

APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE SOSTENIBILIDAD PARA LA FABRICACION
DE CONCRETO.

Raúl Mauricio López Ponce De León.

Universidad Piloto de Colombia.
Facultad de Arquitectura y Artes
Programa de Arquitectura
Bogotá, Colombia.
Enero del 2014.

APLICACIÓN DE PRINCIPIOS DE SOSTENIBILIDAD PARA LA FABRICACION
DE CONCRETO.

Raúl Mauricio López Ponce De León.

Trabajo de grado para optar al título de Arquitecto

Director - coautor: Arq. Pilar Díaz forero
Jurado: Arq. Juan Manuel Garzón Blanco
Seminarista: Soc. Laura Arzayus
Asesores: Arq. Alberto Carvajalino
Arq. Diana Fernández.

Universidad Piloto de Colombia.
Facultad de Arquitectura y Artes
Programa de Arquitectura
Bogotá, Colombia.
Enero del 2014.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Arq. Edgar Camacho Camacho.
Decano Fac. Arquitectura y Artes

Arq. Rafael Francesconi
Director de coordinación parte II

Arq. Pilar Díaz Forero
Director de proyecto de grado

Bogotá D.C. Enero 17 del 2014

TABLA DE CONTENIDO

Introducción

1.	MARCO CONCEPTUAL	12
1.1.	CONCRETO	12
1.1.1.	Composición del concreto.....	13
1.1.2.	Tipos de concreto.....	15
1.1.3.	Contexto histórico.....	16
1.1.4.	Resistencia del concreto.....	20
1.2.	MARCO TEORICO	25
1.2.1.	Arquitectura sostenible.....	25
2.	DIAGNÓSTICO	29
2.1.	MATERIALES RECICLADOS	29
2.1.1.	Escombros.....	30
2.1.2.	Ceniza volante.....	32
2.2.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL, FABRICACIÓN DEL CONCRETO A BASE DE CENIZA VOLANTE Y ESCOMBROS TRITURADOS	33
2.2.1.	Preparación de los especímenes.....	34
2.2.2.	Selección y caracterización de materias primas.....	34
2.2.2.1.	Materias primas.....	34
2.2.2.1.1.	Ceniza volante.....	35
2.2.2.1.2.	Activador alcalino: Soda cáustica (hidróxido de sodio).....	35
2.2.2.1.3.	Agregados reciclados (escombros triturados).....	36
2.2.2.1.4.	Aditivos.....	36
2.2.3.	Definición de mezclas.....	37
2.2.4.	Presentación y análisis de resultados.....	37
2.3.	APLICACIÓN	40

3. **CONCLUSIÓN**..... 45

BIBLIOGRAFÍA..... 46

LISTA DE FIGURAS

Imagen 1. Procesos tradicionales de fabricación del cemento y áridos para concreto e impactos en el medio ambiente.	9
Imagen 2. Composición del concreto.....	13
Figura 3. Panteón Romano, Coliseo Romano, Basílica de Constantino	16
Figura 4. Faro de Eddy Stone.....	17
Figura 5. Mercado de Girardot y estadio de beisbol de Cartagena	18
Figura 6. Estructura reticular celulada edificio Nader.....	18
Figura 7. Molde cilíndrico.....	22
Figura 8. Toma de cilindros de concreto.	23
Figura 9. Molde para cubos de mortero.....	24
Figura 10. Orden en que se deben apisonar las capas.	26
Figura 11, composición concreto a base de ceniza volante y escombros reciclados.....	30
Figura 12, residuos de construcción y demolición.....	31
Figura 13, Flujograma del proceso para una unidad de una termoeléctrica.....	33
Figura 14. Ceniza bajante Termozipa.....	34
Figura 15. Ceniza volante Coltejer.....	35
Figura 16. Soda caustica (hidróxido de sodio) en escamas y diluida en agua.	36
Figura 17. Piedra y arena de escombros triturados.....	36
Figura 18. Aditivos implementados en la experimentación.....	37
Figura 19, fallo a compresión cubo de mortero.....	38

RESUMEN

En este proyecto de grado se describen los resultados obtenidos de la investigación sobre la fabricación de concreto simple con materiales reciclados, en este caso de investigación se usaron desechos industriales y su posible aplicación en la industria de la construcción, teniendo en cuenta la investigación “Comportamiento mecánico y durabilidad de morteros de cenizas volantes activadas alcalinamente” de la Ingeniera Civil Estefanía Robayo Núñez de la Pontificia Universidad Javeriana, no se definirán variables económicas ya que solo se investiga la posibilidad de desarrollar dicho material.

Inicialmente se estudió el concreto tradicional y sus componentes, determinando los impactos ambientales negativos que se generan al momento de su producción, resaltando la necesidad de proponer alternativas que ayuden a minimizar dichos impactos, bajo principios de sostenibilidad enfocadas al campo de la arquitectura sostenible, para así desarrollar el concreto con materiales reciclados.

Se analizaron estudios previos de materiales reciclados usados en el concreto para así determinar que materiales implementar en el desarrollo de la investigación, reemplazando sus componentes tradicionales: cemento y agregados naturales (piedra y arena), por los desechos industriales: ceniza volante como aglomerante y escombros de concreto triturados como áridos.

De acuerdo a los resultados obtenidos del comportamiento mecánico del material propuesto, se determinó la aplicación final en prefabricados de concreto no estructural; adoquines, adoquín ecológico, bloques, bloques para muros de contención y terrazas.

Palabras clave: concreto, reciclaje de materiales, impacto ambiental, construcción, escombros, ceniza volante, arquitectura sostenible,

INTRODUCCION

La arquitectura asume el desarrollo de una ciudad y del mismo modo es una de las disciplinas responsables de los cambios en el entorno urbano, social, económico y ambiental, en cuanto a obras e infraestructura se refiere, por eso sería ideal aplicar los principios de sostenibilidad para la fabricación de los materiales y elementos que componen la construcción.

Sin embargo es claro que no todos estos procesos cumplen con las condiciones de sostenibilidad. Esto sucede debido a los procesos de producción industrial y la construcción, en sí, que contribuyen al aumento de las emisiones y la contaminación, tanto en el proceso constructivo como a lo largo de su vida útil. Una vez cumplido este ciclo aparece la generación de residuos constructivos, de mantenimiento y de demolición, los cuales podrían ser reutilizados para que brinden una solución viable, responsable y comprometida, en el objetivo de tratar de cerrar los ciclos dentro de las ciudades actuales

Este cambio del modelo de actuación del sector de la construcción se producirá cuando todos los agentes implicados en el proceso tomen conciencia de que nuevos criterios y tecnologías son viables a nivel económico y práctico y que su aplicación puede contribuir significativamente a la reducción de consumos de los recursos naturales limitados de los que disponemos como el suelo, el agua, los materiales, la energía, etc. Todo ello no sólo para mejorar las condiciones ambientales de la ciudad, sino también para asegurar la continuidad del desarrollo de la construcción, igualmente dependiente de estos recursos.

Materiales como el concreto que según la empresa ARGOS, Holcim, Cemento Diamante, etc. productoras de cementos y concreto para construcción, *“es una masa heterogénea compuesta por agregados (rocas de tamaños específicos), cemento, agua, aire y algunas veces aditivos. Cuando el concreto está fresco se le puede dar cualquier forma y una vez se endurece tiene las características de ser durable en el tiempo y de resistir esfuerzos mecánicos como la compresión.”*¹ Analizando la situación planteada, se propone producir concreto a partir de cenizas volantes y escombros reciclados, con el propósito de reducir los grandes gastos de materiales naturales no renovables y el impacto ambiental negativo producido por la elaboración de concreto de la manera tradicional.

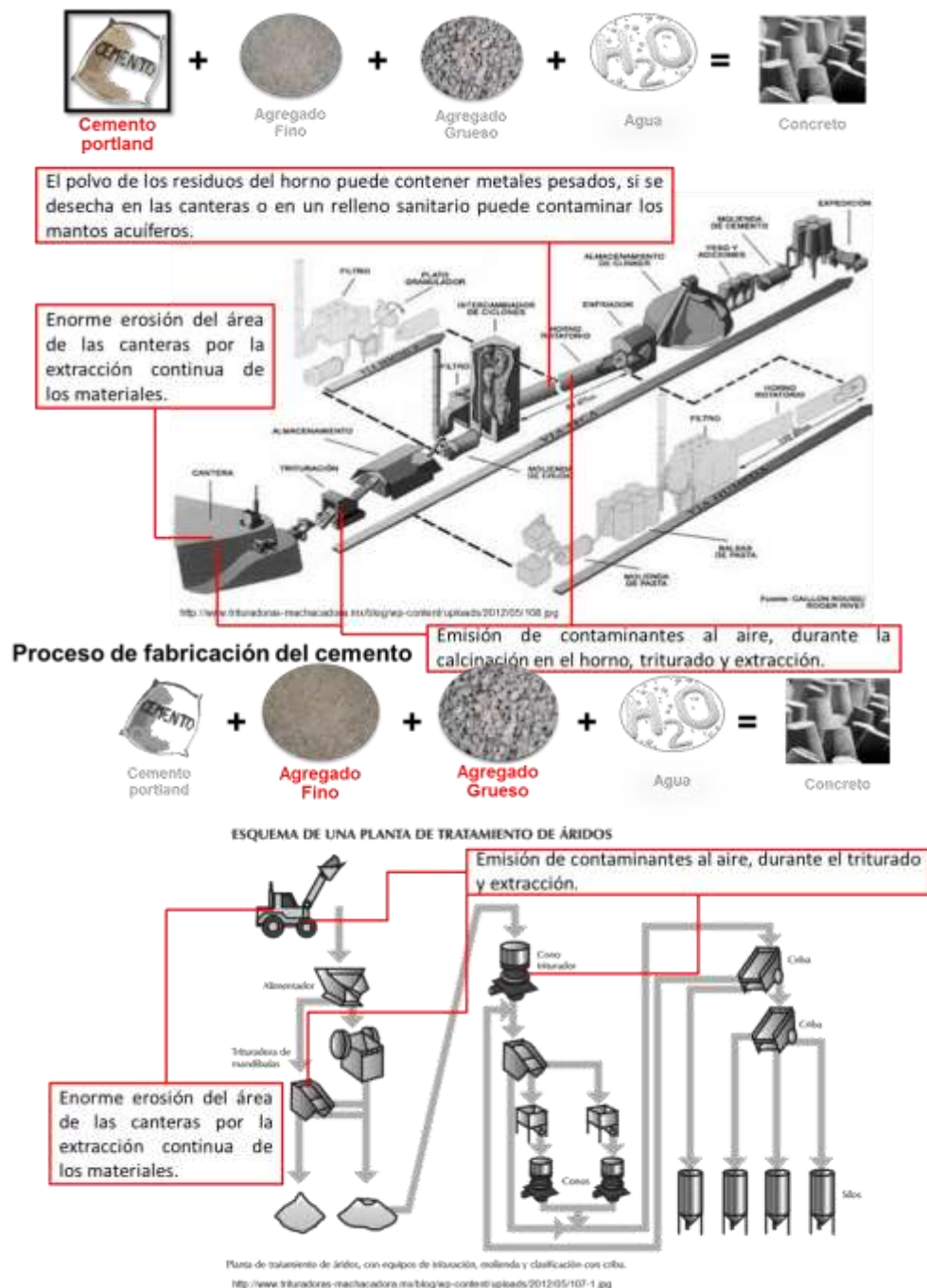
Métodos tradicionales.

