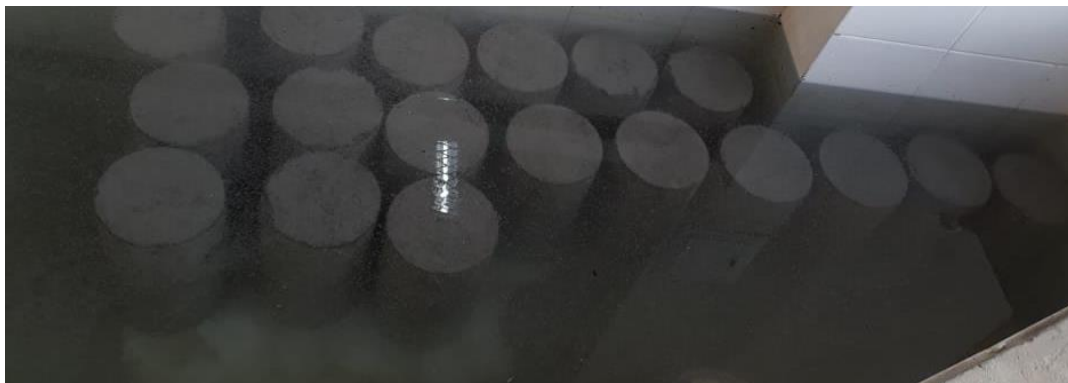


Figura 9.8. curado de los especímenes.

Fuente: Autores 2019.

10. FALLA DE CILINDROS

Para este proceso se realizó un total de ciento noventa (90) cilindros que se fallaron a los 7 días, 14 días y 28 días, divididos como se muestra en la Tabla 8.1. Las dimensiones de los moldes empleados son: 0.30m de alto por 0.15m de diámetro.

10.1. CARACTERIZACION DE LOS CILINDROS

Previo a la falla de los cilindros se realizó la caracterización de cada uno de estos, los resultados obtenidos son los siguientes.

10.1.1. Peso de los cilindros con residuos de cuesco y RCD

Se realizó un promedio del peso de los cilindros en las muestras obtenidas, organizando los valores según la edad de falla y el porcentaje de reemplazo de agregado grueso realizado para los cilindros

Tabla 10.1. Peso promedio del concreto con adición de concreto de RCD

Porcentaje de mezcla	Edad de los cilindros en días		
	7	14	28
10%	12,38 kg	12,48 kg	12,47 kg
20%	12,46 kg	12,48 kg	12,5 kg
30%	12,33 kg	12,57 kg	12,59 kg

Fuente: Autores 2019.

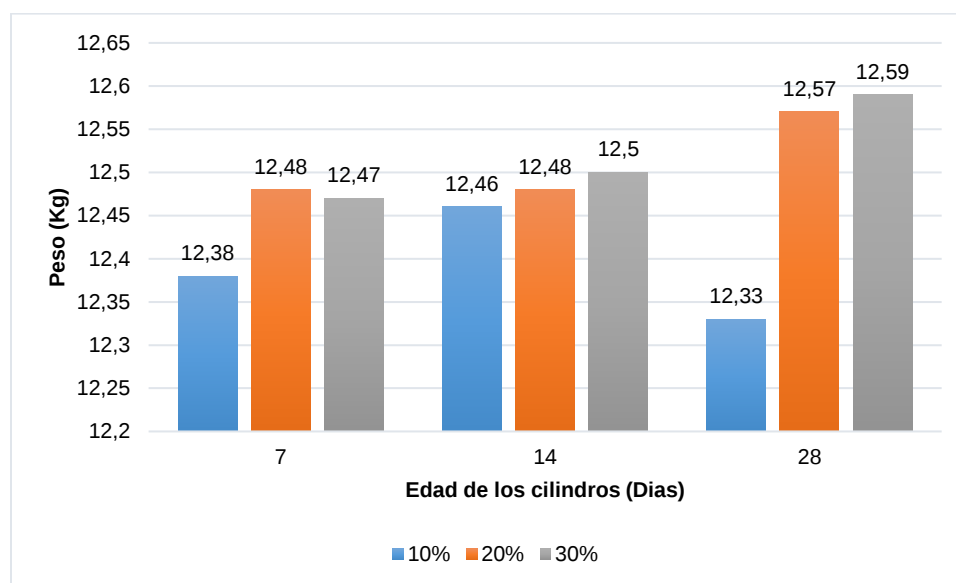


Figura 9. Peso promedio del concreto con adicción de concreto de RCD

Fuente: Autores 2019.

