

**Implementación Cascaras de Huevo como Sustituto Parcial para el Material Cementante
en Elaboración de Concreto Arquitectónico para Mobiliario.**

Rafael Alejandro Calixto Martínez

Universidad Santo Tomás Seccional Tunja

Proyecto Tesis

Melquisedec Cortés Zambrano, PhD.

13 de junio del 2022

Agradecimientos

Mis principales agradecimientos siempre serán a la Universidad Santo Tomas seccional Tunja por darme la oportunidad de estudiar y convertirme en una profesional más del país, por darme los medios posibles para poder estudiar de la mejor manera cada una de mis asignaturas y la inversión que ellos han realizado para mejorar el proceso de aprendizaje como laboratorios y aulas en completa capacidad.

También le agradezco a la universidad por los docentes que han podido enseñarme en toda mi trayectoria universitaria, principalmente los docentes de investigación y seminario de grado que han podido darme las bases para realizar correctamente un proyecto de investigación, apoyándonos a cada uno de los estudiantes y brindándonos siempre un consejo encaminado a la excelencia.

Dedicatoria

A Dios principalmente, por permitirme realizar este proyecto y brindarme todos los medios para que no existiera ninguna dificultad durante el proceso.

A mi padre el cual me ha apoyado con cada una de las decisiones que he tomado durante mi carrera universitaria, brindándome a la vez la oportunidad de costear cada uno de los gastos que han venido surgiendo con el paso del tiempo, así como también, por los consejos que me han servido de guía y me han convertido en la profesional en formación que soy hoy en día.

A mi madre quien ha sido la persona con quien he convivido en toda la trayectoria de la universidad y me ha acompañado.

Finalmente, a todas las personas que considero como mi familia quienes han aportado en algo para que me hubiera convertido en lo que soy hoy, siendo una persona cada vez más responsable y consciente de cada uno de los retos que pone la vida

Tabla de Contenido

Índice de Figuras	5
Índice de Tablas	6
Índice de Graficas	6
1. Resumen.....	¡Error! Marcador no definido.
2. Abstract	¡Error! Marcador no definido.
3. Introducción	¡Error! Marcador no definido.
4. Problema de Investigación	¡Error! Marcador no definido.
4.1. Descripción de la Problemática.	¡Error! Marcador no definido.
4.2. Delimitación del Caso Estudio	¡Error! Marcador no definido.
4.3. Preguntas de Investigación	¡Error! Marcador no definido.
4.4. Justificación.....	¡Error! Marcador no definido.
4.5. Objetivos	¡Error! Marcador no definido.
4.5.1. Objetivo General	¡Error! Marcador no definido.
4.5.2. Objetivos Específicos	¡Error! Marcador no definido.
5. Estado del Arte	¡Error! Marcador no definido.
6. Materiales y Métodos	¡Error! Marcador no definido.
6.1. Diseño.....	¡Error! Marcador no definido.
6.2. Población	¡Error! Marcador no definido.
6.3. Entorno.....	¡Error! Marcador no definido.
6.4. Equipos utilizados.....	¡Error! Marcador no definido.
6.4.1. Máquina de pulverización	¡Error! Marcador no definido.
6.4.2. Análisis granulométricos de los agregados finos y gruesos (I.N.V.E 213-NTC 77)	¡Error! Marcador no definido.
6.4.3. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto (I.N.V.E 410-07)	¡Error! Marcador no definido.
6.4.4. Máquina de los ángeles	¡Error! Marcador no definido.
6.5. Dosificaciones	¡Error! Marcador no definido.
7. Resultados	¡Error! Marcador no definido.
7.1. Recolección de los materiales	¡Error! Marcador no definido.
7.2. Granulometría de los materiales.....	¡Error! Marcador no definido.
7.2.1. Granulometría de finos	¡Error! Marcador no definido.

7.1.2. Granulometría de gruesos	.....	¡Error!
<i>Marcador no definido.</i>		
7.2. Peso unitario compacto y seco de los agregados	.....	¡Error! Marcador no definido.
7.3. Peso unitario (gravedad específica) de los agregados y porcentaje de absorción.	.....	¡Error!
<i>Marcador no definido.</i>		
7.3.1. Peso unitario (gravedad específica) de los agregados y porcentaje de absorción del agregado grueso INV-223.	.....	¡Error! Marcador no definido.
7.3.2. Peso unitario (gravedad específica) de los agregados y porcentaje de absorción del agregado fino INV-222	.....	¡Error! Marcador no definido.
7.4. Densidad del cemento portland.	.....	¡Error! Marcador no definido.
7.5. Dimensiones de los cilindros según la NTC-1377.	.....	¡Error! Marcador no definido.
7.6. Elaboración mezcla para los cilindros de concreto.	.....	¡Error! Marcador no definido.
7.6.1. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto a 7 días.	.....	¡Error! Marcador no definido.
7.6.2. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto a 14 días.	.....	¡Error! Marcador no definido.
7.6.3. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto a 28 días.	.....	¡Error! Marcador no definido.
8. Análisis de Resultados	.....	¡Error! Marcador no definido.
9. Conclusiones y Recomendaciones	.....	¡Error! Marcador no definido.
10. Bibliografía	.....	¡Error! Marcador no definido.

Índice de Figuras

Figura 1.	.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.	.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.	.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.	.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5.	.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6.	.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7.	.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 8.	.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 9.	.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 10.	.....	¡Error! Marcador no definido.

Figura 11.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 12.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 13.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 14.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 15.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 16.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 17.....	¡Error! Marcador no definido.

Figura 18.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 19.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 20.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 21.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 22.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 23.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 24.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 25.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 26.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 27.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 28.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 29.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 30.....	¡Error! Marcador no definido.

Índice de Tablas

Tabla 1.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 5.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 6.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 7.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 8.....	¡Error! Marcador no definido.

Índice de Graficas

Grafica 1. Curva granulométrica agregados finos	¡Error! Marcador no definido.
---	-------------------------------

Grafica 2.	Curva granulométrica agregados gruesos	¡Error! Marcador no definido.
Grafica 3.	Resistencia a compresion cilindros	98

1. Resumen

Considerando la importancia que ha venido tomando con el paso de los años la búsqueda de sustitos para materiales que tengan algún efecto contaminante a través de diferentes tipos de investigaciones y ensayos, con el fin de poder implementar alternativas que contrarresten al problema de contaminación por el cual esta pasando el mundo actualmente, el presente proyecto tiene como objetivo principal determinar la resistencia a la compresión que obtendría una mezcla de concreto al sustituirle parte de su material cementante por cascaras de huevo triturado y calcinado en porciones de 10%, 20%, 30% y 35% a través de los ensayos respectivos que se le realizan a las muestras cilíndricas en el laboratorio, para poder así conocer su viabilidad y proponer de manera concisa la utilización de este tipo de material no convencional en las mezclas de concreto que se utilizan hoy en día para el uso de mobiliario arquitectónico, recalcando el hecho de que se le hace una comparación de los resultados obtenidos respecto a una resistencia promedio que tiene una muestra de concreto tradicional de 21 MPa o 3000 PSI.

Por tal motivo, a través de un proceso de recolección de los materiales y agregados se realizan las muestras cumpliendo con lo establecido en las normas del INVIAS para los agregados e INCONTEC para la realización de los cilindros, mencionando que a las cascaras de huevo se les someten procesos de trituración y calcinación para obtener un material apto de reemplazar al cemento permitiendo una correcta adherencia entre los demás materiales al momento de mezclar. Una vez se obtienen los cilindros y se fallan a través de las pruebas de compresión en el laboratorio de la Universidad Santo Tomas, se puede asegurar que el cilindro de 10% de reemplazo de cascaras de huevo obtuvo la resistencia mas cercana a los 21 MPa, por lo tanto, se genera una nueva alternativa para utilizar en cualquier tipo de uso mobiliario arquitectónico que requiera concreto a través de un material enfocado a la sostenibilidad dándole un mejor uso y con la posibilidad de poder implementarse no solo en Tunja sino en cualquier parte del mundo.

2. Abstract

Considering the importance that has been taking over the years the search for substitutes for materials that have some polluting effect through different types of research and tests, in order to be able to implement alternatives that counteract the pollution problem for which The world is currently going through, the main objective of this project is to determine the compressive strength that a concrete mixture would obtain by replacing part of its cementing material with crushed and calcined egg shells in portions of 10%, 20%, 30% and 35% through the respective tests that are carried out on the cylindrical samples in the laboratory, in order to know their viability and concisely propose the use of this type of unconventional material in the concrete mixtures that are used today. nowadays for the use of architectural furniture, emphasizing the fact that a comparison is made of the results obtained Compared to an average strength of a traditional concrete sample of 21 MPa or 3000 PSI.

For this reason, through a process of collecting the materials and aggregates, the samples are made in compliance with the provisions of the INVIAS standards for aggregates and INCONTEC for the production of cylinders, mentioning that the eggshells are They undergo crushing and calcination processes to obtain a material suitable for replacing cement, allowing a correct adherence between the other materials at the time of mixing. Once the cylinders are obtained and they are failed through the compression tests in the laboratory of the Santo Tomas University, it can be ensured that the cylinder of 10% replacement of eggshells obtained the closest resistance to 21 MPa, therefore, a new alternative is generated to use in any type of architectural furniture use that requires concrete through a material focused on sustainability, giving it a better use and with the possibility of being implemented not only in Tunja but in any part of the world.

3. Introducción

La industria de la construcción ha presentado un gran auge de crecimiento durante los últimos años debido al desarrollo que vienen presentando todos los países del mundo, lo cual ha causado problemáticas ambientales viéndose reflejadas principalmente en el proceso de producción de algunos materiales necesarios para este. Gran parte de las construcciones requieren del uso del concreto reforzado el cual se compone de una cantidad considerable de cemento, donde su producción genera grandes emisiones de partículas sólidas que solo producen un daño directo a la capa de ozono (Enseñat de Villalonga, 2012). En el caso de Colombia, esta preocupación se encuentra respaldada por el hecho de que para el año 2021 la producción de cemento gris fue de 3.374,5 miles de toneladas, lo que representa un incremento del 14.9% respecto al año 2020 (DANE, 2021), por esta y otras razones de relevancia, se han venido presentado a través de investigaciones propuestas para materiales sustitutos que puedan brindarle a las mezclas de concreto las mismas condiciones de resistencia y durabilidad enfocándolo en un material sostenible, puesto que presentar una propuesta radical de evitar el uso del concreto actualmente afectaría en cierta manera al desarrollo del país en el tema de la construcción e infraestructura.

Las cascaras de huevo hacen parte de los principales residuos que mas dejan las actividades agroindustriales, donde claramente no son explotados y/o utilizados de forma útil debido a que suelen desecharse en la naturaleza sin ningún tipo de control lo que contribuye de forma negativa a las problemáticas ambientales que vive el mundo actualmente (Alvarado, 2019). El poder presentar y ejecutar la propuesta de este proyecto de investigación buscaría mejorar la economía del uso del concreto arquitectónico para diferente tipos de aplicaciones, enfocándose en este caso en mobiliarios, para así poder beneficiar no solo a los consumidores sino a la empresas encargadas de fabricar y comercializar estos productos, donde es importante

recaltar el hecho de que al final se estaría encaminando a un desarrollo sostenible a través de la reducción de procesos contaminantes que genera el cemento hoy en día. Los mobiliarios arquitectónicos se han ido presentando desde hace pocos años, donde a nivel mundial han sido elementos esenciales para la planificación urbana, siendo ciudades como Barcelona o París pioneras en este tema. Para el caso de Colombia, ciudades como Bogotá y Medellín han aprovechado a través de su uso el manejo del espacio público y otros elementos que lo componen con el fin de embellecer las ciudades fomentando así el turismo y el desarrollo (Cárdenas, 2020); en la ciudad de Tunja debido a la llegada de nuevos proyectos de construcción se ha ido evidenciando el uso de mobiliarios hechos de concreto, especialmente en espacios aledaños a los centros comerciales, sin embargo, aun es muy limitado su uso debido a que es un tema bastante nuevo en la ciudad. Pero gracias a las diferentes investigaciones y propuestas que han ido surgiendo se puede asegurar que en el momento que se implemente la utilización de cualquier tipo de material que permita reemplazar los materiales tradicionales que generan contaminación por unos más aptos como en este caso las cáscaras de huevo, se avanzaría en gran escala a un futuro más sostenible y amigable con el medio ambiente.

La finalidad es poder alcanzar una implementación mucho más útil, debido a que durante la consulta e investigación de las fuentes bibliográficas se encuentra que al utilizar las cáscaras de huevo se alcanza a disminuir en cierta manera la resistencia de la mezcla generando que se tengan que proponer sustituciones en porcentajes bastante reducidos lo que implica que no habría un impacto ambiental elevado en realidad, por lo cual se propone el uso del concreto específicamente en temas arquitectónicos como mobiliarios, donde estos no van a estar sometidos a cargas relevantes, siendo más sencillo proponer porcentajes mayores de sustitución.

4. Problema de Investigación

4.1. Descripción de la Problemática.

En la actualidad la construcción demanda grandes cambios para la sostenibilidad del medio ambiente, en una edificación de cualquier tipo de estructura se consume entre el 20 % y 50% de los recursos físicos en su entorno (Alavedra, 1998). Del mismo modo, una vez contruidos continúan siendo una fuente de contaminación por el impacto sobre el territorio y los gases que emiten. Como este problema no ha sido tratado adecuadamente la calidad de vida de las personas empeora con el tiempo, por lo que una forma de mitigar esto es el uso de materiales reciclados en la construcción que genera un gran alivio para los recursos naturales que no se pueden conservar o restaurar. En Colombia se han tomado medidas gubernamentales como el decreto N° 1285 de 2015 que establece los lineamientos de una construcción sostenible para las edificaciones encaminado con la responsabilidad ambiental y social, o la resolución 0549 de 2015.

La generación de subproductos o residuos agroindustriales en las diferentes etapas de los procesos productivos es actualmente una problemática a nivel mundial, debido a que en la mayoría de los casos no son procesados o dispuestos adecuadamente, situación que contribuye al proceso de contaminación ambiental. Los residuos agroindustriales cuentan con un alto potencial para ser aprovechados en diferentes procesos que incluyen elaboración de nuevos productos, agregación de valor a productos originales y recuperación de condiciones ambientales alteradas (Vargas & Pérez, 2018). Teniendo en cuenta lo anterior, la cáscara de huevo al ser un residuo agroindustrial presenta un gran potencial para ser utilizado en el sector de la construcción como sustituto.