Los procesos tradicionales de fabricación de materiales para construcción generan altos impactos ambientales; la mayoría de desechos que genera la industria de la construcción no se reciclan dejando los ciclos urbanos abiertos lo que lleva a la

¹ Concreto ARGOS, “descripción del producto” disponible online: <http://www.goodmarketing.com.co/content/concreto-argos>. Fecha de consulta: 24 de mayo 2013 1:00 pm.

insostenibilidad de las ciudades, hay una alta explotación de recursos naturales no renovables. En el caso del concreto, la fabricación de todos sus componentes proviene directamente de la explotación de la naturaleza; la piedra caliza para hacer el cemento, arena y gravilla, son extraídas de canteras (trituration total), empleando implosiones controladas con explosivos de uso comercial como la dinamita y maquinaria para su extracción o de bancos de ríos (trituration parcial) empleando la maquinaria.

Imagen 1. Procesos tradicionales de fabricación del cemento y áridos para concreto e impactos en el medio ambiente.
Fuente, Modificado por el autor.



Al respecto en la Agencia de Noticias de La Universidad Nacional De Colombia, del 02 de Noviembre del 2012; **El impacto ambiental de la minería legal o ilegal es el mismo.** El profesor del Instituto de Ciencias Naturales de la UN, Gonzalo Andrade, afirmó; *“El asunto no es entrar a decomisar maquinaria, tipificar esta práctica penalmente y llevar a la cárcel a los que viven de eso. El tema es qué vamos a hacer como país, con la minería legal o ilegal para que no haya un daño al medioambiente como ya lo estamos viendo”* Y *“la minería sostenible no existe. Es la peor mentira que se puede emitir”*, refiriéndose también a que en Colombia hace falta un riguroso control ambiental, no solo por la minería ilegal, también en la legal ya que esta actividad en general, genera impactos ambientales y ni el estado, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ni las CAR, están tomando acciones ni decisiones para contrarrestar este fenómeno.

Sin embargo cabe resaltar que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible cuenta con una normativa que exige a “Toda persona natural o jurídica que desarrolle una actividad minera en zonas donde está permitida la actividad o en áreas de suspensión de actividad, debe solicitar a la autoridad ambiental los términos de referencia para elaborar el Plan de Manejo Ambiental o el Plan de Recuperación y Restauración Ambiental. Para llevar a cabo la restauración ambiental y morfológica de la zona intervenida”². Pero es evidente que esta norma por un lado no es aplicada por todos los implicados en la minería y por el otro no es suficiente para mitigar los impactos ambientales que esta actividad genera.

Debido a esta situación, el problema de este proyecto está centrado en qué los procesos tradicionales de fabricación de materiales para la construcción generan impactos ambientales negativos, en comparación con procesos de reciclaje de residuos, Lo cual lleva a plantear la necesidad de elaborar un concreto que garantice la sostenibilidad y especialmente aporte a la conservación de recursos naturales no renovables que son necesarios para la construcción.

De acuerdo a esto, se plantea el objetivo general de, Investigar la aplicación del concreto elaborado con materiales reciclados: ceniza volante y escombros triturados. Y cinco objetivos específicos:

- Conocer materiales tradicionales empleados en la fabricación del concreto y su elaboración.
- Conocer materiales reciclados propuestos para la fabricación del concreto y su elaboración.

² Resolución 1277 del 26 de noviembre de 1996.

-Experimentar en la elaboración del concreto propuesto hasta alcanzar características físicas que satisfagan normas de calidad.

-Evaluar resultados en términos de impacto ambiental y económico, comparativamente con la elaboración tradicional del concreto.

-Aplicar en elementos constructivos que cumplan con las normas técnicas.

Según esto, se estableció entonces que la justificación de abordar este tema como proyecto de grado radica en que el uso de los residuos de construcción y demolición, que son básicamente inertes, constituidos por: tierras y áridos mezclados, piedras, restos de hormigón, restos de pavimentos asfálticos, cristal, plásticos, yesos, maderas, en general, todos los desechos que se producen por el movimiento de tierras y construcción de edificaciones nuevas y obras de infraestructura, así como los generados por la demolición o reparación de edificaciones antiguas; son transportados a depósitos o basureros donde contaminan y se desaprovecha su energía y potencial reutilizable o reciclable³, es una estrategia sostenible para desarrollar materiales de construcción.

Por otro lado el concreto es uno de los elementos de construcción que desde antes de su fabricación ya ha generado impactos negativos en el medio ambiente, teniendo en cuenta las emisiones de gases contaminantes, el polvo, la erosión, que ha dejado en el camino la fabricación de sus componentes principales;^{4 5} Impactos que pueden ser evitados o disminuidos si se aplican principios de sostenibilidad a métodos más conscientes de fabricación, aprovechando los residuos anteriormente mencionados.

Es por esto que se pretende contrarrestar el deterioro medio ambiental usando un método sostenible basado en los lineamientos de la arquitectura sostenible, con materiales reciclados y nuevas técnicas de fabricación, en este caso con el concreto a base de ceniza volante y escombros triturados, enfocando su uso en el diseño de Mobiliario especial para zonas de manejo y preservación ambiental, para permitir una vida útil más prolongada y menos contaminante, se apoya en la idea de cerrar ciclos y obtener materiales menos agresivos con el medio ambiente permitiendo manejar los derivados de los mismos recursos y generar una constante que beneficia directamente a todo el contexto social, económico y ambiental en el que se desarrolla el proyecto.

³ Master ingeniería ambiental "Residuos de construcción y demolición". PDF. Disponible online: <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>. Fecha de Consulta:

⁴ Los efectos ambientales de la producción del cemento. PDF. Disponible online: <http://www.pladesemapesga.com/descargas/anexonotadeprensa-efectos-ambientales-del%20cinker.pdf>. Fecha de consulta:

⁵ PALACIO, Luis Miguel. "Minería acaba último gran humedal de la Sabana de Bogotá". En Unimedios, UN Periódico Impreso No. 133 mayo. 08 de 2010.

1. MARCO CONCEPTUAL

A continuación se presenta una descripción del concreto, sus componentes, tipos de concreto, contexto histórico y métodos para determinar resistencia del concreto.

1.1. CONCRETO.

Los autores en los cuales se apoya la investigación son: Ana Dorys Ramírez, Martha Cecilia Zapata Gómez, con el libro **Representación de estructuras en concreto reforzado**, universidad colegio mayor de Cundinamarca, 2006. En el que “*se fijan parámetros en la representación de estructuras en concreto reforzado, de acuerdo con la Norma Sismo Resistente del 98 (NSR/98), para cumplir, además, con el objetivo general de identificar un lenguaje específico y proponer criterios unificados en el área.*”⁶. El autor Diego Sánchez De Guzmán, con el libro **Tecnología del concreto y del mortero**, 2001. En el que “*Diego Sánchez de Guzmán aprovecha toda su experiencia docente y su envidiable bagaje profesional para explicar, las propiedades, características y selección de los materiales básicos; las del concreto y del mortero como materiales compuestos, con múltiples consideraciones sobre el diseño de mezclas y control de calidad, así como también los criterios más importantes sobre control, diseño y producción.*”⁷. El autor Hernando Vargas Caicedo, con el capítulo “**De la tapia pisada a la piedra líquida**” del libro **La Construcción del Concreto en Colombia, apropiación, expresión, proyección**, 2006. En el que expone una reseña histórica del concreto, la llegada de este a Colombia y como influyó en el desarrollo del país.

Etimología:

Hormigón proviene de la palabra latina *formáceo*, que se refiere a la cualidad de “moldeable” o “dar forma”. La palabra **Concreto**, también proviene del latín de la palabra *concretus*. Que significa “crecer unidos”, etimológicamente *concreto* es un sinónimo de concrecionado y concreción que es la unión de diferentes partículas para formar una masa.⁸

El concreto es un material usado en construcción, es fabricado mediante la mezcla de cemento (aglomerante), agua, aditivos y agregados: grava y arena. Sus características físicas permiten moldearlo de diversas formas (con “cajas” llamados encofrados o formaletas), soportar elevadas fuerzas de compresión y si es reforzado con acero puede resistir fuerzas longitudinales.

⁶ <http://www.unicolmayor.edu.co/?idcategoria=1649>

⁷ <http://www.librosyeditores.com/tiendalemoine/ingenieria-civil/625-tecnologia-del-concreto-y-del-mortero.html>

⁸ Concreto. disponible online: https://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n#cite_note-Kuhmar-1. Fecha de Consulta: 24 de mayo 2013 a la 1:04 pm.

El aglomerante más usado es el cemento Portland, mezclado con agua se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, fragua y endurece en pocas horas con firmeza pétreo ya que con ella experimenta una reacción química. Esta reacción se llama hidratación, por lo cual es también llamado cemento hidráulico.⁹. Según su diámetro medio, los agregados son áridos que se clasifican en grava, gravilla y arena. La mezcla de solo cemento con agua y arena se llama mortero y tiene la cualidad de pegamento. Para modificar sus características físicas o comportamientos se añaden aditivos y adiciones como: fibras, acelerantes y retardantes de fraguado, colorantes, fluidificantes, impermeabilizantes, etc., dependiendo de los requerimientos técnicos.

Como se mencionó anteriormente, el concreto con acero, resiste esfuerzos longitudinales, a este se le llama concreto armado o reforzado. Para diseñar una estructura de concreto reforzado se requiere de un cálculo estructural, donde se determinan las dimensiones, el tipo de concreto, el tipo de acero en función de las cargas, esfuerzos y condiciones ambientales a los que estará expuesta.

En la actualidad el concreto es el material más usado en la industria de la construcción, su aplicación es indispensable para desarrollar cimentaciones de estructuras y en casi todas las construcciones de arquitectura e ingeniería civil como: edificios, túneles, puentes, calles, bodegas, casas, canales, puertos, prefabricados como mobiliario urbano, bloques de mampostería, adoquines, láminas de concreto, losas, etc.

1.1.1. Composición del concreto. El concreto está compuesto, como ya se mencionó, por materiales como; agregados (fino y grueso), agua y cemento. El agregado fino es la arena y se considera como tal si sus partículas son menores que 6,4 mm, el agregado grueso es piedra o grava y sus partículas son mayores que la anterior cifra.