Como se observa en la Figura 9. Peso promedio del concreto con adicción de concreto de RCD, los pesos promedio de los cilindros tienen tendencia a aumentar el peso a medida que el porcentaje de reemplazo de RCD por agregado grueso es mayor.

Para los cilindros elaborados con residuos de cuesco, se realiza la Tabla 10.1 la que se organizan según la edad de falla respecto al porcentaje de elaboración del mismo, seguido a esta se encuentra la Figura 6.1; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que muestra los promedios del peso.

Tabla 10.2. **Peso promedio del concreto con adición de cuesco**

	Edad de los cilindros en días		
Porcentaje de mezcla	7	14	28
10%	12,38 kg	12,38 kg	12,37 kg
20%	12,41 kg	12,21 kg	12,45 kg
30%	12,2 kg	12,05 kg	12,01 kg

Fuente: Elaboración propia.

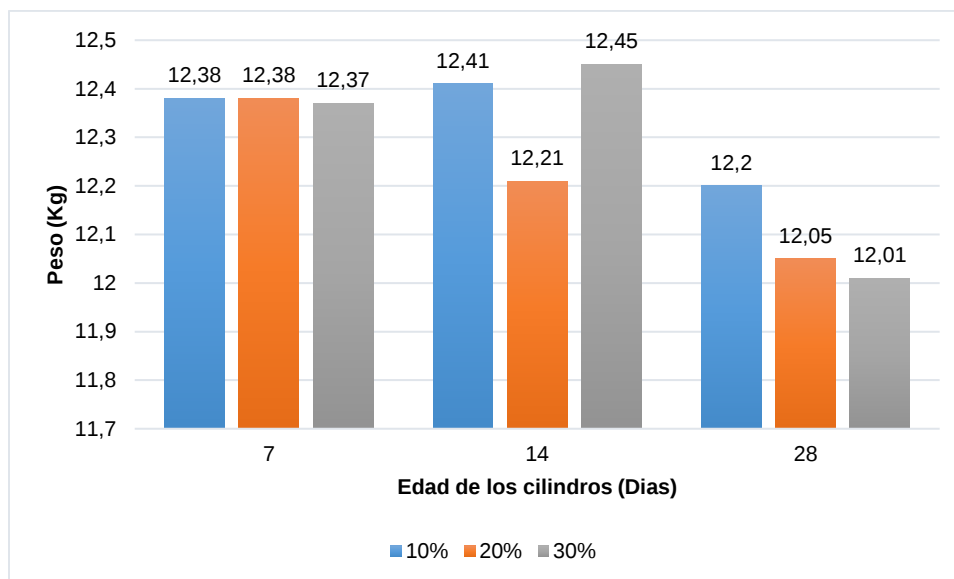


Figura 10 **Peso promedio del concreto con adicción de cuesco. Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 10 está estructurada de la siguiente manera: en el eje vertical, la escala del peso en kilogramos y en el eje horizontal los porcentajes de reemplazo de residuo por agregado grueso en los días de edad de falla de estos mismos. En esta se evidencia la reducción de peso en cuesco a medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo por agregado grueso, alcanzando a la edad de 28 días y reemplazo del 30% una diferencia de 0.6kg con respecto al RCD (Figura 9).

10.2. ENSAYO DESTRUCTIVO

10.2.1. Ensayo destructivo de concreto convencional

En esta etapa se fallaron 10 cilindros en la Universidad Santo Tomas Bogotá, los cuales poseían una mezcla de grava, arena, agua y cemento. Haciendo estos de muestras referencia en la comparativa de concreto tradicional y concreto con adición de cuesco y concreto de RCD.



Figura 10.11. Ensayo destructivo concreto convencional.

Fuente: Autores 2019.

Los valores de resistencia a la compresión de estos cilindros fueron las siguientes:

Tabla 10.3. Ensayo destructivo concreto convencional a los 7 días.

Número del cilindro	1	2	3	4	5
fuerza aplicada (KN)	322	321	329	327	302
resistencia (MPA)	18	17	18	18	16

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.4. Ensayo destructivo concreto convencional a los 14 días.