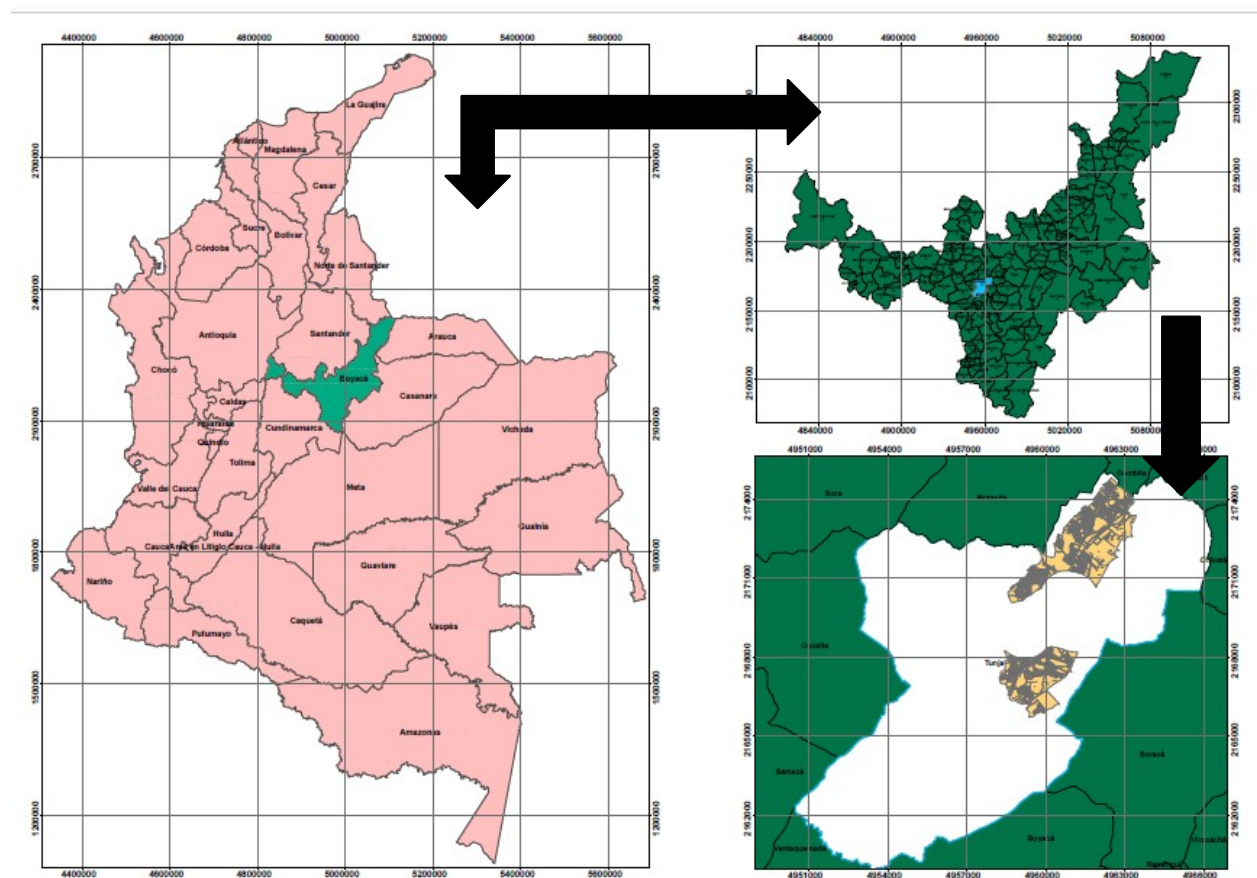
La construcción sostenible es un concepto global que identifica un proceso completo en el que influyen numerosos parámetros que, apoyados unos sobre otros, tienen como consecuencia productos urbanos eficientes y respetuosos con el Medio Ambiente. La reutilización y el reciclaje de los residuos de la construcción a lo largo del ciclo de vida de las edificaciones y/o cualquier otro uso que tenga el concreto es una de las estrategias fundamentales para alcanzar la sostenibilidad en el sector de la construcción (Fajardo y Moreno, 2018). Y para ello, el concepto de buscar materiales no convencionales que proporcionen ayudas en cuanto a la resistencia de un material como lo es el concreto y que además no sea un problema para su obtención, permitirá encontrar una alternativa donde se aporte de cierta manera a la protección del medio ambiente, pues es importante recalcar que a pesar de que no se está planteando un reemplazo del 100%, ya que es claro que no se obtendría las condiciones de resistencia mínimas requeridas, el poder implementar este tipo de propuestas si permiten contribuir de una u otra forma, así como también fomentan la importancia de investigar y seguir en la búsqueda de nuevos materiales aptos para reemplazar a los contaminantes.

4.2. Delimitación del Caso Estudio

Toda la metodología del proyecto se desarrolla en la ciudad de Tunja-Boyacá la cual, según la página de la alcaldía de la ciudad, tiene una extensión total de 121.4920 Km² donde solamente 19.7661 Km² son de área urbana, está ubicada a una altitud de la cabecera municipal de 2782 m.s.n.m y se caracteriza por un clima promedio de 13°C.

Cuenta con unas coordenadas específicas de Latitud Norte: 5°32'25" y Longitud Oeste de Greenwich: 73°21'41". Por último, es una ciudad en desarrollo, la cual crece en varios sectores de la industria de construcción.

Figura 1.
Mapa de Tunja, Boyacá, Colombia en ArcGIS



La ciudad de Tunja no ha tenido graves problemáticas de contaminación a comparación de otras ciudades en todo el territorio colombiano y una de las razones son las pocas industrias ubicadas dentro de la ciudad así como en todos sus alrededores; esta afirmación está respaldada con el reporte mensual de calidad del aire publicado por CORPOBOYACA en el año 2019, dentro del cual se afirma que Tunja es una de las ciudades que presentan menor concentración de contaminantes a criterio del nivel máximo permisible establecido por la resolución 2254 de 2017 del ministerio de Ambiente, siendo posible evaluarlo a través de las estaciones móviles donde actualmente la ciudad cuenta con una estación ubicada en el parque recreacional del Norte.

Respecto al uso de mobiliarios arquitectónicos de concreto se pueden resaltar muy pocos ejemplos a lo largo de la ciudad como a las afueras del centro comercial Viva Tunja y en la zona de Green Hills, sin embargo, esto es un incentivo de que en el momento que se quieran ofrecer nuevas posibilidades del uso de estos, se implementen con las cascaras de huevo como material sustituto del cemento ubicando a Tunja como una de las pocas ciudades en utilizar mobiliarios arquitectónicos con concreto sostenible.

Con base en todo lo anteriormente mencionado, es una propuesta viable plantear el proyecto de investigación en la ciudad de Tunja, donde la finalidad del proyecto se encuentra encaminada a evaluar las propiedades que obtendrán cada uno de los cilindros de concreto para que al momento de fallarlos y determinar su resistencia se pueda determinar un porcentaje definitivo para poder ser reemplazado en cualquier tipo de mobiliario que se llegue a fabricar. Por lo tanto, es primordial primero determinar a través de ensayos como se comportan los materiales que componen el concreto respecto a su adherencia con las cascaras de huevo, para que en llegado caso se tenga un resultado satisfactorio se pueda llegar a implementar a escala.

4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Es posible añadir cascaras de huevo trituradas a una mezcla de concreto tradicional sustituyendo parte del cemento utilizado para su fabricación, siendo así una alternativa de uso en mobiliarios arquitectónicos utilizados en la actualidad?
- ¿Cuál es la resistencia de una mezcla de concreto, sustituyendo en 10%,20%, 30% y 35% el cemento con cascaras de huevo, al someterla a ensayos de compresión con respecto a una mezcla de concreto tradicional?
- ¿Qué propiedades debe tener un concreto arquitectónico para poder ser implementado en mobiliario y que reacción presenta al incluirsele agregados?
- ¿Qué porcentaje de sustitución en los cilindros de concreto reacciona mejor al ensayo de compresión y cuál debería ser la propuesta final para implementar en los mobiliarios comerciales de concreto?

4.4. Justificación

Una investigación como esta es relevante en el momento que se verifique que el uso de las cáscaras de huevo si proporciona la resistencia esperada, puesto que la industria del cemento aporta CO₂ al medio ambiente en cantidades considerables, y el poder generar una alternativa como esta podría contribuir al gran daño ambiental que tiene el mundo actualmente, considerando que el concreto es un material que tiene diferentes usos en el desarrollo de una sociedad por ende es inevitable que se utilice.

El poder encontrar una buena reutilización a un material perteneciente a la industria agroindustrial, el cual suele desecharse, es el mayor objetivo buscando así que éste cuente con propiedades que pueden llegar a ser compatibles con el diseño y elaboración de concretos y estas propiedades no deben ser desperdiciadas. Este es el caso de la cáscara de huevo, donde actualmente el material no tiene un uso establecido y la intención del proyecto es lograr un aprovechamiento del material que, al ser reutilizado y sustituido en parte por un material contaminante, aportará un beneficio al medio ambiente y a la industria cementera misma, trayendo beneficios económicos y ambientales. Pues estas cascaras son un tipo de residuo con un gran potencial para la construcción puesto que tiene propiedades de carbonato de calcio que con un superplastificante tienen una buena reacción en el diseño de la mezcla del concreto (Alvarado, 2019).

Se pretende impulsar la utilización de materiales de construcción no convencionales, buscando soluciones a problemas de la sociedad, en construcciones como lo son: la vivienda de interés social, la construcción de la infraestructura básica para almacenamiento y transporte de agua, así como también construcciones civiles comunes. Pues en muchas ocasiones cuando se

presentan altos costos al construir, se recurre a la implementación de materiales de mala calidad, por tanto, sufren deterioro estructural en un lapso muy corto de tiempo, generando conciencia a la ciudadanía que el uso de este tipo de sustitutos aporta a una construcción sostenible que es viable en cuanto a lo económico y que aun así cumple con todos los requerimientos de la norma sismorresistente colombiana.

4.5. Objetivos

4.5.1. *Objetivo General*

Implementar las cascaras de huevo como sustituto parcial del cemento en diferentes porcentajes para una mezcla de concreto enfocado a mobiliario arquitectónico, con el fin de mejorar su composición a futuro y aportar así a la construcción sostenible.

4.5.2. *Objetivos Específicos*

- Realizar una detallada revisión bibliográfica que permita ampliar los conocimientos previos acerca de las mezclas de concreto arquitectónico, sus propiedades y posibles beneficios de agregados.
- Determinar la resistencia que aporta una mezcla de concreto al sustituir en 10%, 20%, 30% y 35% del cemento por cáscaras de huevo trituradas, sometiéndola al ensayo de compresión.
- Comparar los resultados obtenidos de la resistencia para las cuatro clases de cilindros con respecto a la falla de un cilindro tradicional con una resistencia de 21 MPa, evaluando su efectividad.
- Definir el porcentaje de sustitución de cascaras de huevo respecto al cemento que mejor resultado de resistencia obtuvo en comparación al concreto tradicional de 21 MPa, para proponer un uso comercial en el futuro.

5. Estado del Arte

Para poder evaluar si las cáscaras de huevo son una buena alternativa como sustituto del cemento en una mezcla de concreto es importante conocer artículos, tesis, entre otros documentos de investigación, dentro de los cuales presenten propuestas de materiales no convencionales especialmente sustituyendo materiales que actualmente a través de sus procesos de fabricación aporten de forma negativa al medio ambiente, haciendo énfasis en algún material perteneciente al concreto tradicional para poder evaluar y verificar que tan factible es realizar este proyecto.

María Alejandra Medina y Javier Mauricio González Díaz en el año 2014 en Bogotá gracias a la búsqueda de una producción más limpia realizan una investigación acerca del diseño y evaluación del compostaje como alternativa para el tratamiento de residuos de aditivos en una construcción, donde su principal objetivo es establecer una alternativa de tratamiento de un residuo industrial denominado sedimento de aditivo proveniente de la industria de químicos para la construcción, y así evitar su disposición a través de incineración o relleno de seguridad. La metodología de trabajo que se usó fue cuantitativa, ya que realizaron investigaciones acerca del tratamiento de residuos de aditivos de construcción y así mismos estudios de campo que determinen la probabilidad del uso de estos residuos.

La adición de un sedimento de aditivo aumenta el tiempo de descomposición de los residuos compostados, debido a la carga orgánica adicional que aporta para ser descompuesta por los microorganismos y al aumento de humedad que restringe la actividad microbiana por déficit de oxígeno. Se puede resaltar que gracias a este tratamiento de residuo industrial se puede obtener una disminución del impacto ambiental producido por la incineración o relleno de seguridad, generando al residuo el potencial de ser usado nuevamente en otro proceso, viendo

cómo es posible con diferentes residuos darles un nuevo uso considerando que tienen un destino diferente (Medina, González. 2014).

W Mozo, M Cortés y E Vera en el año 2019 en Tunja – Boyacá a través de un artículo de investigación hablan acerca de los ladrillos sustituyendo la arcilla por reciclado de cenizas de vidrio y lodo, en él se menciona que en el estudio del artículo se pretende generar un valor añadido a los materiales que son contaminantes y están siendo generados en gran cantidad por el ser humano, por lo cual es de gran importancia encontrar un uso en la construcción para así ayudar y reducir el impacto ambiental que se está generando a día de hoy lo que ha generado un resultado contraproducente afectando no solo a la salud sino al mismo diario vivir de todas las personas (Mozo, Cortés y Vera. 2019).

Un artículo publicado en el año 2020 por los autores Zuquetti, Ferreira, entre otros, denominado ‘Aditivos e Adições No Concreto’ recalca la importancia del hormigón dentro del cual menciona que este es el principal material utilizado en la construcción de cualquier tipo de estructura, y que con los nuevos retos que presenta la ingeniería el hormigón se puede modificar con la adición de ciertos materiales y productos, lo que ha hecho que la industria de los aditivos crezca significativamente en los últimos años. El objetivo del artículo fue realizar una investigación exhaustiva entre referencias bibliográficas a fin de obtener un conocimiento y una comprensión más amplia sobre el tema donde se abordan las características fisicoquímicas, mecanismos de acción, aplicaciones y efectos secundarios en el hormigón, así como también unas comparaciones del efecto de los aditivos según sus ventajas y desventajas para poder así conocer un poco más a fondo el comportamiento del concreto, su comportamiento al someterlo a pruebas y ver si existe la posibilidad de tener que utilizar algún aditivo dependiendo los resultados obtenidos en este proyecto (Zuquetti et al. 2020).

Otro documento fundamental para conocer mejor las características del concreto es un artículo que parte con la premisa de que la utilización de muros de concreto es primordial en las construcciones, pero para las demandas sísmicas en las viviendas de interés social no se presentan los requerimientos necesarios ya que se utilizan muros con baja resistencia de concreto lo que genera problemas, por ende, los investigadores Julián Carrillo, Giovanni González y William Aperador realizaron un estudio llamado ‘Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero’ publicado por la revista de Ingeniería, investigación y tecnología donde buscan la posibilidad de utilizar fibras de acero en vigas de concreto reforzado (CRFA) para así incrementar la resistencia a cortante, verificando si dicho material es viable o no por medio de unos ensayos (compresión, módulo de elasticidad, tensión indirecta y tensión por flexión) en 128 especímenes en forma de cilindros y vigas, realizado estos en la Universidad Autónoma de México en el año 2013.