Al mezclar el cemento con agua, el cemento reacciona y forma una pasta aglutinadora. Todas las partículas de la arena y de grava quedan envueltas por la pasta, cubriendo todos los espacios que pueda haber entre ellas. Cuando la pasta se seca y se solidifica, todos estos materiales quedan encadenados formando una masa sólida. El concreto se fortalece con el paso del tiempo, la experiencia habla

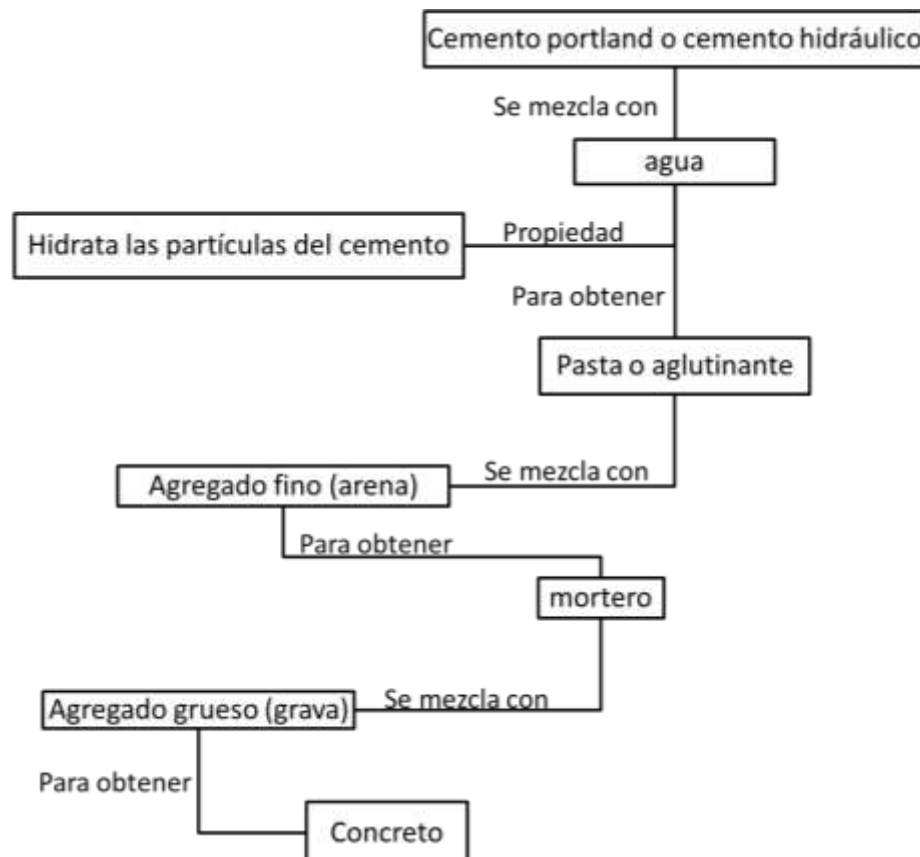
⁹ SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Bhandar Editores, 2001.

de que a los 28 días el concreto adquiere su resistencia final del 100%, puede llegar a resistencias mayores a los 3 meses 120% y al año 135%.

El diseño de mezcla del concreto se establece en relación a los volúmenes de cemento, arena, y grava. Un concreto 1:2:3 consiste en una parte por volumen de cemento, dos partes de arena y tres partes de grava. Para mejorar su resistencia y duración, se cambian las proporciones según especificaciones y aplicaciones. Estas relaciones pueden ser de 1:2:3: a 1:2:4 y 1:3:5, la cantidad de agua que se aplica a las mezclas es de 1 a 1,5 veces el volumen de cemento.

Para conseguir mayor resistencia, el volumen de cemento debe ser mayor, el concreto se puede mezclar a mano pero solo es recomendable hacerlo para trabajos y reparaciones pequeñas ya que las maquinas mezcladoras proporcionan una mezcla más pareja, cuando el concreto se ha endurecido, se debe humedecer o cubrir con agua o con materiales que retengan la humedad. Cuanto mejor sea el tipo de curado en el concreto, la resistencia y durabilidad de este serán mayores. En época de calor debe mantenerse húmedo por lo menos tres días y en época de frio no se debe dejar congelar durante la fase inicial de endurecimiento, pero en las condiciones climáticas de Colombia solo es necesario mantener húmedo el concreto. Para un mejor entendimiento de lo mencionado anteriormente, se presenta el mapa conceptual No1 Composición del concreto.

Mapa conceptual No1 Composición del concreto. (Fuente, representación de estructuras en concreto reforzado, Universidad colegio Mayor de Cundinamarca. 2006)



1.1.2. Tipos de concreto. Concreto simple. Mezcla de cemento, agregado fino (arena), agregado grueso (grava) y agua, no tiene acero de refuerzo.

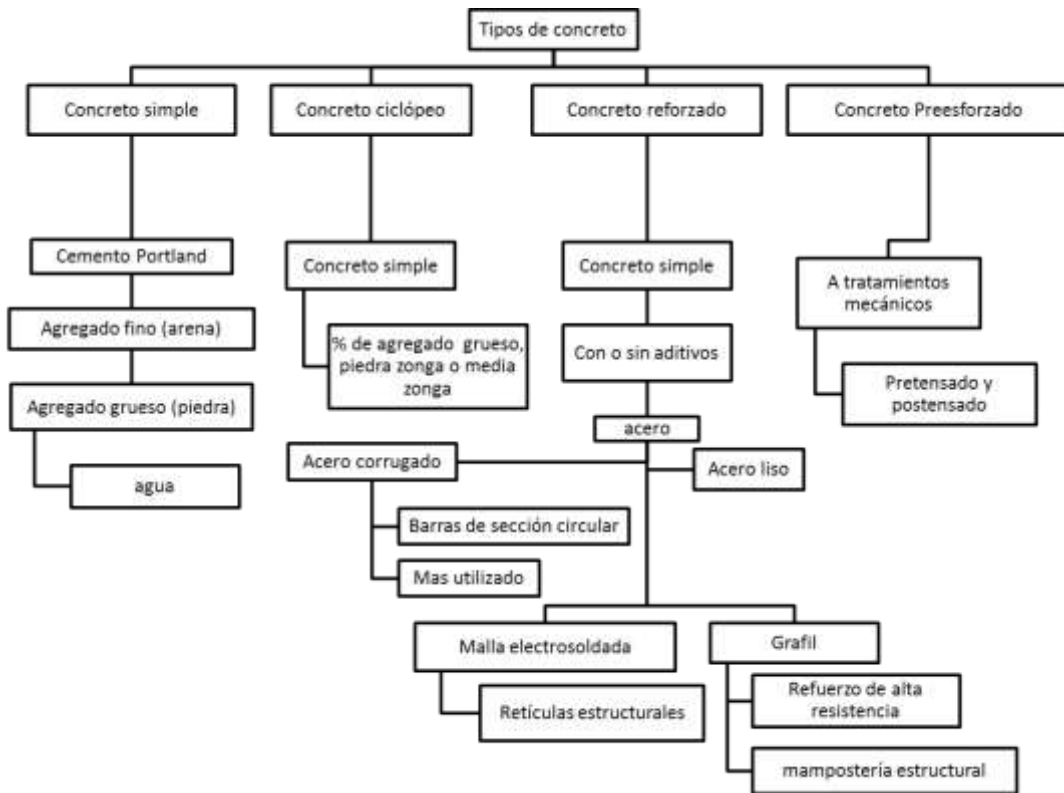
Concreto ciclópeo: Mezcla de concreto simple y agregado más grueso (piedra media zonga). Utilizado para la construcción de elementos estructurales.

Concreto reforzado: Uso del concreto simple adicionándole barras o mallas de acero, polímeros o fibras. Resiste los esfuerzos de compresión, tracción y torsión.

Concreto preesforzado: material que previamente a su utilización se somete a tratamientos mecánicos destinados a crear esfuerzos de compresión en las zonas que posteriormente reciben esfuerzos de tracción debido a la aplicación de las cargas.¹⁰

En el mapa conceptual No2, se muestra los tipos de concreto y sus componentes.

Mapa conceptual No2 Tipos de concreto. (Fuente, representación de estructuras en concreto reforzado, Universidad colegio Mayor de Cundinamarca. 2006, modificado por el autor.)



¹⁰ Reglamento de Construcciones Sismo resistentes Nsr10 Tomo Uno, TITULO C, CONCRETO ESTRUCTURAL.

1.1.3. Contexto histórico. Conocer la experiencia colombiana en el proceso de producción, apropiación y utilización del concreto como un elemento importante en la construcción debe estar unido al contexto de Latinoamérica, desde finales del siglo XIX. El desarrollo del concreto en el país debe vincularse al más extenso proceso de su origen y difusión internacional, con raíces distantes y sucesivas transformaciones. Además, el proceso de elaboración de una cultura colombiana del concreto se examina desde sus primeros usos, enseñanzas e industrias hacia sus fases de experimentación, maduración y consolidación alrededor de temas como la arquitectura, la construcción vertical, las membranas delgadas, las codificaciones y prácticas técnicas, para verificar la especificidad de la exploración cumplida, la relación entre sus principales tiempos y huellas.¹¹

El desarrollo del concreto como uno de los principales materiales en la construcción, tiene su origen en la utilización de morteros. El uso del concreto se ha dado desde que la humanidad vio la necesidad de construir un lugar donde vivir, la cual ha tenido diferentes transformaciones a lo largo de la historia para llegar a ser el material que es hoy en día.

Empezando por primeros indicios alrededor de 12.000 años a.c, del uso de diferentes tipos de morteros hechos principalmente de yeso y arena, en Turquía, para unir rocas. Luego en Roma y Grecia, se producen morteros a base de piedra caliza o cal viva, agua y arena. Con el tiempo se le fueron agregando piedra triturada, tejas rotas o ladrillos, dando origen a los primeros concretos de la historia. Después se añadió la arcilla cocida con materiales volcánicos. Las cuales poseían mayor resistencia y duración ante el agua.

Algunas de las edificaciones con este tipo de concretos son el Panteón Romano 27 a.c., el Coliseo 80 d.c. y la Basílica de Constantino 310 d.c. La combinación de este material con diseños estructurales de arcos y cúpulas permite que sigan en pie en la actualidad.

Figura 3, Panteón Romano, Coliseo Romano, Basílica de Constantino. Fuente, modificado por el autor.



¹¹ VARGAS CAICEDO, Hernando. "De la tapia pisada a la piedra líquida". En: ARCOS ARCINIEGAS, Bibiana. PAREDES, Marie Claire (editores). La Construcción del Concreto en Colombia, apropiación, expresión, proyección. 2006.

Luego de que en la edad media perdiera fuerza el uso de este material, en el siglo once se reinició con el perfeccionamiento de la calcinación de la cal, abriendo el camino a nuevas investigaciones y descubrimientos como en el siglo dieciocho que aparece el cemento hidráulico descubierto por John Smeaton, en la construcción del faro de Eddy Stone, 1756. En gran Bretaña, logrando un concreto que fragüe bajo el agua y que una vez endurecido, fuera insoluble en ella. La mejora de los morteros conlleva al auge del concreto.

Figura 4, Faro de Eddy Stone. Fuente, <http://tectonicablog.com/wp-content/uploads/2010/07/eddlight1.jpg>



En 1824, el constructor inglés Joseph Aspdin, calcinó en un horno, una mezcla de tres partes de piedra caliza por una de arcilla, lo cual pulverizó, obteniendo la patente del cemento hidráulico o Portland.

Pasaron casi 100 años de experimentación, estandarización y reglamentación por parte de Alemania, Francia, Inglaterra y Estados Unidos, para que el concreto llegara a Colombia.¹²

Concreto en Colombia: desde la época de la colonia, se venía usando unos tipos de morteros hechos de cal implementados en obras importantes y sistemas de cañería, pero el concreto como tal no se usó hasta principios del siglo veinte, debido a que predominó la arquitectura española (con la tapia pisada, bahareque, cimentaciones en piedra, pilotes de madera y arcos en estructuras) y la arquitectura Republicana con cerchas (armaduras) en madera con uniones metálicas, columnas de hierro y mampostería. Además no se contaba con la infraestructura como la de los países investigadores y productores del material.

En 1908 en Colombia se crea la industria cementera que acelera la modernización, en ese año se construye el hotel Magdalena en Puerto Berrío, señalado de ser la primera estructura construida en concreto armado del país. En la época de 1922 a 1936 se alcanzan ocho pisos en estructuras de hormigón reforzadas con rieles, a finales de los años treinta surge la primera disposición legal nacional que exige los planos y diseños estructurales al lado de los

¹² VARGAS CAICEDO, Hernando. "De la tapia pisada a la piedra líquida". En: ARCOS ARCINIEGAS, Bibiana. PAREDES, Marie Claire (editores). La Construcción del Concreto en Colombia, apropiación, expresión, proyección. 2006.

arquitectónicos. De 1936 a 1958 se emplea el concreto para hacer ligeras cascarras utilizadas por primera vez en el mercado de Girardot de 5 centímetros de grosor, y luego en el estadio de beisbol de Cartagena construido en 1947 con membranas de 4 centímetros.