Número del cilindro	6	7	8	9	10
fuerza aplicada (KN)	322	321	329	327	302
resistencia (MPA)	19	20	18	20	20

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.5. Ensayo destructivo concreto convencional a los 28 días.

Número del cilindro	11	12	13	14	15
fuerza aplicada (KN)	322	321	329	327	302
resistencia (MPA)	20	23	22	24	22

Fuente: Autores 2019.

10.2.2. Ensayo destructivo CUESCO

El desarrollo del ensayo de la resistencia a la compresión para los especímenes de cuesco y concreto de RCD fueron llevados a cabo en la Universidad Santo Tomas de Villavicencio, véase en la ilustración 11.2.



Figura 10.12. Ensayo destructivo de cuesco y concreto de RCD
Fuente: Autores 2019.

Los resultados obtenidos de este ensayo son los siguientes:

Tabla 10.6. Ensayo destructivo CUESCO 10% 7 días.

Número del cilindro	1	2	3	4	5
fuerza aplicada (KN)	383	336	350	368	332
resistencia (MPA)	21	17	18	20	18

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.7. Ensayo destructivo CUESCO 10% 14días.

Número del cilindro	8	15	7	14	13
fuerza aplicada (KN)	375	172	429	408	410
resistencia (MPA)	20	9	24	23	23

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.8. Ensayo destructivo CUESCO 10% 28días.

Número del cilindro	6	11	12	10	9
fuerza aplicada (KN)	461	476	460	476	459
resistencia (MPA)	25	26	25	26	25

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.9. Ensayo destructivo CUESCO 20% 7días.

Número del cilindro	1	3	4	5	12
fuerza aplicada (KN)	365	358	355	341	338
resistencia (MPA)	20	19	19	18	18

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.10. Ensayo destructivo CUESCO 20% 14días.

Número del cilindro	11	9	14	6	10
fuerza aplicada (KN)	377	232	372	254	380
resistencia (MPA)	20	13	21	13	21

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.11. Ensayo destructivo CUESCO 20% 28días.

Número del cilindro	8	7	15	13	2
fuerza aplicada (KN)	412	406	420	291	464
resistencia (MPA)	22	22	23	16	25

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.12. Ensayo destructivo CUESCO 30% 7días.

Número del cilindro	1	2	4	5	14
fuerza aplicada (KN)	286	315	295	296	294
resistencia (MPA)	15	17	16	16	16

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.13. Ensayo destructivo CUESCO 30% 14días.

Número del cilindro	8	10	9	12	11
fuerza aplicada (KN)	345	327	302	324	308
resistencia (MPA)	18	18	16	18	17

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.14. Ensayo destructivo CUESCO 30% 28días.

Número del cilindro	13	6	8	7	15
fuerza aplicada (KN)	344	359	318	360	342
resistencia (MPA)	18	19	17	19	19

Fuente: Autores 2019.

10.2.3. Ensayo destructivo concreto de RCD

Tabla 10.15. Ensayo destructivo concreto de RCD 10% 7 días.

Número del cilindro	1	2	3	4	5
fuerza aplicada (KN)	322	321	329	327	302
resistencia (MPA)	18	17	18	18	16

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.16. Ensayo destructivo concreto de RCD 10% 14 días.

Número del cilindro	6	7	8	9	10
fuerza aplicada (KN)	422	416	387	407	404
resistencia (MPA)	23	22	21	22	22

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.17. Ensayo destructivo concreto de RCD 10% 28 días.

Número del cilindro	11	12	13	14	15
fuerza aplicada (KN)	432	421	414	408	412
resistencia (MPA)	23	23	22	22	22

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.18. Ensayo destructivo concreto de RCD 20% 7 días.

Número del cilindro	1	2	3	4	5
fuerza aplicada (KN)	409	444	411	321	369
resistencia (MPA)	22	24	22	17	20

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.19. Ensayo destructivo concreto de RCD 20% 14 días.

Número del cilindro	10	9	8	7	6
fuerza aplicada (KN)	461	524	518	518	406
resistencia (MPA)	25	28	28	27	27

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.20. Ensayo destructivo concreto de RCD 20% 28 días.

Número del cilindro	11	12	13	14	15
fuerza aplicada (KN)	578	475	561	537	521
resistencia (MPA)	32	25	31	29	29

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.21. Ensayo destructivo concreto de RCD 30% 7 días.