Uno de los estudios que sirvió como base es el de Adebar (1997) donde menciona que, si se adiciona una cantidad de fibra suficiente, se puede evitar falla frágil por cortante y al mismo tiempo generar comportamiento más dúctil en vigas. Los resultados experimentales permitieron identificar las siguientes observaciones; la manejabilidad del concreto disminuye a medida que se incrementa la cantidad de fibras en el concreto, al incrementar el contenido de fibras la resistencia a compresión del concreto disminuye a un valor casi constante y su capacidad de deformación en compresión aumenta y por último, la resistencia máxima a tensión por flexión, su deformación y tenacidad aumentan proporcionalmente con el contenido de fibras de acero. Este tipo de estudios son de vital importancia ya que al buscar e implementar diferentes materiales que se puedan adicionar a las mezclas de concreto, permitirán que haya una mayor resistencia es decir mejores construcciones que estén preparadas para cualquier tipo de

calamidad y cumpla con los requerimientos de la norma, aún más en viviendas de interés social como es este caso (Carrillo, González, Aperador. 2013).

La revista Ingeniería de Construcción de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito en el año 2019, publica el artículo ‘Assessment of a mortar with recycled aggregate from a concrete improved by carbonation: a look to a sustainable construction’ realizado por los investigadores A. Muñoz, N. Torres y A. Guzmán, donde presentan una alternativa al concreto con un agregado reciclado para darle una mejor perspectiva a lo que se conoce actualmente como construcción sostenible, durante esta investigación se evaluaron propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad de los morteros, los cuales tenían reemplazos parciales de agregado fino con agregado reciclado y agregado carbonatado en proporciones de 0%, 25% y 50%.

Un estudio realizado por Geng & Sun en el 2013 menciona que en los agregados reciclados se crea una capa porosa que disminuye su calidad y facilita la formación de microgrietas dentro del nuevo mortero u hormigón, dicho estudio sirve como base para iniciar a investigar a fondo una posible solución a esta problemática o verificar si con una correcta proporción no sucedería esto, pues en esas condiciones no se podría implementar a las mezclas de concreto; los resultados finales del artículo mencionado confirmaron que las propiedades físicas del material reciclado mejoran al someterlo al proceso de carbonatación, donde a pesar de no compensar el efecto de relleno en la estructura de poros del mortero si mostró un aumento notable en la resistencia a la compresión de la mezcla. Es importante que este tipo de investigaciones motiven a los demás investigadores a buscar alternativas, como en este caso la carbonatación, que le generen a los residuos u otros materiales propuestos, nuevas soluciones para así poder ser utilizados, pues muchas veces se descartan los materiales porque generan pérdidas de resistencia en las mezclas, pero es más viable buscar una solución que convierte

estos materiales en posible sustituto ya que así se podría dar finalmente una correcta utilidad (Muñoz, Torres, Guzmán. 2019).

Un artículo realizado por M Cortés y E Vera en el 2019 se habla acerca de las nuevas investigaciones tecnológicas sobre las mezclas de concreto, en donde es importante tener en cuenta cómo funcionan los materiales en contra de la corrosión ya que de esto dependen la duración de estos mismos, pues los costos de la restauración de los elementos de concreto afectados por la corrosión son verdaderamente altos y por ende este tema le representa grandes costos a diferentes países que son potencias mundiales (Cortés y Vera. 2019).

El uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en el concreto es un artículo que tiene como autores a Cesar Juárez Alvarado, Patricia Rodríguez López, Raymundo Rivera Villarreal y M A. de los Ángeles Rechy de con Roth, se publicó en el año 2003, en la Universidad Autónoma de Nuevo León en Monterrey, México. Es otra de las fuentes bibliográficas que permite observar diferentes sustitutos que se le pueden aplicar al concreto, la metodología del trabajo fue cuantitativa ya que se realizó un estudio previo del tema y así se comenzó el trabajo de campo en el cual el tratamiento protector con parafina le permitió a la fibra reducir su capacidad de absorción de agua, además de mantener un porcentaje aceptable de su resistencia última a la tensión después de haber estado expuesta durante un año a un ambiente húmedo y alcalino, lo que resulta sumamente crítico.

La fibra de lechuguilla permite un comportamiento dúctil después del agrietamiento de la matriz de concreto. Las fibras largas adicionadas en bajas cantidades, es decir, con porcentajes bajos del volumen total de la mezcla proporcionan al concreto la capacidad para soportar mayores cargas de flexión en comparación con el concreto simple. Se puede resaltar que este artículo muestra cómo a partir de las fibras de asbesto que están catalogadas como un potencial

peligroso para la salud se empieza con la búsqueda de posibles sustitutos con características parecidas al asbesto. Las fibras de acero, vidrio y de polipropileno son unas alternativas viables por sus propiedades físico-mecánicas, pero son económicas.

Por el contrario, las fibras vegetales o naturales se encuentran en grandes cantidades y son una fuente renovable continua, por tal motivo es un objeto de investigación constante, el defecto que presentan estas fibras es por su alcalinidad de la matriz de concreto. La durabilidad del compuesto dependerá entonces de la protección que tenga la fibra y de las características de impermeabilidad propias de la matriz. En la investigación se muestran resultados de propiedades físico-mecánicas de la fibra, durabilidad de la fibra, tratamiento a la fibra previo al mezclado, efecto del volumen y la longitud de la fibra, ensayos de morteros realizados con la fibra, entre otros (Juárez. 2006).

El artículo realizado y publicado por los investigadores Nelson Ricardo Camargo y Carlos Hernando Higuera en el año 2016 a través de la revista de Ciencia e Ingeniería Neogranadina de Colombia plantea la utilización del concreto hidráulico para pavimentos con una modificación de sílice obtenida de la cascarilla del arroz, esto con el objetivo de reemplazar parte del cemento, pues la producción de este es uno de los procesos más contaminantes en el planeta; este proyecto busca analizar el comportamiento mecánico, físico y químico del material mediante ensayos con proporciones de sustitución de 5%, 15% y 30% e identificar si cumple con los requerimientos necesarios para poder así implementarlo como material definitivo ayudando en su paso con la problemática ambiental. La idea no está tan alejada de la realidad ya que se han realizado a lo largo de los años diferentes investigaciones con residuos agroindustriales como sustituto parcial del cemento en morteros y concretos, además la cascarilla de arroz es un

residuo que ha venido presentando un gran aumento por todo el país, el cual se desecha sin ningún uso alternativo lo que genera contaminación.

Los resultados fueron favorables ya que mediante las pruebas se determinó que la ceniza de la cascarilla de arroz es factible, pero de todas las muestras la que mejor reaccionó fue la del 5%, pues la de 15% y 30% generan una pérdida significativa de resistencia y no podría ser utilizada para el pavimento rígido. Este proyecto le da una solución viable a la gran cantidad de residuos que generan los molinos de arroz donde a su vez podría darle un valor agregado a esta y adicionalmente se estaría implementando un material complementario al cemento, reduciendo así el alto impacto ambiental que se ha venido formando; cabe resaltar que aunque las cenizas cumplieron con las expectativas, según los resultados es recomendable una sustitución mínima ya que no se puede permitir una disminución en la resistencia del material (Camargo, Higuera. 2016).

Una vez se conoce el comportamiento general del concreto considerando que traen consigo sustitutos de otros materiales, aditivos y demás que podrían afectar la resistencia de esta mezcla, se hace una investigación enfocada más al material que se quiere utilizar como sustituto en esta investigación; las cáscaras de huevo. Francisco Gomez, Steven Frias, Viandy Bravo, Carlos Pacheco de la Universidad del Norte en Barranquilla Colombia, hacen una publicación en el libro Investigación formativa en Ingeniería publicado en el año 2018 con el objetivo de reducir tanto los costos como la contaminación generada en obras civiles, haciendo la propuesta de realizar diferentes mezclas de mortero de cemento hidráulico con cáscara de huevo en diferentes porcentajes para llevarlas al horno a temperaturas de 550 °C y 800°C y poder someterlas a pruebas de compresión midiendo así su resistencia según 7, 14 y 28 días. Los resultados de este artículo permiten tener premisas fundamentales para el desarrollo de este proyecto como que

tomando un reemplazo de entre el 3%-5% de la mezcla se puede generar un ahorro de aproximadamente el 6.94% del costo de mortero en una obra, el cual es muy provechoso y pueden verse reflejados sus beneficios en las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera por la incineración de los componentes del producto y en la disminución de material particulado en la atmósfera a partir de la extracción, transporte y la molienda de la caliza.

Esta investigación es fundamental ya que su conclusión principal, que es favorecedora para este proyecto, es que la cáscara de huevo es un material potencial en la construcción al ser utilizado como material cementante suplementario en morteros debido a que sus resistencias finales no varían en gran porcentaje con las mezclas de mortero sin ninguna sustitución. Es importante recalcar que se toma de guía las resistencias mínimas que exigen las normas, para este caso haciendo uso de la Norma Colombiana NTC 220 que es una traducción de la Norma Norteamericana ASTM C109 (Gomez et al. 2018).

Al artículo anteriormente mencionado lo respalda una tesis presentada por Jady Camones y su asesor Gumercindo Flores en el 2018 ante la Universidad San Pedro de Perú, la cual pretende usar el bagazo de cebada activada térmicamente para obtener su ceniza y la cáscara de huevo recolectada de diversas maneras para luego ser triturada y obtener una consistencia pulverizada, todo esto con el objetivo de medir la resistencia de adoquines de concreto con resistencia normal $f'_c=320 \text{ kg/cm}^2$ sustituyendo el cemento un 10% por la combinación de los dos materiales ya mencionados. Para ejercer un control y minimizar los problemas ambientales se analizaron las diferencias en el comportamiento mecánico y de un adoquín de concreto tradicional y un adoquín de concreto experimental. Se realizó el diseño de la mezcla sustituyendo en el cemento un 6% por ceniza de bagazo y un 4% de cáscara de huevo pulverizada, se hizo la mezcla por el método ACI y los ensayos respectivos con el agregado fino y el agregado

grueso. Los ensayos de compresión se realizaron a los 7, 14, 21 y 28 días de curado, se comparó la resistencia a la compresión obtenida de la muestra patrón y la muestra experimental, se encontró que la muestra experimental tiene una resistencia de 353.93 kg/cm² respecto al adoquín tradicional donde se encontró una resistencia de 351.10 kg/cm², teniendo un 9,72% más de la resistencia deseada (Camones. 2018).

Otro artículo consultado en la revista CyTA Journal of food da resultados alentadores respecto a las cascaras de huevo debido a que realizan una preparación y caracterización de películas compuestas basadas en almidón de maíz natural y reforzadas con polvo de cascara de huevo, allí se comprueba que la adición de estas cascaras mejora significativamente la fuerza tensil, el alargamiento a la rotura y las propiedades de barrera contra el vapor de agua y el oxígeno, así como también los compuestos orgánicos presentes en la superficie de las cascaras de huevo aumenta la adhesión entre las partículas estudiadas dando un factor de intensificación que las constituye como una buena opción para desarrollar materiales ecológicos destinados a reemplazar el uso del plástico en envases y otros usos. Es importante mencionar que se afirma que este material podría mejorar la rigidez macroscópica y aumentar la adhesión interfacial entre las partículas, lo que lleva a analizar si permanecieran estas características a la hora de interactuar con las partículas que trae la arena, los agregados, el cemento y el agua que hacen parte de una mezcla de concreto tradicional (Bingxue et al, 2018).

Por último, el concreto arquitectónico tiene sus propias características y delimitaciones dentro de las cuales es necesario hacer una correcta revisión bibliográfica para comprender a que temas se está enfrentando el proponer un nuevo tipo de concreto para el uso de mobiliarios listos para su comercialización. Según el artículo publicado por la revista EIA el cual habla de las patologías, causas y soluciones del concreto arquitectónico en Medellín se habla de los defectos

existentes en este material, pero propone soluciones particulares para cada defecto. Las toleraciones permisibles de los defectos superficiales están estrechamente relacionadas con el grado de exposición al que estará el elemento, puestos que entre los principales defectos que se han encontrado en la ciudad de Medellín están las burbujas, las variaciones de color, los descascaramientos, las rebajas, los hormigueros, y los desalineamientos. Debido a esto se debe analizar la calidad de los materiales que se plantean utilizar, su procedencia y el uso que tendrá este tipo ya que los factores de entorno tienen una influencia para saber si es viable o no utilizar este material (Figuerola y Palacio. 2008).

6. Materiales y Métodos

6.1. Diseño

El diseño de este proyecto se enmarca en un paradigma de tipo experimental, específicamente en un ensayo controlado que consiste en pruebas que se deben realizar para determinar si las mezclas de concreto con sustitución de cascaras de huevo terminan resistiendo lo necesario para ser aplicadas a la vida diaria, se controlan los pasos a seguir puesto que existe un conocimiento previo de cómo abordar el proceso de fabricación de la mezcla así como el de la realización de las pruebas de compresión, lo que permite una interacción directa de los investigadores con los materiales y la prueba a realizar.

6.2. Población

La población a la que está dirigida esta investigación es realmente muy amplia, puesto que en el momento que se llegaran a ejecutar mobiliarios arquitectónicos con el concreto propuesto se podrían implementar en cualquier parte del país o del mundo, sin embargo el enfoque está en los proyectos futuros que se realicen en la ciudad de Tunja para así no solo posicionar a la ciudad como una de las pioneras en el tema de sostenibilidad sino en permitir que la población tanto residente como flotante puedan aprovechar y hacer uso de esto.

6.3. Entorno

Inicialmente para poder realizar cada uno de los cilindros requeridos, se debe conocer el lugar de procedencia de los materiales necesarios para la ejecución de las mezclas, donde para la obtención del material principal que son las cascaras de huevo se elige como punto de partida la recolección en panaderías y restaurantes, si llegado el caso se requirieran más se pueden adquirir en los diferentes puntos avícolas con los que cuenta la ciudad de Tunja. Los materiales como los

agregados finos y gruesos se obtienen en cualquiera de las canteras ubicadas en el departamento siendo de fácil accesibilidad las más cercanas a Tunja, considerando que como el agregado quedara expuesto haciendo parte de la estética del concreto se buscan agregados que vengan de la misma fuente y estrato (Euclid Chemical Toxement, 2020), y para tener resultados más cercanos al concreto tradicional se pretende la utilización del cemento Argos siendo este uno de los más comunes en las construcciones.

Una vez definido el lugar de procedencia de los agregados gruesos y finos en canteras cercanas o considerando la poca cantidad que se requiere se puede adquirir en una ferretería de la ciudad, así como también se adquiere allí mismo el bulto de cemento Argos, que será el utilizado para la mezcla de los diferentes especímenes de concreto.