Figura 5, Mercado de Girardot y estadio de beisbol de Cartagena. Fuente, modificado por el autor.



En 1948 se da una ruptura con el edificio Nader donde se aplica una versión colombiana de un entrepiso brasileño armado en dos direcciones, que reduce a la mitad el acero requerido, se patenta y exporta a varios países.

Figura 6, Estructura reticular celular edificio Nader. Fuente, http://dearq.uniandes.edu.co/sites/default/files/articles/attachments/DeArq_04_-_Vargas_Caicedo.pdf



El concreto comienza a producirse en plantas de premezcla en Bogotá y en la década de los cincuenta en Medellín y Cali. Llegan las primeras torregruas y bombas, se mejora el encofrado con formaletas de metal, se reducen los costos del producto y se mejora la calidad.

Desde los años sesenta hasta finales de los setenta, se usaron diferentes tipos de estructuras dando paso final a la configuración aporticada, se empieza a considerar en el diseño estructural no solo los efectos verticales, sino los del empuje sísmico horizontal, los pilotajes hincados fueron reemplazados por pilotes pre excavados y muros fundidos insitu, como los muros de contención, muros pantalla y muros cortina. Los aceros dulces son sustituidos por varillas corrugadas, el PVC es introducido en los sistemas de desagüe.

Luego se popularizó la mampostería estructural para las viviendas multifamiliares, a finales de los años noventa el concepto estructura ligera es aplicado en casi todas las partes de las edificaciones con los concretos aligerados (estructuras), paneles en cartón-yeso, láminas de fibrocemento, paneles de lámina delgada de acero (recubrimientos). Aparece el entrepiso de lámina colaborante conocida también como Steel deck o metal deck que facilita y agiliza la fundición del concreto y evita el uso de formaletas.

En 1998 se publica las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo resistente, (NSR-98) donde se presenta un conjunto que integra no solo la seguridad estructural, sino elementos seminales de la seguridad física y confort, con una declarada intención de responsabilidad sobre diseñadores, ejecutores y supervisores.¹³

Antecedentes de la normatividad sismo resistente en Colombia.

“El 7 de junio de 1984 se expidió por medio del Decreto 1400 de 1984 la primera normativa colombiana de construcciones sismo resistentes_. Este documento fue una respuesta a la tragedia en víctimas y daños materiales que constituyó el sismo de Popayán del 31 de marzo de 1983. Dado que se trataba de un decreto de facultades extraordinarias autorizado por la ley 11 de 1983, su actualización tecnológica no era posible sin una nueva ley que lo autorizara.

A mediados de la década de 1990 se emprendieron las gestiones ante el legislativo para crear una ley marco que regulara los temas afines con la construcción sismo resistente y permitiera realizar actualizaciones periódicas sin tener que recurrir al Congreso cada vez que hubiese necesidad de actualizar la reglamentación. En el año 1997 se expidió por parte del Congreso de la Republica la ley 400 por medio de la cual se regulo el tema de sismo resistencia de las edificaciones colombianas.

La ley 400 de 1997 reglamento los siguientes aspectos fundamentales para que el país disponga de una reglamentación de construcción sismo resistente moderna y actualizada en todo momento:

¹³ VARGAS CAICEDO, Hernando. “De la tapia pisada a la piedra líquida”. En: ARCOS ARCINIEGAS, Bibiana. PAREDES, Marie Claire (editores). La Construcción del Concreto en Colombia, apropiación, expresión, proyección. 2006.

- Fija el objeto, alcance, excepciones, definiciones, responsabilidades, profesionales y otros temas afines. (título I a V – Artículos 1 a 22).
- Define los profesionales que pueden realizar las labores de diseño, revisión de los diseños, construcción y supervisión técnica, sus cualidades y calidades. (título VI – Artículos 23 a 38)
- Crea la comisión asesora permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, define su conformación y funciones. (título VII – Artículos 39 a 44).
- Define en detalle el temario técnico y científico del reglamento colombiano de Construcciones Sismo Resistente y autoriza al Presidente a expedir por medio de decretos actualizaciones periódicas previo visto favorable de la comisión asesora permanente del régimen de Construcciones Sismo Resistentes (título VIII – Artículos 45 a 49).
- Define las responsabilidades y sanciones, fija unos plazos para realizar los análisis de vulnerabilidad sísmica y la actualización de edificaciones indispensables y de atención a la comunidad. (títulos IX y X – Artículos 50 a 56).

Con base en la potestad reglamentaria que da la Ley 400 de 1997, se expidió el reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-98 por medio del decreto 33 del 9 de enero de 1998. Posteriormente se expidieron tres decretos adicionales comprendidos dentro del Reglamento NSR-98, a saber: Decreto 34 de 1999. Decreto 2809 de 2000 y decreto 52 de 2002; los cuales trataron de aspectos importantes para la correcta aplicación del Reglamento NSR-98 y que afectaron solo algunas partes de él.

A continuación se relacionan las principales modificaciones técnicas y científicas que se realizaron para producir la actualización del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.”

1.1.4. Resistencia del concreto. *“En términos generales, la resistencia del concreto se determina por la cantidad neta de agua utilizada por cantidad unitaria de cemento, para un conjunto dado de materiales y condiciones. Esto es lo que se conoce hoy en día como la relación “agua-cemento”, la cual está dada en peso.”¹⁴*

Medida de la resistencia a la compresión.

“como ya se mencionó, la resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que recibe esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado. La forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en Kg/cm² y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (PSI). La equivalencia que hay entre los dos es que 1 PSI es igual a 0.07 Kg/cm². Aunque hoy en día se ha acogido

¹⁴ SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Bhandar Editores, 2001.

expresarla en Mega-Pascales (Mpa), de acuerdo con el Sistema Internacional de Medidas.

La forma de evaluar la resistencia del concreto es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, para lo cual se toman muestras y se hacen especímenes para fallar, o no destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Para las primeras, se utilizan tres tipos de muestras: cilindros, cubos y prismas. Se definirá el ensayo más reconocido para ejecutar las pruebas de resistencia a la compresión simple que es el ensayo de probetas cilíndricas y cubos”, ya que son los métodos que se van a utilizar en el desarrollo de la investigación.

Ensayo de cilindros.

Para definir la calidad del material que se implementa en elementos estructurales, se mide la resistencia a la compresión del concreto. A los 28 días de fraguado y curado del concreto, se determina la resistencia real por medio de ensayos de cilindros, fundidos generalmente en moldes de hierro de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto. En la norma NTC 550. Se especifica la confección de los cilindros y en la NTC 673. Hace referencia al ensayo de resistencia a compresión.¹⁵ **Figura 7 Molde cilíndrico.**

Después de seleccionar la muestra de concreto fresco, de acuerdo a la norma NTC 454 (hormigón fresco-toma de muestras), se procede de la siguiente forma:

Es necesario aceitar los moldes antes de aplicar el concreto, para evitar que se adhiera al metal, se usa una brocha impregnada de ACPM untando las paredes y el fondo dejando una capa delgada sin dejar que se acumule.

“El cilindro se llena en tres capas de igual altura (10cm) y cada capa se apisona con una varilla lisa de 16 mm (5/8”) de diámetro, con uno de sus extremos redondeados, la cual se introduce 25 veces por capa en diferentes sitios de la superficie del concreto, teniendo cuidado de que la varilla solo atravesase la capa que se está compactando, sin pasar a la capa siguiente. Al final de la compactación se completa el llenado del molde con más mezcál y se alisa la superficie con la ayuda de un palustre o de una regla.”¹⁶

Cuando se está llenando, a cada capa se le dan unos golpes a las paredes con un martillo de caucho con el objetivo de eliminar las burbujas de aire que hayan quedado en el concreto. **Figura 8 Toma de cilindros de concreto.**

Los cilindros fundidos se quedan en reposo protegidos de los golpes y el ambiente, al día siguiente se desencofra cuidadosamente.

¹⁵ RAMÍREZ LÓPEZ, Ana Dorys, et al. Representación de estructuras en concreto reforzado. Universidad colegio Mayor de Cundinamarca, 2006.

¹⁶ SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Bhandar Editores, 2001.

Enseguida los cilindros se someten a proceso de curado introduciéndolo en agua o en cuartos de curado a 23 grados centígrados, para evitar la pérdida de agua que contiene el cilindro y en condiciones estables de temperatura para que la resistencia se establezca en condiciones estables a través del tiempo hasta el día del ensayo.

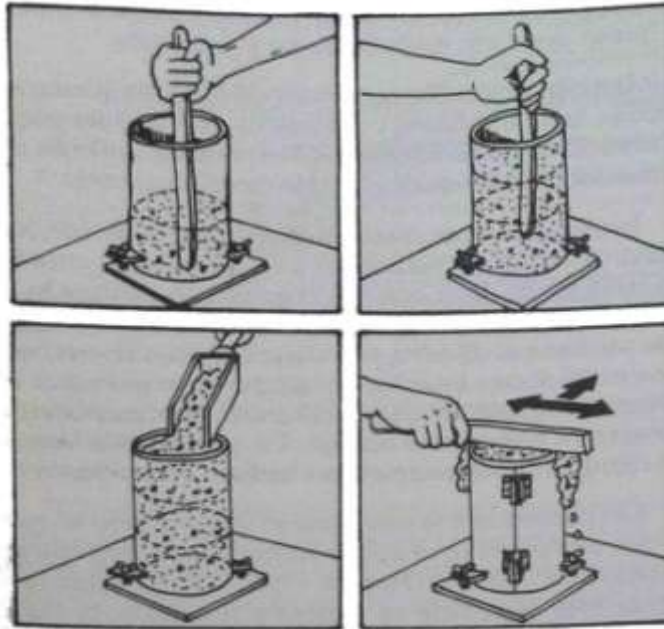
“La resistencia a la compresión del concreto se mide con una prensa que aplica carga sobre la superficie superior del cilindro (Norma NTC 673). La resistencia a la compresión, como ya se mencionó, se acostumbra a dar en términos de esfuerzo, PSI, Mpa, Kg/cm2.”¹⁷

Figura 7. Molde cilíndrico. Fuente, <http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/images/stories/virtuemart/product/FOTO%2017%20Moldes%20cilindricos%20para%20concreto.png>.



¹⁷ SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Bhandar Editores, 2001.

Figura 8. Toma de cilindros de concreto. Fuente, Tecnología del concreto y del mortero, Diego Sánchez De Guzmán, 2001



La tabla No1 muestra las diferentes resistencias del concreto a la compresión usadas en la construcción. En la primera columna se presenta en libras sobre pulgadas (PSI), en la segunda columna el equivalente en kilogramos sobre centímetro cuadrado (kg/cm²); en la tercera columna su equivalente en Mega Pascal y en la última columna se presenta la resistencia alta, media o baja según corresponda.

TIPOS DE CONCRETO

PSI	Kg/cm ²	Mpa	RESISTENCIA
5000	352	35	ALTA
4500	316	32	ALTA
4000	281	28	ALTA
3500	246	25	MEDIA
3000	211	21	MEDIA
2500	176	18	BAJA
2000	141	14	BAJA

Tabla No1 resistencias del concreto, Fuente, Representación de estructuras en concreto reforzado, Universidad colegio Mayor de Cundinamarca. 2006 y modificada por el autor.