Número del cilindro	5	4	3	2	1
fuerza aplicada (KN)	374	418	416	373	417
resistencia (MPA)	20	23	22	20	22

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.22. Ensayo destructivo concreto de RCD 30% 14 días.

Número del cilindro	6	7	8	9	10
fuerza aplicada (KN)	455	471	525	488	491
resistencia (MPA)	25	25	28	26	27

Fuente: Autores 2019.

Tabla 10.23. Ensayo destructivo concreto de RCD 30% 28 días.

Número del cilindro	11	12	13	14
fuerza aplicada (KN)	514	512	471	539
resistencia (MPA)	27	29.5	28	33

Fuente: Autores 2019.

11. ANÁLISIS DE RESULTADOS

11.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DE RCD

En los ensayos elaborados en los laboratorios de la universidad Santo tomas, encontramos satisfactorios los resultados con respecto a la implementación del concreto de RCD como sustituyente en diferentes porcentajes del agregado grueso convencional.

Con los resultados arrojados por el ensayo a la compresión el concreto de RCD se perfila como un buen material sustituyente del agregado grueso, debido a su similitud con el agregado grueso convencional, este a su vez presenta buena resistencia a la compresión, mostrando valores positivos en los 3 porcentajes de variación 10%, 20% y 30%. Como se muestra en la Tabla 11.1 en la cual se evidencia que todos los cilindros superan la cifra de 21 MPa a los 28 días de curado.

Tabla 11.1 Ensayo destructivo concreto de RCD resistencia promedio		
DESCRIPCION DE LA MUESTRA	DIAS DE CURADO	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPA)
DISEÑO DE MEZCLA CON 10% DE CONCRETO DE RCD	7	17,4
	14	22
	28	22,4
DISEÑO DE MEZCLA CON 20% DE CONCRETO DE RCD	7	21
	14	27
	28	29,2
DISEÑO DE MEZCLA CON 30% DE CONCRETO DE RCD	7	21,4
	14	26,2
	28	29,375

Fuente: Autores 2019

11.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN A LA RESISTENCIA DE CUESCO

Para el cuesco se logra destacar que con un 20% a los 14 días los especímenes 9 y 6 alcanza una resistencia de 13Mpa, siendo la de menor resistencia. haciendo de este un material poco eficaz para reemplazar en su totalidad el agregado grueso para la elaboración de concreto, como se observa en la Tabla 10.10.

En base a los resultados arrojados por el ensayo a la compresión el cuesco no se perfila como un buen material sustituyente del agregado grueso, ya que su resistencia no mejora con los días de curado.

Tabla 12.2 Ensayo destructivo cuesco resistencia promedio

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	DIAS DE CURADO	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPA)
DISEÑO DE MEZCLA CON 10% DE CUESCO	7	18,8
	14	19,8
	28	25,4
DISEÑO DE MEZCLA CON 20% DE CUESCO	7	18,8
	14	17,6
	28	21,6
DISEÑO DE MEZCLA CON 30% DE RR	7	16
	14	17,4
	28	18,4

11.3. COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMRESION DEL CUESCO Y RCD FRENTE AL CONCRETA REFERENCIA.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se realiza una comparación de los resultados obtenidos en el ensayo destructivo para cada mezcla realizada de Cuesco, RCD y concreto de referencia, se encontrará en color rojo una línea en 21Mpa, indicando el limite a superar, según el diseño de mezcla realizado en el proyecto. Esta se conforma de la siguiente manera: en el eje vertical se encuentra la escala en Mpa, en el eje horizontal el tipo de material con sus tres variaciones de reemplazo, subdivididos en los días de edad en los cuales se realiza la falla: siete (7) en color azul, catorce (14) color rojo y veintiocho (28) Color verde