Respecto a las pruebas o ensayos a realizar una vez se preparen las mezclas de concreto con cascara de huevo, se pretende utilizar el laboratorio de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja donde será posible determinar los factores fundamentales de este estudio.

6.4. Equipos utilizados

6.4.1. *Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto (I.N.V.E 410-07)*

El ensayo es de gran importancia y utilidad puesto que determina la resistencia a la compresión de los cilindros elaborados con una dosificación diseñada previamente para de esta manera poder realizar una comparación entre ellas de una forma más precisa. Pues consiste en aplicar una carga axial de compresión con una velocidad de carga determinada hasta el momento que se presente la falla en el cilindro. Su resistencia se determina relacionando la carga aplicada por la máquina de compresión simple por la sección transversal.

Figura 2.

Máquina de compresión simple para el ensayo



Fuente: Autor

6.4.2. *Máquina de los ángeles*

La máquina de los Ángeles se requiere para la trituration de las cascaras de huevo que se van a usar para este proyecto donde el proceso consiste en introducir las cascaras allí y se le

agrega una bola de acero que al momento de dar vueltas permite agilizar el proceso de trituración, dando así 1500 vueltas por día generando que las cascaras queden en un estado prácticamente fino.

Figura 3.

Máquina de los Ángeles



Fuente: Autor

6.4.3. Máquina de pulverización

Una vez recolectadas las cascaras de huevo se tiene en consideración que deben someterse a un proceso de trituración ya que deben cumplir con una granulometría específica para poder reemplazar al cemento y adherirse con éxito a la mezcla; por ende, se requiere de una máquina de pulverización inicialmente pasando la malla N°200 y finalmente un horno para obtener unas cascaras de huevo trituradas y calcinadas. Dentro del horno, se debe calcinar completamente la cáscara de huevo a una temperatura de 910° en un tiempo de 2 horas.

Figura 4.

Horno de materiales (Metalúrgica UNT)



Fuente: Autor

6.5. Diseño metodológico

Para poder realizar el proyecto de investigación es importante plantear una ruta de pasos a seguir de forma organizada para poder cumplir con los objetivos planteados inicialmente. Por esta razón este proyecto se desarrolla a través de unos pasos específicos a seguir los cuales se mencionan a continuación.

Inicialmente se inicia con la búsqueda de material bibliográfico consultado en diferentes bases de datos, compuesto principalmente por artículos de investigación y tesis desarrolladas en otras universidades tanto de Colombia como del mundo. Esta información recolectada permite conformar un estado del arte solido que conlleva a poder definir con claridad la viabilidad del proyecto a través de otras propuestas que se han realizado donde plantean sustituir materiales utilizados en la construcción por materiales no convencionales que permiten reducir la contaminación generada.

Una vez se tienen definidos los porcentajes de sustitución con los que se realizaran los cilindros de concreto planteados inicialmente, se define la forma como se obtendrán los materiales necesarios dejando planteado esto en el documento de investigación, puesto que la finalidad del proyecto es que se pueda replicar la fabricación de este tipo de concretos sostenibles a escala de elementos a escala en cualquier proyecto de construcción.

A través de la elaboración del diseño de mezcla se definen las dosificaciones requeridas, en el cual se realizan cinco diferentes tipos de mezcla, los cuales se clasifican de la siguiente manera; un cilindro de concreto con los materiales y las proporciones tradicionales, un cilindro al cual se le reemplaza el cemento por un 10% de cascaras de huevo y los otros por unos porcentajes mayores de 20%, 30% y 35% respectivamente.

Una vez se definen las cantidades correctas de material que se requieren para cada uno de los cilindros de concreto con sus respectivos porcentajes, se procede a adquirir los materiales para llevarlos al respectivo laboratorio y antes de iniciar con el proceso de mezclado se deben someter a los agregados finos y gruesos como lo son la arena y la grava, a unos análisis específicos que según la norma INVIAS son necesarios para conocer si son aptos para usarse dentro de las mezclas de concreto, puesto que la resistencia de una muestra de concreto al final depende principalmente de las condiciones en las que se encuentren y se usen todos los materiales que lo componen. Dentro de estos análisis se encuentran los análisis granulométricos de los agregados especificados en la norma I.N.V.E 213 y la NTC 77, donde el objetivo final es determinar el tamaño y distribución de los materiales presentes para el ensayo de compresión, sometiéndolos a un proceso de separación de material a través de los tamices respectivos.

En el momento que se cuenta con todos los materiales aptos para ser mezclados, reconociendo que para este punto ya se debió someter todas las cascaras de huevo a un proceso de trituración y calcinación llevándolas a un estado similar en el que se encuentra el cemento, se proceden a realizar los especímenes cilíndricos que requieren una varilla, martillo de goma y una plancha para el acabado; estas herramientas están en el laboratorio de la Universidad Santo Tomas, donde allí mismo se hacen los demás procesos y ensayos requeridos para determinar la resistencia final de las muestras. La fabricación y realización de las muestras y técnicas de curado siguen las condiciones propuestas por la norma técnica colombiana.

Se someten las muestras de 7, 14, 28 y 56 días de iniciar el proceso de curado a los ensayos de resistencia a la compresión con el fin de analizar los resultados para finalmente determinar cuál fue el porcentaje de reemplazo que mejor resistencia obtuvo a medida que aumentaban los días de curado. Finalizando así las conclusiones obtenidas en el proyecto de investigación.

6.6. Diseño de mezcla (dosificaciones).

Al presentar los porcentajes definidos y conociendo las dosificaciones básicas que debe traer un cilindro de concreto tradicional de 3000 PSI, se realizan unas tablas (Tabla 1) en las cuales se definen las cantidades necesarias de grava, arena, agua, cemento y cascara de huevo pulverizada para poder recolectar los materiales suficientes e iniciar la ejecución del proyecto de investigación.

Tabla 1.

Dosificaciones de los cilindros a realizar

TABLA DOSIFICACION CONCRETO 10%-1 CILINDRO				
CEMENTO (kg)	CASCARA (kg)	AGUA (L)	ARENA (kg)	GRAVA (kg)
1.40454	0.15606	0.9342	4.9518	4.8438

TABLA DOSIFICACION CONCRETO 20%-1 CILINDRO				
CEMENTO (kg)	CASCARA (kg)	AGUA (L)	ARENA (kg)	GRAVA (kg)
1.24848	0.31212	0.9342	4.9518	4.8438

TABLA DOSIFICACION CONCRETO 30%-1 CILINDRO				
CEMENTO (kg)	CASCARA (kg)	AGUA (L)	ARENA (kg)	GRAVA (kg)
1.09242	0.46818	0.9342	4.9518	4.8438

TABLA DOSIFICACION CONCRETO 35%-1 CILINDRO				
CEMENTO (kg)	CASCARA (kg)	AGUA (L)	ARENA (kg)	GRAVA (kg)
1.01439	0.54621	0.9342	4.9518	4.8438

7. Desarrollo experimental

7.1. Recolección de los materiales

Se procede a iniciar la recolección de los materiales necesarios para realizar los cilindros de concreto a fallar, donde para el cemento se compra un bulto de cemento Argos el cual trae 50 kg aproximadamente, las cascaras de huevo se recolectaron durante varias semanas a través de diferentes lugares de la ciudad de Tunja en los cuales están panaderías como Fratellos y Trigos, así como en algunas viviendas aledañas.

Figura 5.

Bulto de cemento Argos utilizado.



Fuente: Autor

Figura 6.

Cascaras de huevo recolectadas.



Fuente: Autor

Los materiales granulométricos como la arena y la grava se compraron en la ferretería Makro, ubicada en la ciudad de Tunja sobre la carrera 14 a pocas cuadras de la plaza real, siendo necesario comprar 3 lonas de cada uno, las cuales traían aproximadamente a 50 kg.

Figura 7.

Lonas de grava y arena llevadas al laboratorio.



Fuente: Autor

7.2. Granulometría de los materiales

Para la realización de los ensayos de granulometría fue necesario tomar como referencia diferentes normativas colombianas como la NTC, donde por ejemplo en la NTC-77 abarca todo el procedimiento que se debe ejecutar para poder determinar la gradación de los materiales propuestos que puedan llegar a utilizarse como agregados o que ya estén utilizándose como tales; donde a través de los resultados se determina la correlación entre la distribución de los tamaños de las partículas y los requisitos específicos de aplicación, así como también, se utiliza para suministrar los datos necesarios en el control de la producción de varios materiales y mezclas que contienen agregados.

Por lo que para la elaboración se procedió con la caracterización del material para la realización de los objetivos planteados en la tesis siguiendo también la norma del INVIAS, la cual en diferentes capítulos especifica el procedimiento necesario para poder estudiar las propiedades morfológicas y funcionales de los diferentes agregados pétreos, y que de esta forma se puedan analizar las características de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las diferentes muestras que se van a analizar para el proyecto en cuestión.

Para la determinación de los análisis granulométricos de los agregados es necesario tener cada uno de los diferentes tamices que especifica el INVIAS los cuales están en el laboratorio de la Universidad Santo Tomas, por lo que a través de ellos se realiza el proceso mencionado siendo primordial separar los agregados finos que sería la arena contra los agregados gruesos que sería la grava puesto que requiere de procesos y resultados diferentes.

Figura 8.

Tamices requeridos para los análisis granulométricos.



Fuente: Autor

Figura 9.

Agregados gruesos y finos separados.



Fuente: Autor

7.2.1. Granulometría de finos

A través del INV E-213 se toma como referencia el método a utilizar para determinar la granulometría de los materiales finos, especificando que el material fino se puede catalogar como aquel que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) donde es recomendable separar las partículas de mayor

tamaño de una forma mucho más eficiente y completa humedeciendo los tamices. Por ende, cuando se desea determinar un material con tamaño menor al de 75 μm en la clasificación de agregados finos o gruesos, se usa esto antes de efectuar el tamizado en seco de la muestra; presentando en un solo análisis ambos métodos.

Para la toma de resultados siguiendo los pasos especificados en la norma mencionada, se toma 1.5 kg de agregado fino para poder realizar la granulometría, donde es necesario primero lavar el material en el tamiz N°200 para de esta forma pesarlo y dejarlo secar en el horno por 24 horas, una vez se cumple este tiempo se vuelve a pesar el material y se pasa por cada uno de los tamices requeridos para obtener el peso del material que quedo retenido en cada uno de ellos, con el objetivo de determinar el porcentaje total de material que pasa y el módulo de finura de la arena.

Figura 10.

Muestra de agregado fino



Fuente: Autor

Figura 11.

Peso de material fino según tamizado.



Fuente: Autor

Finalmente se obtienen los siguientes resultados obtenidos en laboratorio para la muestra de material fino, siguiendo los parámetros exigidos por la norma para la recolección de datos y la obtención del módulo de finura.

Tabla 2.

Análisis granulométrico del agregado fino

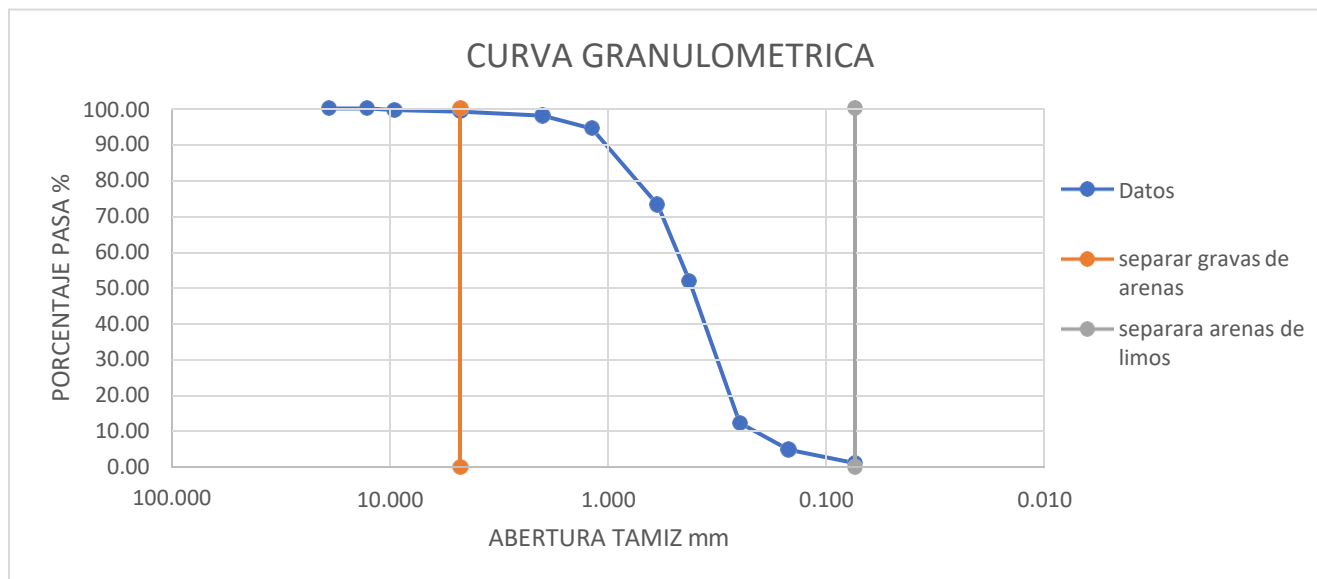
ARENA							
W. platón		194	g				
W.p + W.ms		1395	g				
Nº Tamiz	D (mm)	Wp+ Wm (g)	Wm (g)	Wm corr. (g)	% retenido	% ret. Acum.	% pasa
3/4"	19.050	0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2''	12.700	0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4''	9.530	200	6.00	6.00	0.43	0.43	99.57
4	4.760	200	6.00	6.00	0.43	0.86	99.14
10	2.000	210	16.00	16.01	1.15	2.01	97.99

16	1.190	244	50.00	50.04	3.59	5.60	94.40
30	0.595	490	296.00	296.21	21.23	26.83	73.17
40	0.425	490	296.00	296.21	21.23	48.06	51.94
60	0.250	746	552.00	552.40	39.60	87.66	12.34
100	0.149	298	104.00	104.07	7.46	95.12	4.88
200	0.074	246	52.00	52.04	3.73	98.85	1.15
LAVADA		210	16.00	16.01	1.15	100.00	0.00
TOTAL			1394	1395.00	MÓDULO DE FINURA		
ERROR%			0.07		2.78		
ERROR (g)			1.0				

Fuente: Autor

Grafica 1.

Curva granulométrica obtenida



con la diferencia de que para clasificar un grueso se determina que es aquel que pasa por el tamiz de 4.55 mm o N°4, siendo la norma mencionada la más adecuada para los propósitos de diseño.