Ensayo de cubos.

A continuación se hace una descripción de la norma NTC 220 Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50,8 de lado.

“Este método de ensayo proporciona un medio para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico y otros morteros.”

Los moldes para las probetas cubicas de 5cm por 5cm son fabricados en metal, no deben tener más de tres compartimientos y deben ser separables, con dispositivos que aseguren una perfecta unión, las caras internas deben ser lisas. **Figura 9 molde para cubos de mortero.**

Al igual que los cilindros, Es necesario aceitar los moldes antes de aplicar el mortero, para evitar que se adhiera al metal, se usa un trapo impregnado de ACPM untando las paredes y el fondo dejando una capa delgada sin dejar que se acumule.

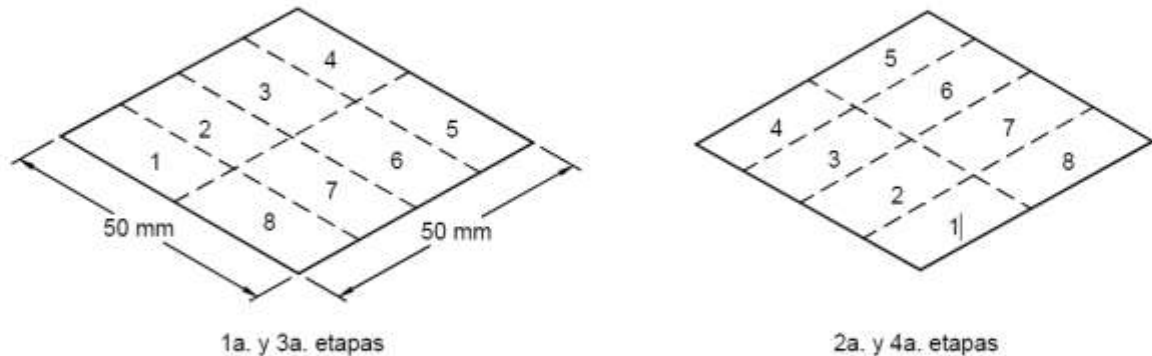
“En cada compartimiento se coloca una capa de mortero de 25 mm (aproximadamente la mitad de la profundidad del molde). Se apisona con 32 golpes del compactador en 4 etapas de 8 golpes adyacentes”, como se ilustra en la **Figura 10 orden en que se deben apisonar las capas.** “En cada etapa debe golpearse siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior. Se deben completar las cuatro etapas de compactación (32 golpes) en cada compartimiento antes de seguir con el siguiente. Una vez terminada la operación anterior, en todos los compartimientos, se llenan con una segunda capa y se apisonan como se explicó anteriormente. La superficie de los cubos debe alisarse con un palustre.”

Al igual que los cilindros, los cubos fundidos se quedan en reposo protegidos de los golpes y el ambiente, al día siguiente se desencofra cuidadosamente, luego se someten a proceso de curado introduciéndolo en agua o en cuartos de curado a 23 grados centígrados, para evitar la pérdida de agua para que la resistencia se establezca en condiciones estables a través del tiempo hasta el día del ensayo.

Figura 9. Molde para cubos de mortero. Fuente <http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/images/stories/virtuemart/product/FOTO%2021%20MOLDE%20TRIPLE%20CUBO.png>.



Figura 10. Orden en que se deben apisonar las capas. Fuente NTC 220 Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50,8 de lado.



1.2. MARCO TEORICO

Se presenta una síntesis de arquitectura sostenible, de diferentes autores especializados en el tema, y la definición de los criterios y acciones sostenibles que se usarán en el desarrollo del proyecto.

1.2.1. Arquitectura sostenible. El sector de la construcción está pasando por un proceso de transformación donde científicos, arquitectos, ingenieros y en general toda la sociedad, están buscando alternativas para reivindicar esta actividad, consiente de su responsabilidad como parte del motor principal que mueve la sociedad, no solo por preservar más tiempo los recursos naturales, sino también pensando en un desarrollo económico y social más equitativo.

En el caso de los componentes del concreto surgen investigaciones por separado, basadas principalmente en buscar el ahorro de materiales y dinero, usando materiales reciclados como adiciones y aditivos en pequeñas proporciones que mejoren y abaraten el precio del concreto tradicional. A medida que avanzan las investigaciones la concepción de un desarrollo sostenible adquiere mayor fuerza en la sociedad, se busca remplazar en su totalidad por lo menos uno de los materiales tradicionales que componen el concreto anterior mente mencionados, que provienen de procesos de fabricación altamente negativos para la sociedad y el medio ambiente.

“La construcción sostenible no tiene como objeto único la creación de espacios habitables sino que influye también en el uso de los mismos aportando un plus de responsabilidad en la manera de crearlos y utilizarlos.”¹⁸

¹⁸ CONSTRUIBLE - Todo sobre [Construcción Sostenible](http://www.construible.es) - [Arquitectura Bioclimática](http://www.construible.es), [Energías Renovables](http://www.construible.es), [Eficiencia Energética](http://www.construible.es), [Domótica e Inmótica](http://www.construible.es), etc. Disponible online: <http://www.construible.es/noticiasDetalle.aspx?c=10>. Fecha de consulta:

Paralelamente, se van desarrollando métodos alternativos de arquitectura que generen edificaciones autosuficientes, donde anteriormente se ha manejado un estudio cuidadoso en la selección de materiales, procesos constructivos y en un diseño que satisfaga las necesidades de una arquitectura sedienta de sostenibilidad para generar el menor impacto ambiental y el mayor confort (arquitectura sostenible). Muchas veces prevalece el factor sostenible sobre el económico, justificado en el ahorro a largo plazo que este tipo de edificaciones pueda generar no solo a los propietarios y ocupantes, sino a la sociedad y a la naturaleza en general, pensado en un desarrollo colectivo.

A continuación se expondrán síntesis de diferentes definiciones de la arquitectura sostenible donde se hará un análisis para determinar el enfoque a la investigación, seleccionando lineamientos que regirán la fabricación del nuevo concreto enmarcándolo como un elemento de la arquitectura sostenible.

De acuerdo a lo planteado por el arquitecto constructor **Carlos Mauricio Bedoya Montoya**, en su libro **Construcción sostenible para volver al camino 2011**, se puede deducir que; la construcción sostenible es aquella que implica el uso sostenible de la energía, dirigida no solo a la reducción de impactos ambientales causados por la construcción y derribo de edificaciones y el ambiente urbanizado, sino que también en su función como lugar para vivir tanto en el interior como en el entorno.

Del Grupo Tecma Red S.L líder en información y comunicación sobre Energía, Sostenibilidad y Nuevas Tecnologías en la Edificación y la Ciudad en España. Se define qué; La base de la arquitectura sostenible es el adecuado manejo y reutilización de los recursos naturales y el máximo aprovechamiento de la energía. Tiene presente la adecuada selección de procesos constructivos y materiales, se enfoca en el desarrollo del entorno urbano. Observa minuciosamente el ciclo de vida del edificio, desde el diseño arquitectónico, obtención de las materias primas, hasta que regresa al medio en forma de residuos, buscando incrementar su vida útil.

Además propone cinco criterios sostenibles que permiten fijar objetivos a seguir para poder analizar y medir tanto al inicio del proceso como a lo largo de la vida útil de los edificios, teniendo en cuenta los recursos a disposición en el proceso constructivo:

Materias primas, agua, terreno, energía:

- Grado de ocupación del territorio.
- Aportación al cambio climático.
- Variación del ciclo natural del agua.
- Modificación del ciclo de los materiales.
- Calidad de espacios habitables.

Estos criterios deberán ser puestos en marcha mediante parámetros que definirán una actuación constructiva sostenible. La consecución de los mismos se debe llevar a cabo mediante acciones concretas que influirán en uno o varios de los puntos que se enumeran a continuación:

- **Correcta integración en el ambiente físico**

Por medio de un buen estudio del terreno, usar de él lo necesario, conservando al máximo su integridad y aprovechando todos sus elementos, (viento, luz, tierra, agua, entorno, paisaje)

- **Adecuada elección de materiales y procesos**

Evitar el uso de materiales peligrosos y preferir el uso de materiales procedentes de recursos renovables, incrementando la vida útil por medio del reciclaje.

- **Gestión eficiente del agua y la energía**

Disminución de emisiones de CO2 y sustancias tóxicas, fomentando la ventilación y luz natural en los diseños arquitectónicos, al igual que la implementación de sistemas que reciclen y gasten menos agua.

- **Planificación y control de la generación de residuos**

Por medio de diseños que faciliten un desmontaje y separación selectiva durante los procesos de demolición y rehabilitación, disminuyendo la generación de residuos inertes.

- **Creación de atmósfera interior saludable**

Usando de materiales con bajas emisiones tóxicas, acompañado de una buena ventilación preferiblemente natural y que satisfagan las necesidades de los ocupantes, se mantendrá una atmósfera interior saludable.

- **Eficiencia calidad-costo (coste eficaz)**

Aumentando la calidad del producto se disminuye el mantenimiento y con ello el costo durante su vida útil.¹⁹

Por otro lado Luis De Garrido en su libro **Análisis de proyectos de arquitectura sostenible: Naturalezas artificiales 2008-2011**. Plantea cinco puntos como pilares básicos de la arquitectura sostenible. Estos pilares son los siguientes:

- Optimización de los recursos y materiales
- Disminución del consumo energético y fomento de energías renovables
- Disminución de residuos y emisiones
- Disminución del mantenimiento, explotación y uso de los edificios

¹⁹ CONSTRUIBLE - Todo sobre [Construcción Sostenible](#) - [Arquitectura Bioclimática](#), [Energías Renovables](#), [Eficiencia Energética](#), [Domótica e Inmótica](#), etc. Disponible online: <http://www.construible.es/noticiasDetalle.aspx?c=10>. Fecha de consulta:

- Aumento de la calidad de vida de los ocupantes de los edificios

Clasificación de acciones arquitectónicas sostenibles.

Como resultado de todo lo expuesto hasta el momento es posible establecer un conjunto de acciones arquitectónicas, ya ordenadas por su grado de eficacia, y clasificadas por su coste económico, que ayuden a cumplir los anteriores criterios o pilares sostenibles.

El plantea 31 acciones sin coste adicional significativo de alta eficacia medioambiental de las cuales 5 enmarcaran la investigación:

- Industrialización de componentes
- Prefabricación de componentes
- Utilización de materiales recuperados
- Disminución máxima de residuos (correcto diseño y ejecución)
- Optimización del proceso constructivo

Además plantea 17 acciones con coste adicional moderado y 11 con alto coste adicional, las cuales no tienen que ver con el objetivo de la investigación.

Criterios y acciones sostenibles a trabajar.

De acuerdo con las anteriores definiciones se determinó un listado de cinco criterios sostenibles que limitan y dirigen la investigación:

- Disminución de residuos y emisiones.
- Disminución del consumo energético.
- Optimización de recursos y materiales.
- Modificación del ciclo de los materiales.
- Aportación al cambio climático

Serán cumplidos por medio de tres acciones sostenibles:

Acciones sostenibles:

- **Prevención de las emisiones tóxicas:**

Al usar componentes considerados desechos, se está evitando la generación y emisión de más gases tóxicos al medio ambiente, para la fabricación del material propuesto.