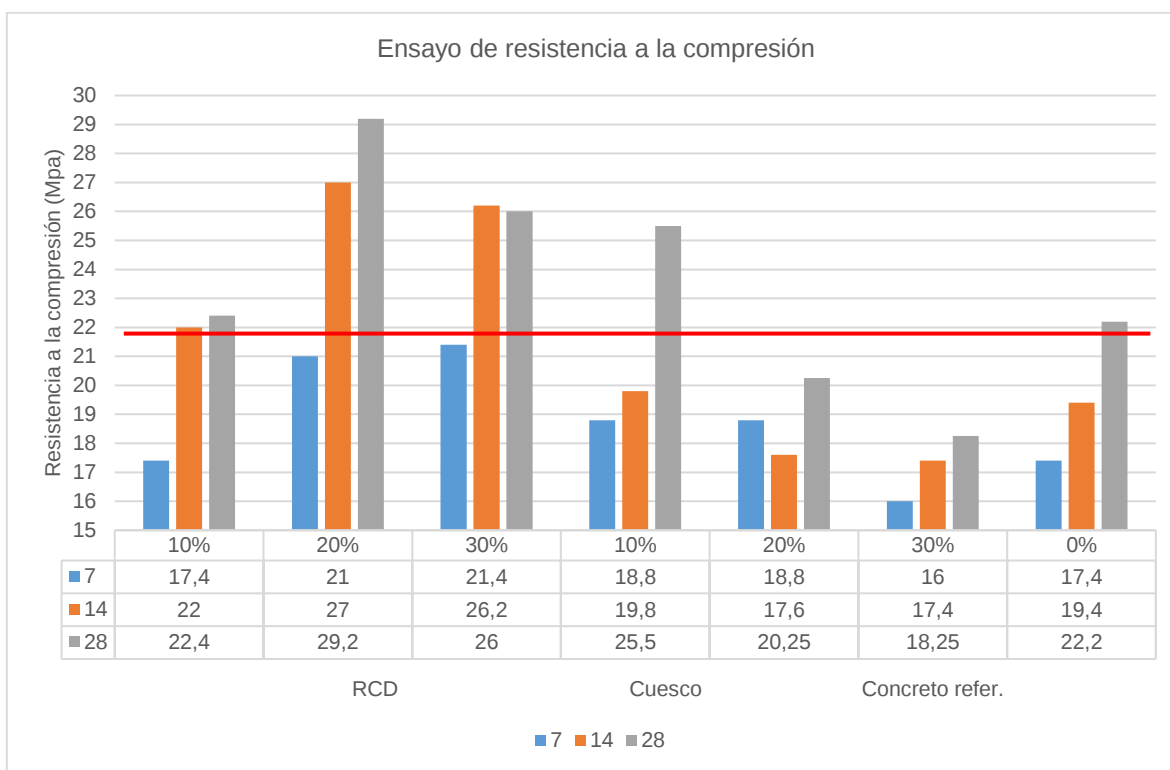


Figura 13. Comparación de la resistencia a la compresión
Fuente: Elaboración propia

12.RESULTADOS E IMPACTOS

12.1. RESULTADOS ESPERADOS

De este proceso se esperaba minimizar el impacto ambiental generado por la inadecuada disposición de residuos, la explotación de agregados pétreos y la falta de un segundo aprovechamiento de los residuos de cuesco y RCD.

Materiales que luego de ser sometidos a ensayos de laboratorio, se esperaba cumplieran con las características indicadas para su uso en obras civiles. Siendo la principal condición para el éxito de la investigación que su resistencia a la compresión fuera igual o superior a los 21 Mpa.

Tabla 12.1.Resultados

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Los valores de granulometría son similares a los del agregado grueso seleccionado para la investigación, difiere en sus características de humedad relativa debido a su composición orgánica.	Distribución granulométrica, humedad relativa.	Determinar las propiedades mecánicas del cuesco proveniente de la palma africana
Se obtuvieron resistencias superiores a los 21 Mpa para los cilindros en donde el reemplazo de agregado grueso por cuesco fueron menores (cilindros con 10% y 20%) de cuesco	Resistencia a la compresión	Evaluar el comportamiento del cuesco como agregado, a través de pruebas de laboratorio.
Los valores tanto de granulometría y humedad relativa son similares a los arrojados en la grava de rio obtenida para la investigación.	Distribución granulométrica, humedad relativa	Determinar las propiedades mecánicas del concreto de RCD.
En todas las muestras estudiadas la resistencia a la compresión fue superior a la del diseño.	Resistencia a la compresión	Evaluar el comportamiento del concreto de RCD como agregado, a través de pruebas de laboratorio.