A diferencia del proceso de granulometría para materiales finos, en el agregado grueso es necesario realizarle un proceso de cuarteado con el objetivo de obtener un material homogéneo, tomando 3 kg como la cantidad necesaria para la evaluación, siendo necesario lavar el material en el tamiz N°4 y el tamiz N°200 para pesarlo y luego dejarlo secar en el horno por 24 horas; una vez se cumplen las 24 horas se determina nuevamente el peso del material para poder pasarlo por todos los tamices correspondientes y de esta forma obtener el porcentaje total de material que pasa, el que queda retenido y el módulo de finura del agregado grueso.

Figura 12.

Proceso de cuarteado para material grueso.



Fuente: Autor

Figura 13.

Peso del agregado grueso (grava).



Fuente: Autor

Figura 14.

Lavado del material.



Fuente: Autor

Figura 15.

Proceso de tamizaje para agregado grueso.



Fuente: Autor

Una vez se cuenta con toda la información recolectada se procede a organizar y tabular toda la información con base en lo que especifica el INV E-214, para obtener finalmente los porcentajes de material con los tamices y el módulo de finura.

Tabla 3.

Análisis granulométrico del agregado de gruesos.

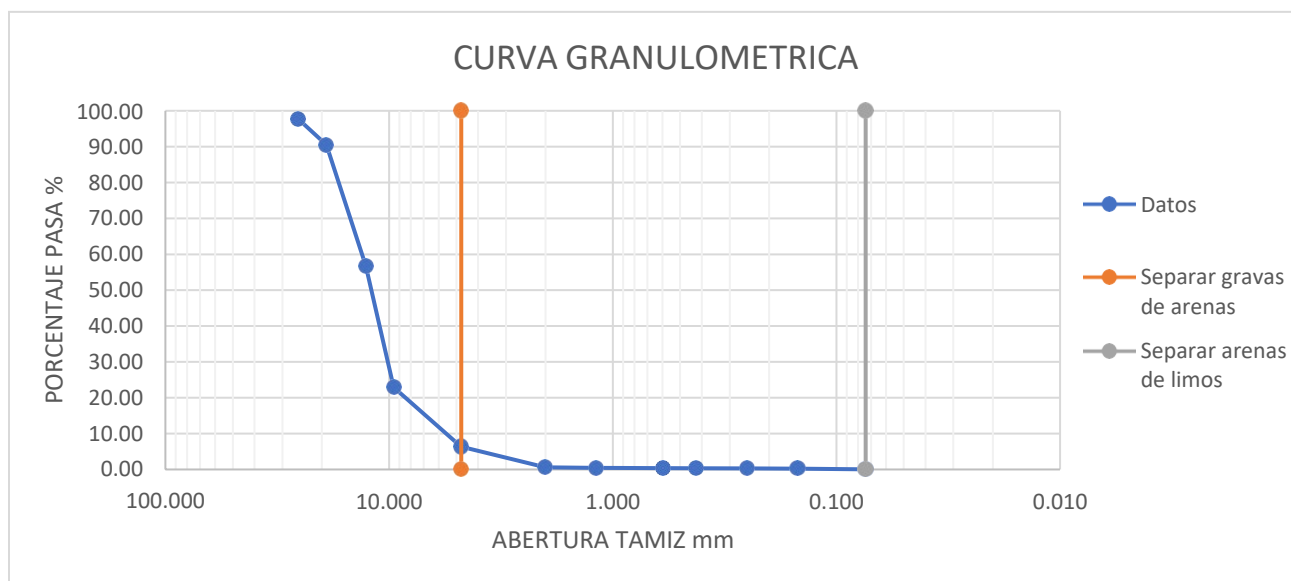
GRAVA							
W. platón		230					
W masa		2930	gr				
Nº Tamiz	D (mm)	Wp+Wm (gr)	Wm (gr)	Wm corr. (gr)	% retenido	% ret. Acum.	% pasa
1''	25.400	294.00	64.00	69.05	2.37	2.37	97.63
3/4''	19.050	424.00	194.00	209.29	7.19	9.56	90.44
1/2''	12.700	1140.00	910.00	981.74	33.72	43.28	56.72
1/4''	9.530	1144.00	914.00	986.06	33.86	77.14	22.86
4	4.760	676.00	446.00	481.16	16.52	93.66	6.34
10	2.000	386.00	156.00	168.30	5.78	99.44	0.56
16	1.190	234.00	4.00	4.32	0.15	99.59	0.41
30	0.595	232.00	2.00	2.16	0.07	99.67	0.33

40	0.425	231.00	1.00	1.08	0.04	99.70	0.30
60	0.250	231.00	1.00	1.08	0.04	99.74	0.26
100	0.149	231.00	1.00	1.08	0.04	99.78	0.22
200	0.074	236.00	6.00	6.47	0.22	100.00	0.00
total		2699.00	2911.79	Módulo de finura		8.24	
error%		7.88					
error(gr)		231.00					

Fuente: Autor

Grafica 2.

Curva granulométrica para los agregados



Fuente: Autor

7.2. Peso unitario compacto y seco de los agregados

De acuerdo con la especificación del INV E-217 se hace posible determinar la densidad “bulk” o peso unitario de los agregados tanto gruesos como finos en condiciones sueltas o compactas, así como también, calcular los vacíos; este método es aplicable a materiales que tienen un tamaño máximo nominal menor o igual a 5 pulgadas (125 mm).

Se toma el recipiente bulk, donde primero es importante determinar las características principales de este como el peso, los diámetros y la altura más de 3 veces para disminuir el margen de error y obtener información más precisa, para que a partir de ese momento se pueda incluir en el recipiente el material a una altura suficiente para llenarlo y pesarlo con la misma metodología que la mencionada para tener resultados más precisos.

Figura 16.

Peso del recipiente.



Fuente: Autor

Figura 17.

Clasificación de material para la determinación del peso unitario.



Fuente: Autor

Figura 18.

Proceso de llenado y enrasado del material en el recipiente.



Fuente: Autor

Figura 19.

Peso del recipiente con el material granular.



Fuente: Autor

Una vez se tiene la muestra pesada se hace el proceso de apisonamiento, donde se debe colocar el recipiente en 3 partes iguales para proceder a llenar con el material a una misma altura, donde en el primer tercio se debe realizar el proceso de apisonamiento con una varilla 25 veces distribuidos uniformemente en toda su área transversal, después se vuelve a repetir en las otras dos capas de material con el recipiente. Es de vital importancia que al apisonar la primera capa de agregado no se puede permitir que la varilla golpee fondo y para las otras capas se debe procurar que atraviese solo la capa respectiva.

Figura 20.

Proceso de apisonamiento del material.



Fuente: Autor

Figura 21.

Enrasado del recipiente al punto máximo de llenado.



Fuente: Autor

Tabla 4.

Peso unitario de los agregados según el INV-217.

WP CAMISA (gr)	DIÁMETROS (m)			ALTURAS (m)		
1518	0.16	0.163	0.162	0.157	0.156	0.157

ÁREA (m ²)	DIÁMETROS (m)	ALTURAS (m)
0.0032	0.1617	0.1567

GRAVA					
SUELTA			COMPACTA		
1# WP+M (gr)	2# WP+M (gr)	3# WP+M (gr)	1# WP+M (gr)	2# WP+M (gr)	3# WP+M (gr)
5378.3	5437.6	5441.4	5669.1	5735.2	5696.2

ARENA					
SUELTA			COMPACTA		
1# WP+M (gr)	2# WP+M (gr)	3# WP+M (gr)	1# WP+M (gr)	2# WP+M (gr)	3# WP+M (gr)
5303.2	5195	5249	5810.2	5739	5774.4

PROMEDIOS			
SUELTA		COMPACTA	
ARENA (gr)	GRAVA (gr)	ARENA (gr)	GRAVA (gr)
5249.07	5419.1	5774.5	5700.17

BULK			
SUELTA		COMPACTA	
ARENA (kg)	GRAVA (kg)	ARENA (kg)	GRAVA (kg)
1160.18	1213.05	1323.58	1300.45

Msss			
SUELTA		COMPACTA	
ARENA (kg)	GRAVA (kg)	ARENA (kg)	GRAVA (kg)
1160.22	1213.09	1323.62	1300.49

% Vacíos			
SUELTA		COMPACTA	
ARENA (kg)	GRAVA (kg)	ARENA (kg)	GRAVA (kg)
0.45	0.50	0.38	0.46

7.3. Peso unitario (gravedad específica) de los agregados y porcentaje de absorción.

Se toma como referencia lo especificado en las normas INV-222 y INV-223, para la determinación de la densidad promedio, densidad relativa y absorción tanto para el agregado fino como para el agregado grueso. Es necesario determinar la humedad superficial de los agregados por el método desplazamiento de agua indicado en la norma ASTM C70 con el objetivo de determinar la densidad relativa siendo evidente que esta norma resulta adecuada para los propósitos de diseño de la mezcla.

Figura 22.

Peso de los agregados totalmente sumergidos.



Fuente: Autor

Figura 23.

Proceso verter la muestra dentro del picnómetro.



Fuente: Autor

7.3.1. *Peso unitario (gravedad específica) de los agregados y porcentaje de absorción del agregado grueso INV-223.*

Con base en el procedimiento descrito en el INV-223 es necesario sumergir en agua la muestra del agregado grueso por el tiempo suficiente para llenar los poros permeables, siendo lo más recomendable 24 horas; una vez se retira del agua, las partículas del agregado se secan superficialmente con una toalla o paño absorbente para poder determinar la masa total, siendo de gran importancia tener el peso de la muestra seca y húmeda. Luego, la muestra pasa por un recipiente para ser pesado y así determinar el volumen a través del método gravimétrico, sumergiendo en agua para sacar el peso sumergido de la muestra para finalmente secar en el horno por 24 horas y determinar su masa seca.

Tabla 5.

Gravedad específica y absorción del agregado grueso (grava).

GRAVA			
	temperatura	19	°C
B	Masa SSS	2.4925	kg
C	Masa en agua	1.4947	kg
	Masa seca +wp	2.6078	kg
	Wp	0.1849	kg
A	Masa seca	2.423	kg
	GE. SH	2.43	
	GE SSS	2.50	
	GR. Aparente	2.61	
	Densidad SH	2422.17	kg/m ³
	Densidad SSS	2491.75	kg/m ³
	Densidad Apa.	2603.80	kg/m ³
	Absorción	2.87	%

Figura 24.

Recipiente para la muestra antes de sumergirla.



Fuente: Autor

Figura 25.

Material grueso para la determinación de los parámetros.



Fuente: Autor

Figura 26.

Proceso de secado del material grueso.



Fuente: Autor

Figura 27.

Muestra sumergida para determinar el peso.



Fuente: Autor

7.3.2. *Peso unitario (gravedad específica) de los agregados y porcentaje de absorción del agregado fino INV-222*

Similar al procedimiento anterior, se debe mantener la muestra de agregado fino por 24 horas sobre un recipiente con agua para después de culminar este tiempo, sacarla y dejarla a temperatura ambiente con el objetivo de pesarla y prepararla para un punto óptimo de humedad, ya que si está muy húmeda debe calentarse un poco o que si en llegado caso está muy seca debe agregársele agua y mezclarla homogéneamente para después preparar el cono donde debe verterse el material y apisonarlo dejándolo caer desde una altura de 15 cm durante 25 golpes, luego se enraza y una vez se quite el cono, el material debe quedar con la misma forma de manera compacta para poder alcanzar la condición satura y superficialmente seca.

El picnómetro se debe pesar y se llena parcialmente de agua para tomar la temperatura 5 veces durante el proceso de calentamiento que está teniendo la probeta al estar en “baño maría”, una vez se toman las temperaturas correspondientes se verte dentro del material y se añade hasta que se esté en un 90% de la capacidad del picnómetro; luego se agita para eliminar las partículas de aire visibles durante mínimo 20 minutos o hasta que ya no se evidencie ninguna partícula.

Una vez se hayan eliminado las partículas y/o burbujas se debe pasar la muestra a una temperatura de 23 °C a través del ya mencionado “baño maría”, se vuelve a pesar y por último se remueve el agregado fino del picnómetro vertiéndolo en un recipiente para dejarlo secando en el horno por 24 horas y pesarlo por última vez.

Tabla 6.

Gravedad específica y absorción del agregado fino (arena).

ARENA			
	temperatura	25	°C
C	WTotal	0.9564	kg
B	Agua+picnom.	0.6919	kg
	Wp	0.2185	kg
	Wp+ Ms	0.709	kg
A	Ms	0.4905	kg
S	Arena SSS	0.5	kg
	GE SH	2.08	
	GE SSS	2.12	
	GR. Aparente	2.17	
	Densidad SH	2077.60	kg/m ³
	Densidad SSS	2117.83	kg/m ³
	Densidad Apa.	2164.93	kg/m ³
	Absorción	1.94	%

Figura 28.

Determinación de la temperatura dentro del picnómetro.



Fuente: Autor

Figura 29.

Proceso de “Baño maría” a la probeta.



Fuente: Autor

Figura 30.

Agregado fino en proceso de calor para lograr el punto óptimo.



Fuente: Autor

Figura 31.

Material fino en el cono para evidenciar la compactación del material.



Fuente: Autor

Figura 32.

Verificación de la temperatura de la probeta a 23°C.



Fuente: Autor

7.4.Densidad del cemento portland.

La determinación de la densidad para el material cementante se hace según la especificación del INV-307-13, donde este procedimiento es necesario para los propósitos de diseño del presente proyecto, pues, el uso de la densidad del cemento hidráulico está relacionado

con el diseño y control de las mezclas de concreto ya que a pesar de que la densidad no indica la calidad del concreto si permite deducir algunas características importantes cuando se analiza en conjunto con otras propiedades. Por lo tanto, se siguen los parámetros para determinar la densidad de 42.5 kg de la marca Argos, que es el tipo de cemento destinado para la investigación.

Tabla 7.

Densidad del agregado fino (arena).

CEMENTO		
Temperatura	18	°C
W cemento	64	gr
V Gasolina	136	ml
W.nafta+CEM	245.41	gr
V nafta+CEM	156	ml
Densidad cemento	3.20	gr/cm ³

7.5. Dimensiones de los cilindros según la NTC-1377.

Según la NTC-1377 que toma como referencia la normativa americana ASTM C 470 se evalúan unos parámetros que los cilindros donde se realizan las muestras de concreto deben cumplir para poder utilizarlos en este tipo de ensayos. Entre estos parámetros esta que deben ser constituidos en la forma de cilindros rectos circulares que se posicionan con su eje cilíndrico vertical y con su tope abierto para recibir el concreto, deben ser hechos con materiales que no reaccionen con el concreto que contenga cemento portland o bien otros cementos hidráulicos, no deben ser absorbentes ni que permitan fugas, que sean lo suficientemente resistentes y tenaces para permitir su uso sin romperse, aplastarse o deformarse. Los moldes deben tener una altura nominal interior igual a dos veces el diámetro nominal interior, donde para determinar el diámetro del

molde se determina el promedio de las dos mediciones tomadas a ángulos rectos en la parte superior, sin permitir que alguno de estos diámetros difiera respecto al otro en más del 2%.