- **Uso eficaz de los materiales no renovables:**

Para la obtención de los componentes principales del material propuesto no se requiere de la explotación de la naturaleza, pero provienen de anteriores ciclos donde fueron en principio extraídos de la naturaleza, se busca alargar su vida útil para así prevenir el aumento de la explotación directa, prolongando la conservación de áreas naturales y biodiversidad.

- **Disminución de residuos inertes mediante la reducción en su origen y fomento del reciclaje:**

Al usar componentes considerados desechos, se está proponiendo la disminución de los residuos inertes que se generan y los que ya están en botaderos, fomentando su desaparición a largo plazo.

2. DIAGNÓSTICO.

2.1. MATERIALES RECICLADOS.

Para la fabricación del concreto se implementara el uso de escombros de concreto y cenizas volante que son considerados desechos y son depositados en rellenos sanitarios donde pierden la posibilidad de ser reutilizados y generan contaminación; pero tienen un potencial muy alto de reciclaje.

Figura 11, composición concreto a base de ceniza volante y escombros reciclados. Fuente, autor.



“Esta opción consiste en la reconversión de los residuos en nuevas materias primas que puedan ser utilizadas en la fabricación de nuevos productos para ser empleados en nuevas obras. Con respecto a la reutilización, presenta diferencias, ya que los productos son alterados en su forma original y en sus propiedades, por tanto se trata de reutilizar después de transformar el residuo en otros productos.”²⁰

No son materiales ajenos al mundo de la arquitectura y construcción; los escombros provienen de las actividades de demolición, reparación y adecuación de edificaciones.²¹ Aunque la ceniza volante proviene de la combustión del carbón para generar energía, en centrales termoeléctricas, es usada como aditivo para mejorar las características físicas de los morteros y concretos.²²

2.1.1. Escombros. Los escombros tienen origen en la construcción, demolición, restauración y rehabilitación de infraestructuras y edificaciones. También se les denomina residuos de construcción y demolición, (RCD). Su composición depende del tipo de edificaciones, el tipo de materias primas que se usen en el sector, contexto socio

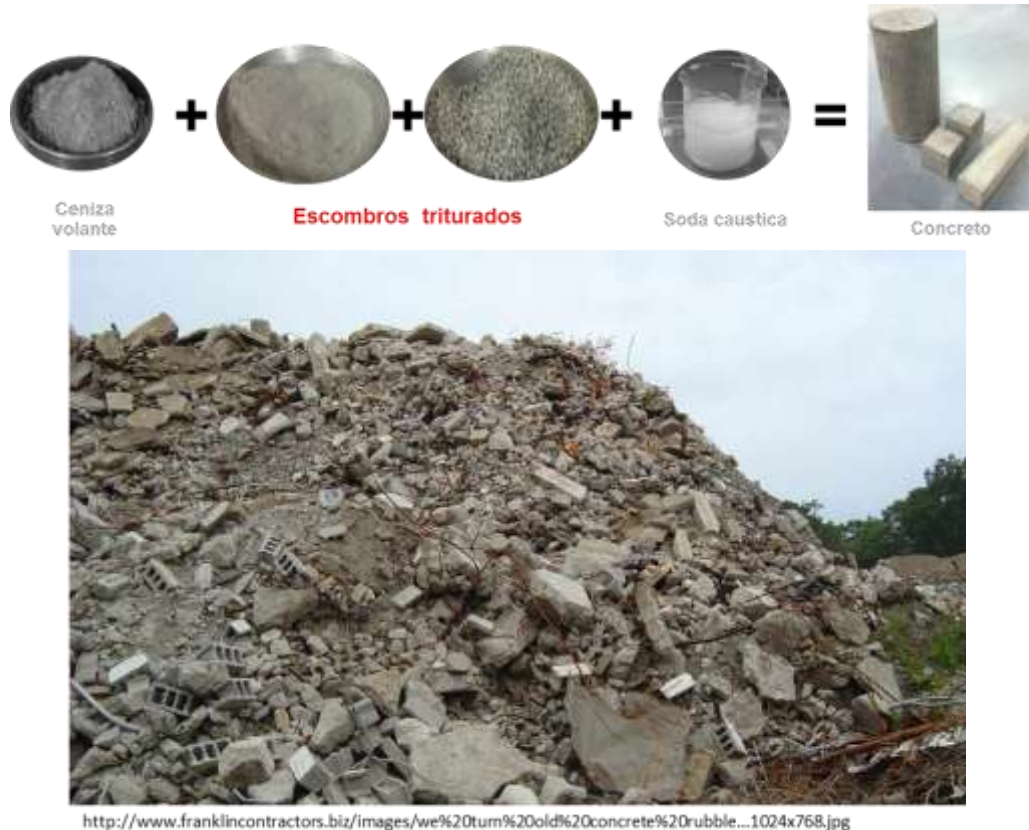
²⁰ Master ingeniería ambiental “Residuos de construcción y demolición”. PDF. Disponible online: <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>. Fecha de Consulta:

²¹ Master ingeniería ambiental “Residuos de construcción y demolición”. PDF. Disponible online: <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>. Fecha de Consulta:

²² Norma UNE 83-415

económico y cultural, también influye la edad de la edificación ya que la composición de las edificaciones varía con el paso del tiempo.²³

Figura 12, residuos de construcción y demolición. Fuente, modificado por el autor.



Todas las ciudades viven en el presente problemas ambientales como la contaminación del aire por el transporte urbano y la generación de residuos. Como se nombró anteriormente, las actividades de la construcción y demolición hacen parte del segundo problema, los residuos generados por estas actividades se pueden clasificar en inertes y pétreos, identificándose las siguientes tipologías:

- Restos de concreto. (predominante en Colombia)
- Restos de ladrillo y mortero de pega. (predominante en Colombia)
- restos de tuberías plásticas.
- Madera
- Empaques de materiales.

²³ ²³ Master ingeniería ambiental "Residuos de construcción y demolición". PDF. Disponible online: <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>. Fecha de Consulta:

Al no disponer con programas de recuperación de escombros, se demuele indiscriminadamente y se vierte todo en un mismo sitio, disminuyendo la posibilidad de reciclaje o reutilización.²⁴

Según Un anuncio de la Administración Distrital, Bogotá al final del año 2012 se esperaba contar con aproximadamente 14 millones de metros cúbicos de escombros. La cual adelantó medidas para utilizar técnicas de aprovechamiento, tratamiento y disposición final de residuos de construcción y demolición.

“Con estos nuevos planes y estrategias se busca disminuir el impacto ambiental derivado de la generación de RCD, residuos peligrosos y residuos orgánicos a través del diseño e implementación de acciones integrales de gestión y control que propendan por el mejoramiento de la calidad de vida, definidas en el Plan de Desarrollo Bogotá Humana.”²⁵

2.1.2. Ceniza volante. Según la definición de la norma UNE 83-415, la ceniza volante es el producto sólido y en estado de fina división, procedente de la combustión de carbón pulverizado en los hogares de centrales térmicas, que es arrastrado por los gases del proceso y recuperado de ellos, en los filtros (precipitador electroestático).

“La ceniza volante, como subproducto, es utilizada para la fabricación de vidrio, cerámica, ladrillos, para capas firmes de carreteras, para cama de tubos, y elaboración de hormigones.”²⁶

CARACTERÍSTICAS DE LAS CENIZAS VOLANTES

La fabricación de las cenizas volantes está determinada por el tipo de carbón, sus características físicas, químicas, morfológicas y proceso térmico de la central termoeléctrica. No son un material homogéneo debido a que sus partículas son diferentes en tamaño, textura, composición química y granulometría. Durante el proceso de combustión del carbón, a temperaturas entre 1.500 y 1.700 °C suceden diferentes reacciones químicas, La naturaleza cristalina de las cenizas volantes que se originan está ligada, no sólo a la temperatura de combustión, sino a la rapidez de enfriamiento. Un enfriamiento rápido ayuda que la proporción entre el contenido de material vítreo y cristalino aumente, lo cual influye en la reactividad del material y en sus propiedades puzolánicas, propiedades que permiten usar

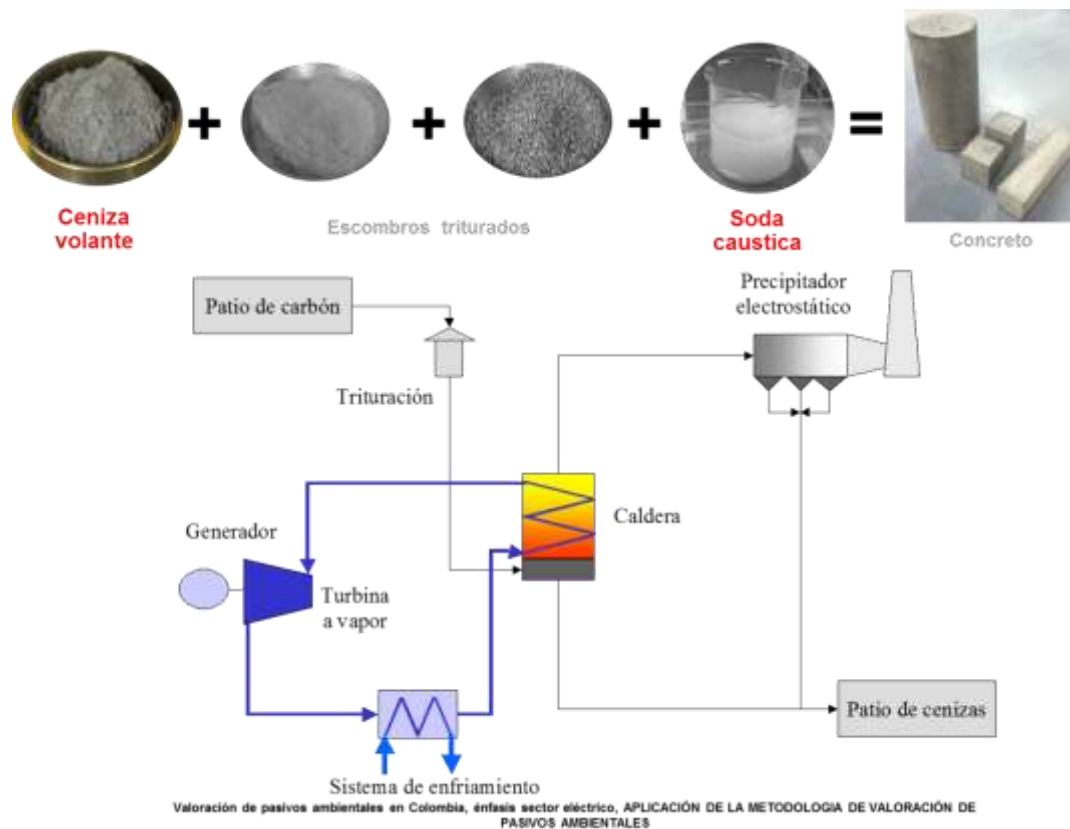
²⁴ BEDOYA, Carlos. Construcción sostenible Para volver al camino. Medellín: Biblioteca Jurídica Diké

²⁵ Artículo, “Por una Bogotá sin escombros”. Disponible online: <http://confidencialcolombia.com/es/1/903/565/Por-una-Bogot%C3%A1-sin-escombros-Escombros-Bogot%C3%A1-contaminaci%C3%B3n-residuos-secretaria.htm>. Fecha de consulta:

²⁶ SANTAELLA VALENCIA, Luz Elena “Comportamiento del concreto con bajos porcentajes de ceniza volante (termopaipa IV) y agua constante”, Ciencia e Ingeniería Neogranadina, núm. 14, noviembre, 2004, pp. 1-7, Universidad Militar Nueva Granada. Colombia, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101402>.

este producto como cemento. Las partículas gruesas caen al fondo de la caldera y las partículas más finas permanecen suspendidas en los gases, adquiriendo forma esférica debido a la tensión superficial; éstas son las que toman el nombre de cenizas volantes.²⁷

Figura 13, Flujograma del proceso para una unidad de una termoeléctrica, Fuente, modificado por el autor.