Fuente: Autores 2019

12.2. IMPACTOS

Para realizar la pertenecía e impacto del proyecto de conglomeración del concreto derivado de residuos de construcción y demolición (concreto de RCD) y los residuos de fruto fresco (CUESCO), se evalúan aspectos sociales, económicos y ambientales en los cuales se establece la afectación y el plazo, véase en la Tabla 12.2

Tabla 12.2. Impactos

ASPECTO	IMPACTO	SUPUESTO	PLAZO
Social	Reciclar, reutilizar y reducir los residuos tanto de palma africana (CUESCO) como los escombros de construcción y demolición (CONCRETO DE RCD).	Generación de una cultura amigable con el Medio ambiente, promoviendo el consumo de recursos elaborados a partir de los residuos.	Mediano plazo
Económico	Generación de un material de construcción creado con materiales reciclados.	Obtener un material empleado en obras civiles a un menor costo y amigable con el medio ambiente.	Largo plazo
Ambiental	Reutilizar los desperdicios de (CUESCO) y (CONCRETO DE RCD).	Disminuir la contaminación que se presenta en el entorno donde son desechados estos residuos.	Corto plazo
Ambiental	Producción de un material a base de residuos de CUESCO y/o CONCRETO DE RCD para ser empleados en obras civiles.	Innovación en la manera de reciclar y reutilizar los residuos generados por el (CUESCO) y los (CONCRETO DE RCD).	Largo plazo

Fuente: Elaboración propia

13. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

13.1. CONCLUSIONES

En las muestras realizadas con residuo de cuesco y porcentaje de reemplazo del 10% en el agregado grueso, los resultados a la compresión fueron exitosos; obteniendo valores superiores de 25.5Mpa en cada uno de los cilindros sometidos al laboratorio, lo cual supera la cifra del concreto de referencia (22Mpa).

Para los cilindros con porcentajes de 20% y 30% de reemplazo de agregado grueso por cuesco, los valores obtenidos al laboratorio de compresión son bajos, siendo estos incapaces de superar el umbral de 21 MPa de resistencia.

Se evidencia una pérdida considerable de peso en los cilindros en los cuales el reemplazo de agregado grueso por cuesco era mayor. Teniendo una diferencia promedio de peso de 0.6 kg entre las muestras del 30 % de cuesco y el concreto de referencia.

Los resultados obtenidos con el concreto de RCD evidencian el potencial de reutilización que posee este. Mostrando incremento de la resistencia a la compresión, a medida en que se aumenta el porcentaje de adición al agregado grueso.

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos de compresión demostraron que este material es para la elaboración de concreto estructural, superando favorablemente lo establecido en la NSR-10 título C, la cual reglamenta la realización de un diseño de mezcla superior al deseado, cuando se trabaja con materiales experimentales. Alcanzando en esta práctica valores de resistencia a la compresión superiores al umbral ($f'_c > 21\text{MPa}$) en los especímenes de 10%, e incluso arrojó valores cercanos a los 29.3Mpa para los especímenes de 30% reemplazo de agregado grueso.

13.2. TRABAJOS FUTUROS

En el desarrollo del presente estudio, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Evaluar las propiedades químicas del CUESCO para mejorar su resistencia a la compresión debido a que es un material orgánico el cual se ve afectado por su exposición al agua.
- Los resultados obtenidos no garantizan el uso estructural de los materiales reciclables CUESCO y CONCRETO DE RCD, por lo que se requiere profundizar y realizar más estudios en las propiedades físicas para así garantizar su viabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. S. Arévalo, «La palma de aceite en el departamento del Meta,» 2019. [En línea]. Available: <http://web.fedepalma.org/la-palma-de-aceite-en-colombia-departamentos>. [Último acceso: 25 07 2019].
- [2] Sandra Patricia Reyes Ortiz, Julio Alberto Ortiz, «Aprovechamiento de los residuos de la palma africana,» villavicencio, 2008.
- [3] Manuelita, «Manuelita,» 2017. [En línea]. Available: http://www.manuelita.com/wp-content/uploads/2019/07/Informe-de-Sostenibilidad-2017-2018_VF_BAJA.pdf. [Último acceso: 12 07 2019].
- [4] Alonso, F. Prieto y J., «Reciclaje de escombros de la construcción: una alternativa ecologica para México,» *Revista de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, vol. 93, pp. 94-101, 2007.
- [5] D. A. Lara, «Sustitución del cemento con cenizas provenientes de la incineración del cuesco de la palma africana par la elaboración del hormigón,» Quito- Ecuador , 2016.
- [6] «Determinación de propiedades físico-químicas de los materiales agregados en muestra de escombros en la ciudad de Bogotá D.C.,» *Revista Ingenierías*, p. 15, 2012.
- [7] «Caracterización de escombros por peso y por volumen en la ciudad,» *UAESP*, p. 32, 2009.
- [8] J. Mesa, «La Agroindustria de la palma de Aceite en Colombia,» Bogota D.C., 2013.
- [9] Quintana, German C; Arroyave, Monica S. y Suarez, David E., «Obtención de pulpa a partir de los residuos de palma africana,» Guadalajara, Jalisco, México, 2008.
- [10] E. Castillo, «Producción de etanol celulósico a partir de las tusas de palma: Persectiva de Ecopetrol,» *Instituto Colombiano del Petroleo* , vol. II, nº 115-118, p. 37, 2016.
- [11] A. y. Serpell, «RCD,» de *Generación de RCD*, Chile, 2012, p. 8.
- [12] J. d. Herrera, «Produccion de Residuos de construccion y reciclaje,» *Residuos*.
- [13] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo, Reglamento colombiano de Construcccion Sismo Resistente, Bogotá: Aosciacion Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010.
- [14] D. Sánchez, Coleccion basica del concreto, Tecnologia y Propiedades, ASOCRETO, 1995, p. 215.
- [15] J. D. Osorio, «Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión,» Bogotá, 2018.
- [16] Instituto Universitario Politécnico "Santiago Mariño", «Propiedades mecánicas de los materiales,» Barcelona, 2016.