Para el proyecto de tesis se midió 3 veces el cilindro tanto el diámetro como las alturas del cilindro para poder demostrar que cumpliera con la norma, por lo que se puede ver en las siguientes imágenes donde el diámetro es de 15cm y la altura de 30cm.

Figura 33.

Medición de los moldes para los cilindros.



Fuente: Autor

7.6. Elaboración mezcla para los cilindros de concreto.

El proceso de elaboración de los cilindros de concreto requeridos, así como el ensayo de compresión y los demás procesos que se plantean para la realización del proyecto se hace con base en la Norma Técnica Colombia NTC, donde para este ítem se toma la NTC-673 que abarca el proceso que debe ejecutarse para realizar el ensayo aplicando una carga axial de compresión, siendo necesario relacionar la carga máxima alcanzada por la sección transversal de área del cilindro.

Antes de iniciar el proceso de la elaboración de los cilindros de concreto, se define el diseño de la mezcla tomando como referencia la ficha técnica de Argos (Figura N°33) a través de la cual se procedió a calcular cada uno de los porcentajes de los materiales necesarios para cada cilindro puesto que se plantea para una resistencia de 3000 PSI, siendo importante resaltar que se mantuvieron los porcentajes de reemplazo del 10, 20, 30 y 35% de cascara de huevo sobre el material cementante, según lo planteado en los objetivos de la investigación.

Figura 34.

Clasificación de material para la determinación del peso unitario.

TABLA DE DOSIFICACIONES POR M3 UTILIZANDO CEMENTO ESTRUCTURAL MAX					
Resistencia (psi)	Tipo de dosificación	Materiales*			
		Cemento	Agua	Arena	Grava
● 3.000	Peso	289 (kg)	173 (litros)	917 (kg)	897 (kg)
	Sacos/Litros	6,8 Sacos*	173 (litros)	23 Sacos**	22,4 Sacos**

Fuente: Soluciones para Concreto – Argos

Figura 35.

Peso de los materiales



Fuente: Autor

Figura 36.

Herramientas usadas para la elaboración de la mezcla.



Fuente: Autor

El día 27 de abril del 2022 se inicia con la elaboración de los cilindros de concreto en los laboratorios de la Universidad Santo Tomas, donde inicialmente se saca el peso total de los materiales requeridos para cada una de las dosificaciones ya mencionadas y calculadas con anterioridad para poder definir cuanto material se debía preparar en cada uno de ellos. Se realizan 10 cilindros para cada uno de los porcentajes de reemplazo definidos y 10 cilindros más para una mezcla sin reemplazo siendo la muestra guía a la cual deben llegar los demás cilindros esperando una resistencia igual o mayor, teniendo un total de 50 cilindros de concreto a preparar.

Este proceso descrito anteriormente se hizo según lo especificado en la Norma Técnica Colombiana NTC1377 la cual especifica los parámetros para la elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio, siendo necesario para este caso.

Figura 37.

Materiales granulares y cementantes para la mezcla de concreto.



Fuente: Autor

Figura 38.

Proceso de mezcla de materiales, incluyendo cascaras de huevo, para el concreto.



Fuente: Autor

Figura 39.

Proceso de 15 golpes con ayuda del chipote de goma según la NTC.



Fuente: Autor

Figura 40.

Apisonamiento de la mezcla.



Fuente: Autor

Figura 41.

Proceso de llenado de los cilindros



Fuente: Autor

Figura 42.

Enrazando los cilindros.



Fuente: Autor

En el momento que se realizan los cilindros de concreto con todas las dosificaciones especificadas, se dejan en reposo dichos cilindros para después de culminadas 24 horas se llevan a la piscina para su curado.

Figura 43.

Piscina con los cilindros de concreto con las dosificaciones especificadas.



Fuente: Autor

Figura 44.

Proceso de medición de los cilindros



Fuente: Autor

El 2 de mayo de 2022 se realizaron los 10 cilindros de concreto que no traían ningún porcentaje de reemplazo por cascara de huevo, siendo los cilindros de referencia, puesto que el 27

de abril no se alcanzaron a realizar, repitiendo el mismo procedimiento que se le hizo a los otros cilindros y culminando el proceso de elaboración de los cilindros de concreto.

Figura 45.

Pesado de los cilindros



Fuente: Autor

Se realizan los ensayos de compresión a 7, 14, 28 y 56 días tomando 2 cilindros de cada porcentaje de reemplazo para cada una de las pruebas, en los cuales fue necesario pesarlos para luego someterlos a la máquina de ensayo de compresión para medir la resistencia de dichos cilindros.

7.6.1. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto a 7 días.

Los días 5,6 y 9 de mayo de 2022 se dio inicio al proceso de ensayo de compresión a 7 días para los cilindros de concreto, donde se inicia secando el cilindro luego de estar sumergido en agua por varios días para así pesarlo y sacar sus respectivas medidas, tabulando esta información, para luego dar inicio al ensayo de compresión y obteniendo como resultado la resistencia del cilindro hasta alcanzar su falla.

Figura 46.

Configuración de la máquina de compresión



Fuente: Autor

Figura 47.

Falla de uno de los cilindros de concreto con cascara de huevo



Fuente: Autor

Figura 48.

Resistencia obtenida luego de haber fallado un cilindro 30% cascara de huevo.



Fuente: Autor

Figura 49.

Resistencia obtenida luego de haber fallado un cilindro 30% cascara de huevo.



Fuente: Autor

El día 9 de mayo de 2022 se repite el mismo proceso para los cilindros de concreto normal considerando que estos se realizaron con algunos días de diferencia a los demás, fallando 2

cilindros de este tipo para determinar su resistencia y poder así sacar un promedio ya que se fallan varias muestras para tener un resultado más acorde a la realidad y con menor margen de error.

Figura 50.

Cilindro luego de haber sido fallado.



Fuente: Autor

Con la información obtenida después de fallar los 10 cilindros de concreto con sus respectivas dosificaciones, se proceden a tabular todos los resultados obtenidos incluyendo la resistencia y el peso del cilindro.

Tabla 8.

Tabla de información después de haber fallado a 7 días.

7 días	Wp (kg) Prom	P (kN) Prom	E (Mpa) Prom	E (psi) Prom
Concreto 35%	11.89	54.70	3.10	449.62
Concreto 30%	12.10	58.80	3.33	482.98
Concreto 20%	12.14	90.80	5.14	745.50
Concreto 10%	12.49	119.00	6.73	976.11
Concreto Tradicional	12.57	186.90	10.58	1534.50

Fuente: Autor

7.6.2. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto a 14 días.

Los días 12 y 13 de mayo de 2022 se repite el proceso del ensayo de compresión, pero a 14 días, siendo necesario nuevamente sacar los nuevos cilindros que se van a fallar en condición húmeda para poder pesarlos y medirlos, siguiendo lo requerido en el ítem 7.2 de la NTC673, para de esta forma pasarlos a la máquina de compresión con el objetivo de conocer la nueva resistencia y así tabular la información obtenida. Reconociendo que el 15 de mayo se hace lo mismo para los 2 cilindros de concreto sin reemplazo de cascara de huevo.

Figura 51.

Cilindro de concreto con cascara de huevo del 35% después de fallar en la máquina de compresión.



Fuente: Autor

Figura 52.

Cilindro de concreto con cascara de huevo del 30% dentro de la máquina de compresión



Fuente: Autor

Figura 53.

Cilindro de concreto tradicional después de haber fallado



Fuente: Autor

Figura 54.

Cilindro tradicional para fallar dentro de la máquina de compresión



Fuente: Autor

Tabla 9.

Tabla de resultados después de haber fallado a 14 días.

14 días	Wp (kg) Prom	P (kN) Prom	E (Mpa) Prom	E (psi) Prom
Concreto 35%	12.13	70.70	3.90	565.65
Concreto 30%	11.97	73.50	4.05	587.40
Concreto 20%	12.17	77.30	4.26	617.86
Concreto 10%	12.50	159.00	8.76	1270.53
Concreto Tradicional	12.74	242.40	13.37	1939.16

Fuente: Autor

7.6.3. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto a 28 días.

Los días 26 y 27 de mayo de 2022 se repite el proceso del ensayo de compresión, pero a 28 días, siendo necesario nuevamente sacar los nuevos cilindros que se van a fallar en condición húmeda para poder pesarlos y medirlos, siguiendo lo requerido en el ítem 7.2 de la NTC-673, para de esta forma pasarlos a la máquina de compresión con el objetivo de conocer la nueva resistencia y así tabular la información obtenida. Resaltando que el 31 de mayo se hace lo mismo para los 2 cilindros de concreto sin reemplazo de cascara de huevo.

Figura 55.

Cilindro de concreto tradicional dentro de la máquina de compresión



Fuente: Autor

Figura 56.

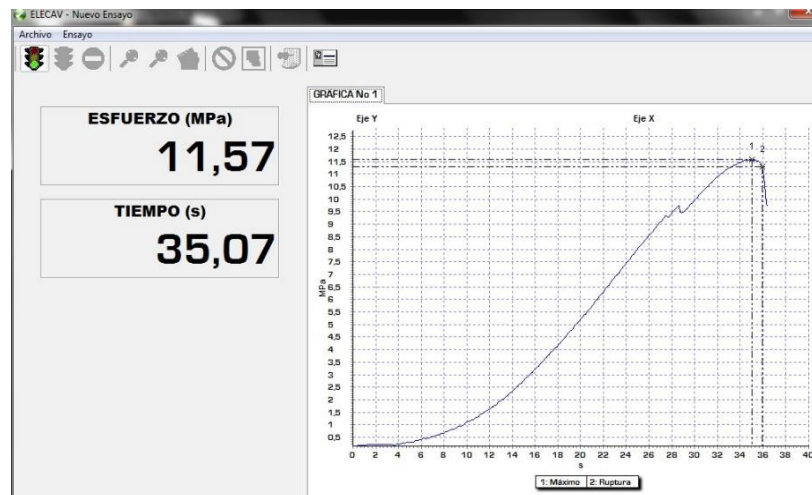
Cilindro de concreto con cascara de huevo de 30% después de haber fallado



Fuente: Autor

Figura 57.

Resultados de concreto con cascara de huevo



Fuente: Autor

Tabla 10.

Tabla de resultados después de haber fallado a 28 días.

28 días	Wp (kg) Prom	P (kN) Prom	E (Mpa) Prom	E (psi) Prom
Concreto 35%	11.90	95.17	5.25	761.45
Concreto 30%	11.95	95.17	5.25	761.45
Concreto 20%	12.16	144.66	7.98	1157.40
Concreto 10%	12.51	209.74	11.57	1678.09
Concreto Tradicional	12.39	333.92	18.42	2671.60

Fuente: Autor

Los días 26 y 27 de junio de 2022 se repite el proceso del ensayo de compresión, pero a 56 días, siendo necesario nuevamente sacar los nuevos cilindros que se van a fallar en condición húmeda para poder pesarlos y medirlos, siguiendo lo requerido en el ítem 7.2 de la NTC-673, para de esta forma pasarlos a la máquina de compresión con el objetivo de conocer la nueva resistencia y así tabular la información obtenida. Resaltando que el 31 de mayo se hace lo mismo para los 2 cilindros de concreto sin reemplazo de cascara de huevo.

Figura 55.

Cilindro de concreto tradicional dentro de la máquina de compresión



Fuente: Autor

Figura 56.

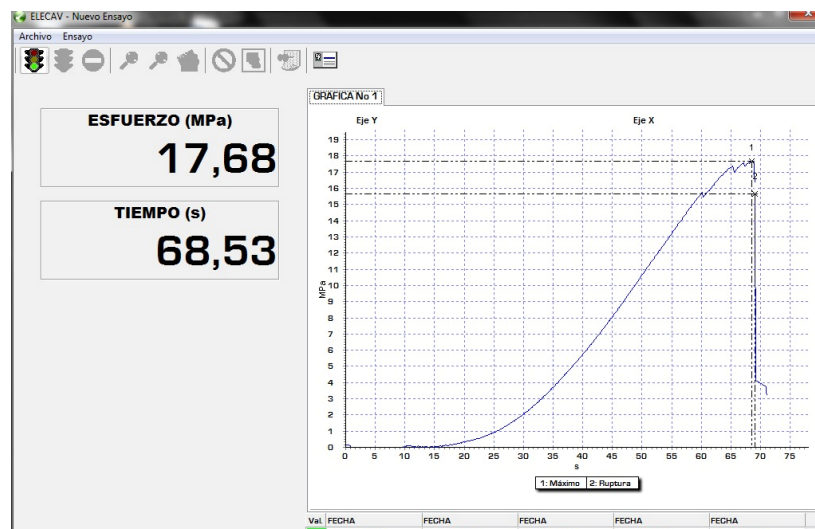
Cilindro de concreto con cascara de huevo de 30% después de haber fallado



Fuente: Autor

Figura 57.

Resultados de concreto con cascara de huevo



Fuente: Autor

Tabla 10.

Tabla de resultados después de haber fallado a 28 días.

28 días	Wp (kg) Prom	P (kN) Prom	E (Mpa) Prom	E (psi) Prom
Concreto 35%	11.90	95.17	5.25	761.45
Concreto 30%	11.95	95.17	5.25	761.45
Concreto 20%	12.16	144.66	7.98	1157.40
Concreto 10%	12.51	209.74	11.57	1678.09
Concreto Tradicional	12.39	333.92	18.42	2671.60

Fuente: Autor

8. Análisis de Resultados

Dentro del proceso de granulometrías para los agregados finos y gruesos se puede evidenciar que en el agregado fino (arena) se obtuvo un grado de finura de 2.78, deduciendo de la curva granulométrica que paso del 90% del tamiz N°4 siendo apta para material fino según lo especificado en el INV 213. Para el caso de la granulometría de los gruesos, siendo el caso de la grava, se obtuvo que su material no paso del 90% de material del tamiz N°4 por lo que la muestra si cumple con los parámetros de un agregado grueso, según el INV 214.

Considerando que según la NTC-174 se menciona que el módulo de finura para agregados finos no debe exceder de 3.1 pero debe ser mayor a 2.3 se puede rectificar que obteniendo un grado de finura de 2.78, cumple satisfactoriamente con lo establecido en la normativa colombiana. Esto permite asegurar que si en llegado caso se hubiera obtenido un valor menor a 2.3 el concreto mezclado pudo haber sido más denso y requeriría de una mayor cantidad de agua que afectaría la dosificación optima de la mezcla y el concreto presentaría agrietamientos luego del proceso de curado.

Figura 58.