2.2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL, FABRICACIÓN DEL CONCRETO A BASE DE CENIZA VOLANTE Y ESCOMBROS TRITURADOS.

La metodología experimental se apoya en el trabajo de grado “Comportamiento mecánico y durabilidad de morteros de cenizas volantes activadas alcalinamente” de la Ingeniera Civil Estefanía Robayo Núñez de la Pontificia Universidad Javeriana. No se repetirán los experimentos que ya se realizaron en la investigación de Estefanía pero se usarán los resultados para compararlos con los de esta nueva investigación, se tomarán los resultados de las mezclas de control

²⁷ Pardo, Antonio “NORMALIZACIÓN ESPAÑOLA SOBRE CENIZAS VOLANTES (NORMAS UNE)”, Asociación Española de Fabricantes de Hormigón Preparado (ANEFHOP) •Pilar de Luxán, Dra en ciencias Químicas Instituto de la Construcción y del Cemento “Eduardo Torreja” (CSIC)

de cemento tipo 1 y las mezclas con 100% ceniza volante y activador alcalino soda caustica concentración 10 molar, teniendo en cuenta que se está usando la misma ceniza y la misma concentración de activador, pero con la diferencia de que se implementarán escombros triturados como agregados para las mezclas, dando un rumbo más sostenible a esta investigación.

2.2.1. Preparación de los especímenes. En esta etapa se definió que material y qué tipo de mezcla usar para la experimentación. Al ser un trabajo en su principio empírico, iba madurando a la vez que se profundizaba en la investigación. Se empezó a experimentar con ceniza bajante de la termoeléctrica de Zipaquirá Termozipa, lo que se creía era ceniza volante y los resultados no fueron los esperados **ver figura 14**, ya que esta ceniza no tiene las cualidades físicas cementantes necesarias como la ceniza volante.

Se concluyó que Termozipa puede proveer la ceniza volante necesaria, pero avanzando en la investigación y teniendo la información del proyecto de grado de Ingeniera Civil Estefanía Robayo Núñez de la Pontificia Universidad Javeriana, se decidió usar la ceniza volante de la termoeléctrica de Coltejer en Medellín, con el fin de poder comparar resultados de los experimentos.

Figura 14. Ceniza bajante Termozipa. Fuente: Autor



2.2.2. Selección y caracterización de materias primas. En esta sección se expondrán los materiales a usar en la experimentación, su procedencia y características.

2.2.2.1. Materias primas. Se han realizaron dos tipos de mezcla para mortero: con ceniza volante, activador alcalino: soda cáustica (hidróxido de sodio) y árido reciclado, a una se le aplicó aditivo Sika-2. Y otras dos para concreto: con ceniza volante, activador alcalino: soda cáustica (hidróxido de sodio) y áridos reciclados, a una se le

aplicó aditivo Plastocrete y a la otra Sikaset L. a continuación se presenta una explicación de cada material.

2.2.2.1.1. Ceniza volante. La ceniza volante utilizada en esta investigación, proveniente de la termoeléctrica que da energía a Coltejer en Medellín, Cenizas con bajo contenido de cal y obtenidas a partir de la quema de carbón bituminoso.



Figura 15. Ceniza volante Coltejer. Fuente, Autor

2.2.2.1.2. Activador alcalino: Soda cáustica (hidróxido de sodio). Se utilizó como activador alcalino soda cáustica diluida en agua a una concentración 10 molar debido a que fue la concentración y activador alcalino que mostró mejor comportamiento en la anterior investigación.



Figura 16. Soda caustica (hidróxido de sodio) en escamas y diluida en agua. Fuente: Autor

2.2.2.1.3. **Agregados reciclados (escombros triturados).** La arena y la piedra natural se reemplazaron por escombros triturados en su mayoría escombros de concreto procesados y vendidos por la empresa Reciclados Industriales.



Figura 17. Piedra y arena de escombros triturados. Fuente: Autor

2.2.2.1.4. **Aditivos.** Se aplicaron tres aditivos con el fin de encontrar el que mejor se comporte con el material nuevo, que ayude a fraguar la mezcla de un día a otro para evitar el uso de horno, se usó: **sika2** es un aditivo líquido rojo, alcalino, que mezclado con cemento puro proporciona una pasta de rápido endurecimiento²⁸. **Sikaset L** Aditivo líquido de acción acelerante sobre tiempo de fraguado y a resistencias mecánicas del concreto a base de cloruros. Cumple norma ASTM 494, tipo C²⁹ y por último se usó **Plastocrete** es un aditivo líquido color café oscuro, reductor de agua con acción impermeabilizante. No contiene cloruros.³⁰



Figura 18. Aditivos implementados en la experimentación. Fuente, autor

²⁸ Ficha técnica Sika2

²⁹ Ficha técnica Sikaset L

³⁰ Ficha técnica Plastocrete

2.2.3. Definición de mezclas. Con el fin de determinar la mezcla definitiva a trabajar en el proyecto, se realizaron probetas previas de mortero y concreto para definir si era posible eliminar el uso del horno aplicando diferentes aditivos, el mejor método de curado y la mejor temperatura en caso de ser indispensable el horno para la confección del concreto propuesto.

Las mezclas usadas se definieron de acuerdo a la mezcla que dio mejores resultados en la investigación de la Ingeniera Civil Estefanía Robayo Núñez de la Pontificia Universidad Javeriana, y la dosificación del concreto se realizó de acuerdo a la norma ASTM C 311.³¹ Se prepararon cubos de 5.0 x 5.0 x 5.0 cm con las cuatro mezclas (6 por mezcla), para evaluar su resistencia a la compresión según la norma INV.E-323 y NTC 220³². A cada mezcla correspondiente se le agrego el porcentaje requerido de aditivo según especificaciones.

- **Mezcla 1:** Mezcla de mortero sin aditivo, en horno a 70° por un día (10 grados más y un día menos que la investigación anterior).
- **Mezcla 2:** Mezcla de mortero con aditivo Sika-2 (no estuvo en horno).
- **Mezcla 3:** Mezcla de concreto con aditivo Plastocrete (no estuvo en horno).
- **Mezcla 4:** Mezcla de concreto con aditivo Sikaset-L (no estuvo en horno)

2.2.4. Presentación y análisis de resultados. A continuación se presenta en la tabla 2. Dosificaciones mezclas de mortero y concreto, las dosificaciones, el aditivo aplicado y el método de curado correspondiente a cada mezcla.

Tabla No 2. Dosificaciones mezclas de mortero y concreto. Fuente: Autor

³¹ ASTM C 311 Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concret.(Métodos de prueba estándar para el muestreo y ensayo de cenizas volantes o puzolanas naturales para uso en Portland-Cement)

³² NTC 220 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO USANDO CUBOS DE 50 mm ó 50,8 mm DE LADO

Dosificaciones mezclas de mortero y concreto				
MATERIAL	MEZCLAS			
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4
Ceniza Volante	500 Gr	500 Gr	750 Gr	750 Gr
Soda caustica diluida en agua.	400 Gr	340 Gr	600 ml	600 ml
Arena (escombros triturado)	1375 Gr	1375 Gr	1350 Gr	1350 Gr
Piedra (escombros triturado)	-	-	1650 Gr	1650 Gr
Sika-2	-	100 Gr	-	-
Sikaset-L	-	-	-	22,5 Gr
Plastocrete	-	-	3,75 Gr	-
Horno 70°	X	-	-	-
Cuarto de curado	-	X	-	-
Curado en agua	X	-	X	X

Con el fin de establecer el mejor método de curado y si se podía eliminar el uso de horno, se realizaron cuatro probetas previas; tres con aditivos y una sin aditivos, evaluando las propiedades mecánicas realizando ensayos de resistencia a compresión de acuerdo a la Norma INV.E-323 y NTC 220.

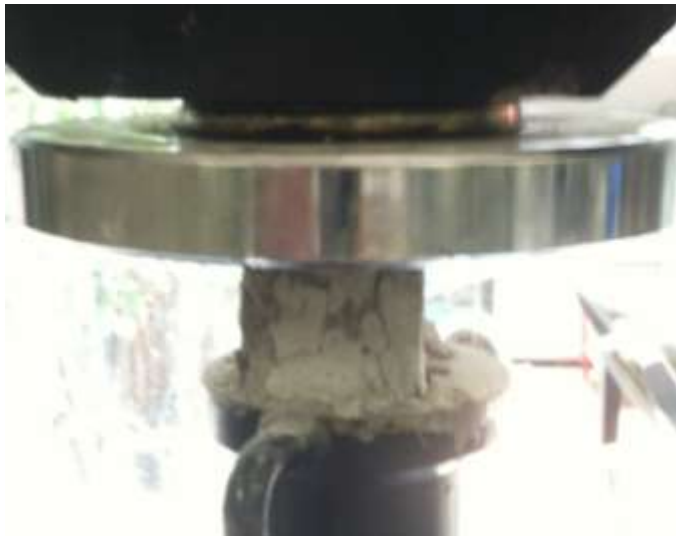


Figura 19, fallo a compresión cubo de mortero.
Fuente, autor.

Como se puede ver en la tabla No 3 Comportamiento mecánico a la compresión, la mezcla 1 arrojó los mejores resultados, estableciendo el uso del horno como indispensable para el desarrollo del proyecto, a pesar de su descenso en la resistencia. Esto se dio debido al método de curado usado en esta mezcla, determinando que el mejor método de curado es en cuarto de curado a una temperatura controlada (23°). También se

puede observar que aunque no fueron resultados muy altos, en las mezclas con aditivos la que mejor mostró resultados fue la mezcla número 4 con Sikaset-L.

Tabla No 3. Comportamiento mecánico a la compresión. Fuente, autor.



MEZCLAS		RESISTENCIA A LA COMRESI[ON Mpa/ PSI		
		7 días	14 días	28 días
	Mezcla 1	12 / 1.714	13,58 / 1.940	11,96 / 1.708
	Mezcla 2	3,19 / 455	2,20 / 314	3,04 / 434
	Mezcla 3	1,20 / 171	2,56 / 365	11,24 / 1.605
	Mezcla 4	1.40 / 200	3,40 / 485	11,48 / 1.640

Los resultados anteriores dieron paso para experimentar con una mezcla 5 de concreto sin aditivo y una mezcla 6 de concreto con aditivo Sikaset-L, ambas mezclas se colocaron en horno a 70° y en cuarto de curado a 23°. Como lo muestra la tabla No 4. Dosificaciones mezclas de concreto.

Tabla No 4.
de concreto.

Dosificaciones mezclas de concreto		
MATERIAL	MEZCLAS	
	Mezcla 5	Mezcla 6
Ceniza Volante	750 Gr	750 Gr
Soda caustica diluida en agua.	600 ml	600ml
Arena (escombros triturado)	1350 Gr	1350 Gr
Piedra (escombros triturado)	1650 Gr	1650 Gr
Sikaset-L	39 -	22,5 Gr
Horno 70°	X	X
Cuarto de curado	X	X

Dosificaciones mezclas
Fuente, Autor.