- [17] A. S. Cadavid, «Evaluación del manejo de residuos de construcción y demolición (RCD) en seis proyectos de viviendas de interés prioritario, como contribución a la revisión del panorama de gestión de RCD en la ciudad de Medellín,» medellin, 2014.
- [18] Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Johor, Malaysia, «Effect of Palm Oil Fuel Ash in Controlling Heat of Hydration of Concrete,» P, 2014.
- [19] J. E. Buzpón, «Fabricacion de adoquines para uso en vias peatonales, usando cuesco de palma africana,» *Revista Ingenierias*, vol. 6, nº 6, p. 12, 2010.
- [20] E. B. Becerra, *Caracterización del desecho Agroindustrial de la palma de aceite "Cuesco" para el mejoramiento de las capas granulares de la estructura de pavimento*, Bogota: Universidad militar Nueva Granada, 2017.
- [21] IDEAM, «Protocolo para el monitoreo y seguimiento del subsistema de información sobre,» [En línea]. Available: <http://www.corpochivor.gov.co/wp-content/uploads/2016/06/Anexo-1-Marco-Juridico-RUA-Manufacturero.pdf>. [Último acceso: 06 07 2019].
- [22] «legislacion ambiental colombiana,» 2018. [En línea]. Available: <https://justiciaambientalcolombia.org/herramientas-juridicas/legislacion-ambiental/>. [Último acceso: 07 2019].
- [23] E. P. Wigner, «Theory of traveling wave optical laser,» *Phys. Rev.*, vol. 134, pp. A635-A646, 2005.
- [24] A. C. Sole, *Instrumentación Industrial*, Mexico: Alfaomega, 2006.
- [25] A. Rezi and M. Allam,, «Techniques in array processing by means of transformations,» de *Control and Dynamic Systems Vol. 69*, San Diego, Academic Press, 1995, pp. 133-180.
- [26] «TenSTEP,» [En línea]. Available: Cuando ha terminado de crear los objetivos y alcance, regrese y asegúrese de que todos están alineados. No debe tener objetivos que hagan referencia a entregables no definidos en los postulados del alcance. Si no está construyendo lo suficiente para satis. [Último acceso: 14 12 2015].
- [27] A. Chávez, «Uso de lodo estacion para tratamiento de agua y agragado reciclado para la fabricacion de elemntos de albañileria,» Universidad Estatak de Campiñas, Campiñas, Brasil, 2007.
- [28] Miao, L. Liu and H., «A specification based approach to testing polymorphic attributes,» de *Formal Methods and Software Engineering: Proceedings of the 6th International Conference on Formal Engineering Methods, ICFEM 2004*, Seattle, WA, USA,, November 8-12.
- [29] E., Herrera N. Vargas, «optimización de mezclas de concreto mediante la aplicación del método walker y la introducción de un aditivo experimental,» Bogotá, 2018.