Módulo de finura para el agregado fino

TOTAL	1394	1395.00	MÓDULO DE FINURA	2.78
ERROR%	0.07			
ERROR (g)	1.0			

Fuente: Autor

Para el agregado grueso se considere así debe estar constituido por grava, grava triturada o roca triturada por lo que el agregado que se usó en el proceso de elaboración del concreto es una grava y esto lo permite deducir el ensayo de granulometría realizado donde según la NTC

174 para el agregado grueso debe cumplir unos requisitos establecidos para el tamaño específico de la grava (Figura 59) donde el número de tamaño del agregado es de 67 según los datos obtenidos de la granulometría, lo que permite asegurar que el tamaño nominal de la grava se encuentra entre 19 a 4.75 mm.

Figura 59.

Requisitos establecidos del agregado grueso

Tabla 2. Requisitos de gradación para agregado grueso

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

Fuente: NTC-174

En el cálculo de la humedad de los agregados que se realiza en el ítem 7.3.1 para agregado fino se toma en consideración el resultado puesto que se obtuvo un 1.94% de absorción del material lo que permite asegurar que presentará condiciones normales de absorción una vez se añada con los demás materiales y se les agregue el agua para generar la mezcla, logrando que de esta forma pueda existir una compactación de todos ellos y conformen un concreto óptimo. En el caso del agregado grueso, que se calcula en el ítem 7.3.2, se obtuvo un porcentaje de absorción del 2.87% lo que presenta condiciones similares al agregado fino, según los rangos establecidos en la norma del INVIAS mencionada, teniendo resultados óptimos que permitieron utilizar los materiales para realizar los cilindros de concreto.

Una vez se realizaron todos los procesos de granulometría se procedió preparar las muestras ya que especialmente los agregados finos y gruesos requieren de un proceso específico de preparación para establecer un punto óptimo de la muestra comprobándolo con la prueba de cono que permite conocer la condición saturada y superficialmente seca que va a obtener la muestra. Los resultados de la densidad y gravedad especifican fueron necesarios obtenerlos con un secado previo según lo establecía el INV E-222 y INV E-223, ya que de no cumplir con estos requisitos que habrían obtenidos densidades significativamente más altas de lo normal que hubieran impedido continuar con el proceso de utilización de los agregados en la mezcla de concreto.

Es importante recalcar que se hizo la verificación de que los cilindros o “camisones” donde se iban a introducir las mezclas de concreto para obtener los moldes a fallar si cumplían con lo establecido en la NTC-1377, a pesar de que es claro que son cilindros con los que cuenta la universidad para cualquier tipo de uso siendo evidente que esto se consideró antes de adquirirlos, sin embargo, si cumplan con las alturas y diámetros requeridos.

Los cilindros de concreto una vez se fallaron en la máquina de compresión mencionada, permitió evidenciar que cada uno de ellos se comportaron de manera distinta influyendo en gran medida la cantidad de días de curado que llevaban a la hora del momento de fallarlos. Existen diferentes tipos de fallas que según el INV-410 permiten clasificar un cilindro de concreto dependiendo del caso y de la carga axial que se les haya aplicado.

Figura 60.

Tipos de falla según el INV-410

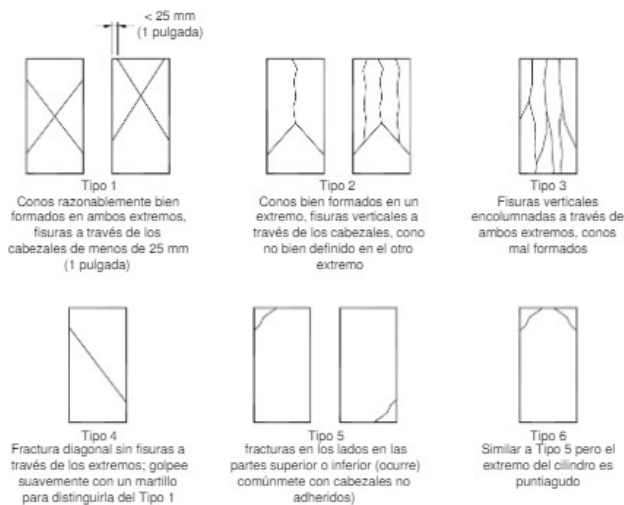


Figura 2 Esquema de los modelos de fractura típicos

Fuente: INVIAS 410

El cilindro de concreto con 10% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 7 días obtuvo una falla “Tipo 6” puesto que presento fracturas notables en los dos lados superiores dejando perdidas de material en algunas partes principalmente en cercanías a las fracturas.

Figura 61.

Tipo de falla 6 cilindro concreto con cascara de huevo 10% -7 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 20% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 7 días obtuvo una falla “Tipo 1” debido a que a través de sus fracturas dejo una forma de cono en ambos extremos, presentando fisuras en los cabezales.

Figura 62.

Tipo de falla 1 cilindro concreto con cascara de huevo 20% -7 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 30% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 7 días obtuvo una falla “Tipo 2” debido a que a través de sus fracturas dejo una forma de cono en ambos extremos, presentando fisuras en los cabezales.

Figura 63.

Tipo de falla 2 cilindro concreto con cascara de huevo 30% -7 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 35% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 7 días obtuvo una falla “Tipo 2” debido a que a través de sus fracturas dejo una forma de cono en ambos extremos, presentando fisuras en los cabezales.

Figura 64.

Tipo de falla 2 cilindro concreto con cascara de huevo 35% -7 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto sin porcentaje de remplazo de material cementante por cascaras de huevo que fue fallado a los 7 días obtuvo una falla “Tipo 5” debido a que a través de la figura N°65 se puede evidenciar una fractura en la parte superior que ocurre en muchos casos cuando los cabezales no quedan bien adheridos.

Figura 65.

Tipo de falla 5 cilindro concreto tradicional -7 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 10% de remplazo de material cementante por cascaras de huevo que fue fallado a los 14 días obtuvo una falla “Tipo 5” debido a que a través de sus fracturas dejo una forma de cono en ambos extremos, presentando fisuras en los cabezales.

Figura 66.

Tipo de falla 5 cilindro concreto con cascara de huevo 10% -14 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 20% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 14 días obtuvo una falla “Tipo 5” debido a que se logra evidenciar una fractura en parte inferior que suele ocurrir en casos donde los cabezales no quedan bien adheridos.

Figura 67.

Tipo de falla 5 cilindro concreto con cascara de huevo 20% -14 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 30% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 14 días obtuvo una falla “Tipo 5” debido a que se logra evidenciar una fractura en parte inferior que suele ocurrir en casos donde los cabezales no quedan bien adheridos.

Figura 68.

Tipo de falla 5 cilindro concreto con cascara de huevo 30% -14 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 35% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 14 días obtuvo una falla “Tipo 5” debido a que se logra evidenciar una fractura en la parte superior que suele ocurrir en casos donde los cabezales no quedan bien adheridos.

Figura 69.

Tipo de falla 5 cilindro concreto con cascara de huevo 35% -14 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con sin ningún porcentaje de remplazo de material cementante por cascaras de huevo que fue fallado a los 14 días obtuvo una falla “Tipo 5” debido a que se logra evidenciar una fractura en la parte superior que suele ocurrir en casos donde los cabezales no quedan bien adheridos.

Figura 70.

Tipo de falla 5 cilindro concreto tradicional -14 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 10% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 28 días obtuvo una falla “Tipo 5” debido a que se logra evidenciar una fractura en la parte superior que suele ocurrir en casos donde los cabezales no quedan bien adheridos.

Figura 71.

Tipo de falla 5 cilindro concreto con cascara de huevo 10% -28 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 20% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 28 días obtuvo una falla “Tipo 5” debido a que se logra evidenciar una fractura en la parte superior que suele ocurrir en casos donde los cabezales no quedan bien adheridos.

Figura 72.

Tipo de falla 5 cilindro concreto con cascara de huevo 20% -28 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 30% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 28 días obtuvo una falla “Tipo 3” puesto que la muestra presenta unas fisuras verticales encolumnadas a través de ambos extremos.

Figura 73.

Tipo de falla 3 cilindro concreto con cascara de huevo 30% -28 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 35% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 28 días obtuvo una falla “Tipo 4” debido a que se logran reconocer fracturas diagonales sin fisuras en sus extremos.

Figura 74.

Tipo de falla 4 cilindro concreto con cascara de huevo 35% -28 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto tradicional con ningún porcentaje de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 28 días obtuvo una falla “Tipo 5” debido a que se logra evidenciar una fractura en la parte superior que suele ocurrir en casos donde los cabezales no quedan bien adheridos.

Figura 75.

Tipo de falla 5 cilindro concreto tradicional -28 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 10% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 56 días obtuvo una falla “Tipo 5” debido a que se logra evidenciar una fractura en la parte superior que suele ocurrir en casos donde los cabezales no quedan bien adheridos.

Figura 71.

Tipo de falla 5 cilindro concreto con cascara de huevo 10% -56 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 20% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 28 días obtuvo una falla “Tipo 5” debido a que se logra evidenciar una fractura en la parte superior que suele ocurrir en casos donde los cabezales no quedan bien adheridos.

Figura 72.

Tipo de falla 5 cilindro concreto con cascara de huevo 20% -56 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 30% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 28 días obtuvo una falla “Tipo 3” puesto que la muestra presenta unas fisuras verticales encolumnadas a través de ambos extremos.

Figura 73.

Tipo de falla 3 cilindro concreto con cascara de huevo 30% -56 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto con 35% de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 28 días obtuvo una falla “Tipo 4” debido a que se logran reconocer fracturas diagonales sin fisuras en sus extremos.

Figura 74.

Tipo de falla 4 cilindro concreto con cascara de huevo 35% -56 días



Fuente: Autor

El cilindro de concreto tradicional con ningún porcentaje de remplazo de material cementante por cascara de huevo que fue fallado a los 28 días obtuvo una falla “Tipo 5” debido a que se logra evidenciar una fractura en la parte superior que suele ocurrir en casos donde los cabezales no quedan bien adheridos.

Figura 75.

Tipo de falla 5 cilindro concreto tradicional -56 días



Fuente: Autor

Una vez se fallan todos los cilindros se puede tabular la información obtenida con el objetivo de identificar los resultados presentados y así reconocer como se comportaron los cilindros de concreto con sus respectivos porcentajes de reemplazo, por lo cual a continuación se presentan los resultados de los cilindros según su peso, la fuerza aplicada por la máquina de compresión y la resistencia obtenida para cada uno de ellos según los días de curado.

Tabla 11.

Tabla de datos resistencias 7 días

7 días	Wp (kg) Prom	P (kN) Prom	E (Mpa) Prom	E (psi) Prom
Concreto 35%	11.89	54.70	3.10	449.62
Concreto 30%	12.10	58.80	3.33	482.98
Concreto 20%	12.14	90.80	5.14	745.50
Concreto 10%	12.49	119.00	6.73	976.11
Concreto Tradicional	12.57	186.90	10.58	1534.50

Fuente: Autor

Tabla 12.

Tabla de datos resistencias 14 días

14 días	Wp (kg) Prom	P (kN) Prom	E (Mpa) Prom	E (psi) Prom
Concreto 35%	12.13	70.70	3.90	565.65
Concreto 30%	11.97	73.50	4.05	587.40
Concreto 20%	12.17	77.30	6.00	870.23
Concreto 10%	12.50	159.00	8.76	1270.53
Concreto Tradicional	12.74	242.37	13.37	1939.16

Fuente: Autor

Tabla 13.

Tabla de datos resistencias 28 días

28 días	Wp (kg) Prom	P (kN) Prom	E (Mpa) Prom	E (psi) Prom
Concreto 35%	11.90	95.17	5.25	761.45
Concreto 30%	11.95	95.17	5.25	761.45
Concreto 20%	12.16	144.66	7.98	1157.40
Concreto 10%	12.51	209.74	11.57	1678.09
Concreto Tradicional	12.39	333.92	18.42	2671.60

Fuente: Autor

Tabla 13.

Tabla de datos resistencias 28 días

56 días	Wp (Kg) Prom	P (KN) Prom	E (Mpa) Prom	E (Psi) Prom
Concreto 35%	11,95	133,60	7,37	1068,93
Concreto 30%	11,79	131,79	7,27	1054,43
Concreto 20%	12,32	227,33	12,54	1818,78
Concreto 10%	12,20	320,51	17,68	2564,27
Concreto Tradicional	12,53	371,63	20,50	2973,28

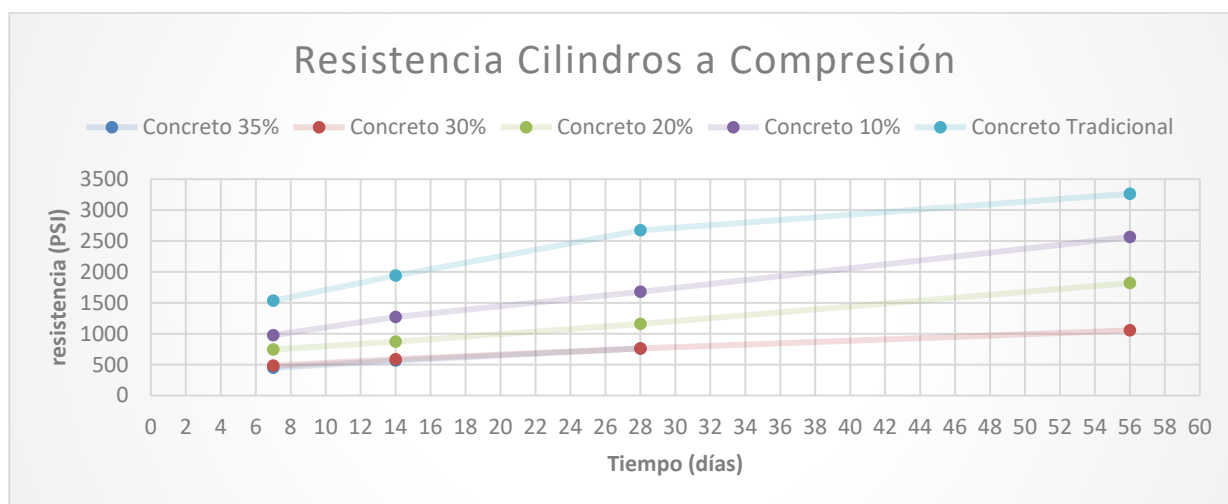
Fuente: Autor

Con todos los resultados se procede a realizar una gráfica que permita identificar de manera más clara y evidente los resultados del proyecto de investigación, donde a través de la gráfica N°3 se puede evidenciar que ningún porcentaje de reemplazo logro obtener la misma resistencia a un cilindro de concreto normal, sin embargo, tampoco el cilindro tradicional alcanzo los 3000 PSI de resistencia mínima que se buscaba inicialmente.

El cilindro de concreto que mejor se comportó en cuanto a la resistencia a la compresión obtenida fue aquel que contenía 10% de reemplazo de material cementante por cascaras de huevo trituradas.

Grafica 3.

Resistencia cilindros a compresión a 7, 14, 28 y 56 días.



Fuente: Autor

9. Conclusiones y Recomendaciones

El proceso para adoptar un nuevo material a una mezcla que ya está pre establecida debe hacerse a detalle puesto que no siempre la interacción de las partículas entre materiales logra tener la adherencia esperada y en el momento que esto suceda se puede encontrar que una vez se tenga la mezcla de concreta lista no presente las mismas propiedades de resistencia que puede presentar una normal, lo que terminaría descartando ese material alternativo.

A través de la información consultada durante la ejecución del proyecto de investigación es posible identificar las propiedades de las cascaras de huevo y su correcta adherencia con los demás materiales propios del concreto como el cemento, agua, arena y grava lo que genera que se pueda proponer en una investigación como esta para su uso, ya respecto a los verdaderos resultados de resistencia y la manera para asumir cual es será el más optimo, depende únicamente del ensayo a compresión que se realice en su laboratorio correspondiente

A pesar de realizar una exhaustiva investigación acerca del tema, según toda la información de las fuentes bibliográficas se pudo determinar que en ningún proyecto se habían remplazado las cascaras de huevo como material alternativo es un tema poco estudiado, en especial, usado a mobiliario arquitectónico, esto debido a que el concreto arquitectónico ha ido desarrollándose en los últimos años y en Colombia aún sigue siendo nuevo el tema.

Es importante mencionar que con el paso de los años el concreto ha ido evolucionando, puesto que ya no es solo un material a considerar por su resistencia y durabilidad sino también por las propiedades de fácil manejabilidad que permite que se le añadir acabados estéticos y artísticos para cualquier tipo de uso, mejorando así el entorno a través del paisajismo y la planificación urbana.

Al realizar el ensayo a compresión se considera que existen ciertas variaciones entre los resultados obtenidos puesto que la resistencia obtenida en cada uno de los cilindros depende del tamaño, dosificación, procedimiento de mezclado, temperatura, entre otros factores que pueden ser variables entre cada uno de ellos, especialmente al considerar que si realizan los cilindros en diferentes fechas puede incidir al final.

La decisión de realizar dos cilindros por cada uno de los porcentajes de reemplazo fue necesario puesto que este tipo de acciones se toma cuando se busca disminuir el margen de error entre los resultados que se planteen obtener ya que existen diferentes circunstancias externas que pueden llegar a alterar el resultado final y, por ende, la conclusión final de la investigación misma.

Al analizar los resultados se puede evidenciar que los cilindros fallados con ningún tipo de material de reemplazo, es decir, los cilindros de concreto tradicional no llegaron a la resistencia de 3000 PSI que era la planteada según las dosificaciones tomadas como referencia de la figura 34. Sin embargo, es importante reconocer que se siguieron todos los pasos correspondientes y se evaluaron los materiales para obtener un resultado más cercano a la realidad, lo que conlleva a pensar que seguramente otros factores externos como el agua pudieron llegar a incidir en el resultado final.

Una vez realizado los ensayos correspondientes a todos los porcentajes planteados, es importante recalcar que para el uso que se planteó esta investigación el cual fue mobiliario arquitectónico se debe reconocer que este no requiere de una gran resistencia puesto que ni es un elemento estructural ni va a estar sometido a cargas de gran magnitud, lo que permite asegurar que a pesar de que no se cumpla con una resistencia de 3000 PSI, si puede utilizarse para dicho fin.

Tomando como referencia la resistencia mínima de un “concreto pobre” que es el cual se utiliza para solados, el cual es de 10 MPa mínimo se puede afirmar que el concreto con 10% de reemplazo con cascara de huevo es óptimo para utilizarse en la fabricación de cualquier mobiliario arquitectónico como lo pueden ser bancas, bolardos, basureras, etc., donde una vez se implemente podría permitir un gran avance no solo al proponer un material que aporta sostenibilidad sino también al incentivo del uso de los mobiliarios con estos concretos, ya que como se mencionaba anteriormente es un tema que aún falta por explotar en el país, especialmente en la ciudad de Tunja en Boyacá.

Esta investigación sirve para que si se llega a implementar para el uso del mobiliario arquitectónico pueda llegar a ser útil otros porcentajes ya que considerando el uso no va a tener que estar sometido a una cantidad de carga, pero si se recomendaría que dependiendo el uso de deba elegir qué tipo de porcentaje se puede llegar a usar

Considerando que el mobiliario arquitectónico en concreto se encuentra diseñado para soportar cargas mínimas como el peso de las personas que se apoyen sobre él, recalando que esto es una carga viva lo que quiere decir que son cargas que no estarán a tiempo completo allí, se puede llegar a asegurar que el concreto diseñado con cascara de huevo es apto para el uso que al que se quiere destinar debido a que como se pudo analizar en los resultados obtenidos de las muestras de concreto fallado, se encontraron muestras que llegaron a soportar hasta 9 toneladas antes de fallar y es claro afirmar que jamás se llegaría a obtener este tipo de carga en elementos de este uso.

El concepto de cuidar el medio ambiente ha quedado muy arraigado en la mente de las personas. Lo anterior se refleja en nuevos proyectos, aprovechamiento de recursos, integración material sostenible, etc. Por ello el desarrollo de proyecto es importante realizar innovaciones donde involucren materiales que se puedan reutilizar.

La finalidad es poder alcanzar una implementación mucho más útil, debido a que durante la consulta e investigación de las fuentes bibliográficas se encuentra que al utilizar las cascara de huevo se alcanza a disminuir en cierta manera la resistencia de la mezcla generando que se tengan que proponer sustituciones en porcentajes bastante reducidos lo que implica que no habría un impacto ambiental elevado en realidad, por lo cual se propone el uso del concreto específicamente en temas arquitectónicos como mobiliarios, donde estos no van a estar sometidos a cargas relevantes, siendo más sencillo proponer porcentajes mayores de sustitución.

Tomando como referencia la resistencia obtenida a los 56 días, se logra evidenciar que el concreto con 10% de remplazo con cascara de huevo es el que mas estuvo cerca de los 3000 PSI, obteniendo un valor de 2564 PSI el cual es un valor muy cercano que se asemeja al concreto que se usa al día de hoy en las construcciones de los de mobiliario arquitectónico.

10. Bibliografía

Alavaedra, P. (1998). La construcción sostenible. El estado de la cuestión. Instituto Juan de Herrera. Madrid, España. Obtenido en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n4/apala.html>.

Alvarado Gilvonio. E. (2019). Análisis del estado plástico y endurecido del concreto usando aditivo superplastificante y la cáscara de huevo molido en concretos con hormigón (Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil). Universidad Nacional del Centro del Perú.

Arenas Norambuena, Carolina. (2016). Caracterización de la calidad de cáscara de huevo blanco en planteles avícolas comerciales en Chile y su relación con determinados factores de producción. Santiago, Chile: Universidad de Chile- Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140676>

Autocompactantes Empleando Residuos de Demolición. La Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, RLMM. Obtenido en: <https://search-ebscohost-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=99220799&lang=es&site=eds-live>.

B. Jiang et al., “Preparation and characterization of natural corn starch-based composite films reinforced by eggshell powder,” CYTA - J. Food, vol. 16, no. 1, pp. 1045–1054, 2018, doi: 10.1080/19476337.2018.1527783.

Bogotá.

Camargo Pérez, N.R., Higuera Sandoval, C.H. (2017). Concreto Hidráulico Modificado con Sílice Obtenida De La Cascarilla Del Arroz. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Obtenido en: <https://eds-b-ebscohost-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=b6f89429-48d2-49c4-8908-5fbb7530eb2c%40pdc-v-sessmgr0>

Camones Lock, J. (2018). Resistencia de adoquines de concreto $f'c = 320 \text{ kg/cm}^2$, sustituyendo el cemento en 10% por la combinación de ceniza de bagazo de cebada y cáscara de huevo. Universidad San Pedro. Perú. Recuperado de:
<http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/11380>

Cárdenas Santana, D. (2020). Mobiliario urbano en concreto: nuevas aplicaciones en Colombia. Blog innovación y tendencias. Argos. Recuperado de:
<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/mobiliario-urbano-en-concreto-aplicaciones-en->

Carrillo, J., González, G., Aperador, William. (2013). Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero. Ingeniería, Investigación y Tecnología.

Castro, D & Alfaro, J. (2019). Análisis comparativo de las propiedades físicas-mecánicas del concreto de resistencias $f'c = 210, 280, 350 \text{ kg/cm}^2$ sustituyendo material cementicio por cascara de huevo. Universidad Privada Antenor Orrego. Trabajo de fin de grado. Perú

Clemente A, Souza A, Galván L y Reyes R. (2005). Estrategias empresariales para la Conservación ambiental en el Sector Industrial. Universidad, Ciencia y Tecnología. 9(33): 3-9. colombia

DANE. (2019). Estadísticas de Cemento Gris (ECG). construcción. Recuperado de:
dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/estadisticas-de-cemento-gris

E. Rocha Tamayo, “Construcciones sostenibles: materiales, certificaciones y LCA,” Nodo Arquitect. Ciudad. Medio Ambient., vol. 6, no. 11, pp. 99–116, 2011.

Enseñat de Villalonga, A. (2012). La industria del cemento dentro de la problemática de la contaminación atmosférica. Revista Materiales de Construcción. CSIC. pp 21.

Euclid Chemical Toxement. (2020). Guía de especificación concreto arquitectónico enfocado en el concreto blanco. Tocancipá Colombia. Recuperado de:
https://www.toxement.com.co/media/4138/gui-a_concreto_blanco.pdf

Facultad de Ingeniería Civil. Perú. Recuperado de:

<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5429>

Fajardo, J & Moreno, O. (2018). Viabilidad técnica para la elaboración de concreto estructural clase D reemplazando cantidades específicas de cemento por residuos de mampostería derivado de demoliciones. Universidad Santo Tomas. Trabajo de fin de grado.

Figuerola, T & Palacio, R. (2008). Patologías, causas y soluciones del concreto arquitectónico en Medellín. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Revista EIA. ISSN 1794-1237. Colombia.

Gomez, F., Frías, S., Bravo, V., Pacheco, C. (2018). Uso de cáscara de huevo como reemplazo parcial de material cementante en cubos mortero de cemento hidráulico. Investigación formativa en Ingeniería. Segunda Edición. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. pp 159-165. ISBN: 978-958-56686-0-7.

González Díaz, J., Medina, M. (2014). Diseño y evaluación del compostaje como alternativa para el tratamiento de residuos de aditivos en la construcción. vol.9, n.1, pp.44-62. ISSN 1909-0455.

ICONTEC. (1994). Norma Técnica Colombiana (NTC-1377). Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio. Bogotá

ICONTEC. (2000). Norma Técnica Colombiana (NTC-174). Especificaciones de los agregados para concreto. Bogotá

ICONTEC. (2007). Norma Técnica Colombiana (NTC-77). Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. Bogotá

ICONTEC. (2010). Norma Técnica Colombiana (NTC-1032). Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión. Bogotá

ICONTEC. (2010). Norma Técnica Colombiana (NTC-673). Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Bogotá

ICONTEC. (2017). Norma Técnica Colombiana (NTC-121). Especificación de desempeño para cemento hidráulico. Bogotá

INVIAS. (2013). Instituto Nacional de vías (INV E-213). Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino. Sección 200 – Agregados pétreos. Bogotá.

INVIAS. (2013). Instituto Nacional de vías (INV E-214). Determinación de la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200) en los agregados pétreos mediante lavado.

INVIAS. (2013). Instituto Nacional de vías (INV E-217). Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto. Sección 200 – Agregados pétreos. Bogotá.

INVIAS. (2013). Instituto Nacional de vías (INV E-222). Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino. Sección 200 – Agregados pétreos. Bogotá.

INVIAS. (2013). Instituto Nacional de vías (INV E-223). Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso. Sección 200 – Agregados pétreos.

INVIAS. (2013). Instituto Nacional de vías (INV E-307). Densidad del cemento hidráulico. Sección 300 – Afirmados subbases y bases. Bogotá.

INVIAS. (2013). Instituto Nacional de vías (INV E-400). Resistencia a la compresión de cilindros de concreto. Sección 400 – Concreto hidráulico. Bogotá.

Juárez Alvarado, C. A. (2006). Uso de las fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en el concreto. Monterrey (México), Argentina: Red Ciencia UANL. Recuperado de <https://elibro.net/es/lc/usta/titulos/19626>.

Koraleski, J.; Świątkiewicz, S. (2004). Calcium from limestone meal and grit in laying hens diet – effect on performance, eggshell and bone quality. *J. Anim. Feed Sci.* 13(4):635-645.

Melquisedec Cortés, William Mozo, Enrique Vera (2019). Investigation on fired clay bricks by replacing clay with recycled glass and sludge ash, Tunja Boyaca, Colombia. *Open Science Journal*: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1386/1/012089>

Melquisedec Cortés, Y., Enrique Vera (2019). Methodology for simulating the process of microbiologically induced degradation of concrete by chemical exposure of specimens under controlled laboratory conditions, Tunja Boyaca, Colombia. *Open Science Journal*: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1386/1/012089>

Muñoz, A., Torres, N., Guzman, A. (2019). Assessment of a mortar with recycled aggregate from a concrete improved by carbonation: a look to a sustainable construction. *Revista Ingenieria de Construcción*. 34 (1). pp. 25-32, doi: 10.4067/s0718-50732019000100025

Navas de García, A., Reyes Gil, R. E., & Galván Rico, L. E. (2015). Impactos ambientales asociados con el proceso de producción del concreto. *Enfoque UTE*, 6(4), 67–80. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n4.79>

Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*, Santa fe de Bogotá, Colombia. Brandar Editores LTDA.

Santolo, G. (2018). A new nondestructive method for measuring eggshell thickness using a non-ferrous material thickness gauge/ Un método nuevo para medir el grosor de la cáscara de huevos utilizando calibres de grosor de material no ferroso. *The Wilson Journal of Ornithology*, 2018. Obtenido en: <https://search-ebscohost-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/login.aspx?direct=true&db=edsgsr&AN=edsgcl.547758099&lang=es&site=eds-live> Sección 200 – Agregados pétreos. Bogotá.

Silva, Y., Robayo, R., Matthey, P. Delvasto, S. (2015). Obtención de Concretos

Vargas Corredor, Y., Pérez Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente, Yopal Casanare, Colombia.

Revista Facultad de Ciencias Básicas. doi: <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>

Volume 14, Issue 3. pp 435-450. Recuperado de: [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72256-X](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72256-X).

Zuquetti Gonçalves, E. C., Ferreira de Amorim, E., Alves, I. A., Fernandes de Borges, J. L., Rodrigues Bernardes Frazão, L., Guimarães Resende, M., Pereira, R. C., & de Oliveira Nahime, B. (2020). Aditivos E Adições No Concreto. *Global Science & Technology*, 13(1), 88–102.