MEZCLAS		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Mpa/ PSI		
		7 días	14 días	28 días
	Mezcla 5	9,92 / 1.417	11,16 / 1.594	20 / 2.857
	Mezcla 6	11,10 / 1.585	15,11 / 2.158	22 / 3142

Conclusión

La mezcla 6 es la que se va a utilizar en la aplicación final por los resultados de su comportamiento mecánico, a pesar de necesitar horno para que adquiera consistencia pétreo, el aditivo Sikaset-L aumenta el comportamiento mecánico a la compresión, se determina que el gasto energético es mucho menor comparado con los 900 °C o 1000 °C que requiere un bloque de ladrillo para su cocción. Se puede continuar con el diseño de mobiliario urbano para zonas de manejo especial.

2.3. APLICACIÓN.

Esta tesis deja abierta la posibilidad de profundizar en el desarrollo, costo y aplicación de este nuevo material.

Teniendo en cuenta que el concreto propuesto requiere de horno para su desarrollo, se entiende que su aplicación está enfocada en la producción de prefabricados en concreto: estructural y no estructural. Cabe aclarar que para determinar la aplicación de prefabricados en concreto estructural se debe profundizar en la investigación, determinando nuevas dosificaciones y experimentos analizando comportamientos del material con el acero, llegando a aplicaciones arquitectónicas.

Para esta investigación se enfoca la aplicación en prefabricados en concreto no estructural, elementos como: adoquines, gramoquines o adoquín ecológico, bloques, losetas, bloques para taludes, haciendo del diseño urbano más sostenible.

Resaltando que el material usado para la aplicación es ecológico, se busca ampliar el campo de acción sostenible, proponiendo la fabricación de adoquines ecológicos y bloques para taludes sin fondo que permitan la permeabilidad del suelo, permitiendo que el ciclo del agua siga en curso.

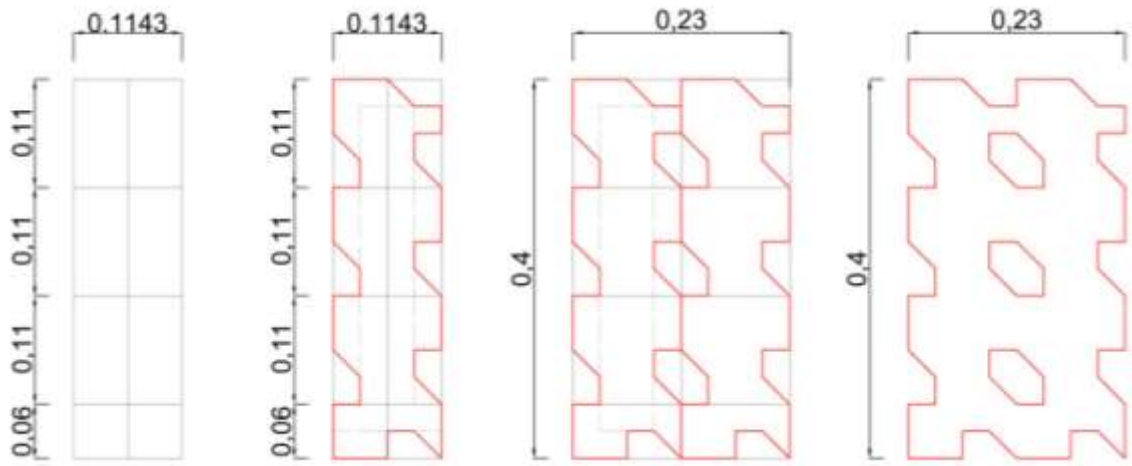
Aplicación en mobiliario urbano en pisos y taludes que permitan la permeabilidad del suelo.

Según las normas mencionadas a continuación se diseñó y definió las posibles aplicaciones del material investigado y desarrollado.

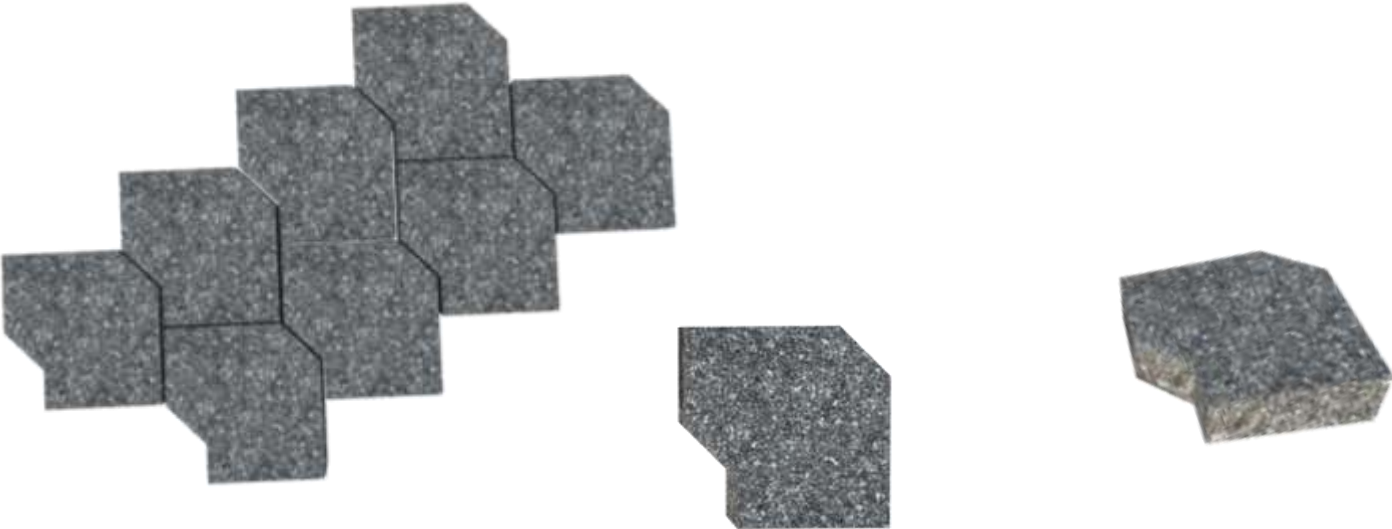
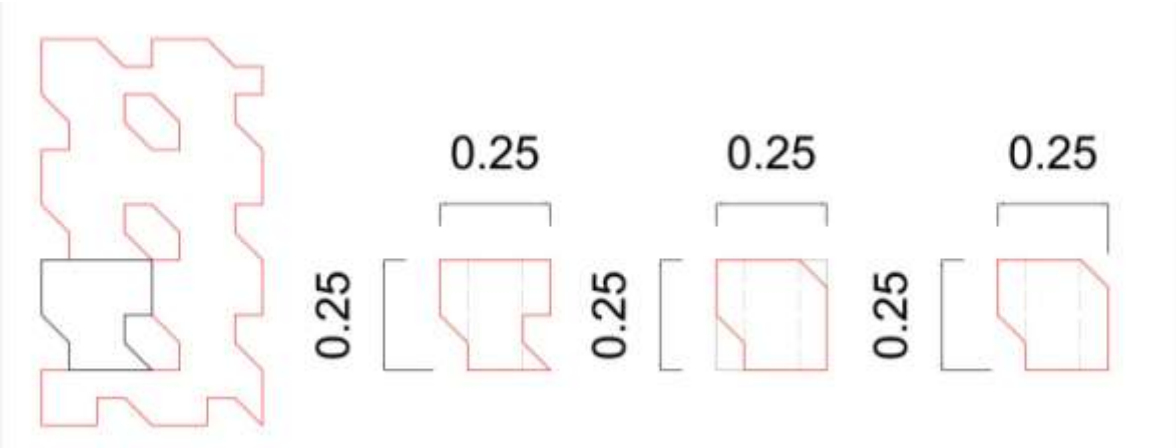
NTC 4024 PREFABRICADOS DE CONCRETO.

- **NTC 2017 ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS.**
- **NTC 4076 UNIDADES (BLOQUES Y LADRILLOS) DE CONCRETO, PARA MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL INTERIOR Y CHAPAS DE CONCRETO.**

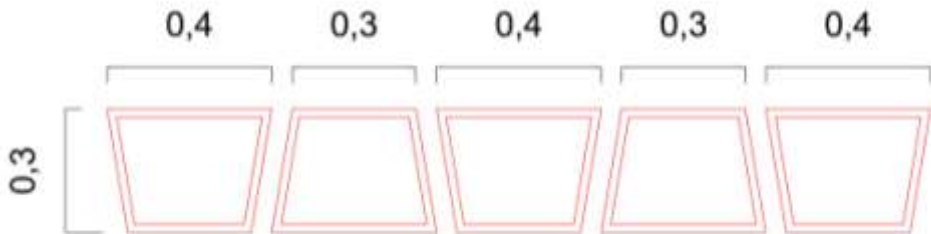
Adoquín ecológico. 40 cm X 23 cm X 08 cm.



Adoquín común. 25 cm x 25 cm x 06 cm.



Bloque para taludes sin fondo. 30 cm x 40 cm x 25 cm.



3. CONCLUSIÓN

Como ya se mencionó, la investigación puede ser profundizada para determinar un valor comercial a este material, o a las aplicaciones propuestas, también queda abierta a la posibilidad de investigar su aplicación en proyectos arquitectónicos experimentando su comportamiento a nivel estructural y buscando mejorar su calidad y fabricación.

El objetivo de este proyecto se alcanzó satisfactoriamente pues se cumplió con la fabricación de un concreto con materiales reciclados, bajo lineamientos de arquitectura sostenible, aplicando su uso en mobiliario urbano que aporta sostenibilidad al diseño urbano de las ciudades, se busca concientizar al gremio de la construcción en especial a los arquitectos que deben tomar riendas a la hora de hacer ciudad, no dejarle la responsabilidad total a los ingenieros pues esta es una práctica colectiva donde se debe romper con la tradición, aportar diseños y materiales que hagan de la ciudad un lugar agradable, sostenible y funcional.

Bloques basados en el “bloque vivero” de Indural

BIBLIOGRAFÍA

Artículo, “Por una Bogotá sin escombros”. Disponible online: <http://confidencialcolombia.com/es/1/903/565/Por-una-Bogot%C3%A1-sin-escombros-Escombors-Bogot%C3%A1-contaminaci%C3%B3n-residuos-secretaria.htm>. Fecha de consulta: 20 DE MAYO 2013 1:23 pm

ASTM C 311 Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concret.

BEDOYA, Carlos. Construcción sostenible Para volver al camino. Medellín: Biblioteca Jurídica Diké

Concreto ARGOS, “descripción del producto” disponible online: <http://www.goodmarketing.com.co/content/concreto-argos>. Fecha de consulta: 24 de mayo 2013 1:00 pm.

Concreto. Disponible online: https://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n#cite_note-Kuhmar-1. Fecha de Consulta: 24 de mayo 2013 a la 1:04 pm.

CONSTRUIBLE - Todo sobre Construcción Sostenible - Arquitectura Bioclimática, Energías Renovables, Eficiencia Energética, Domótica e Inmótica, etc. Disponible online: <http://www.construible.es/noticiasDetalle.aspx?c=10>. Fecha de consulta: 2 junio 2013 10:06 am.

Ficha técnica Plastocrete

Ficha técnica Sika2

Ficha técnica Sikaset L

Los efectos ambientales de la producción del cemento. PDF. Disponible online: <http://www.pladesemapesga.com/descargas/anexonotadeprensa-efectos-ambientales-del%20clinker.pdf>. Fecha de consulta: 24 mayo 2013 1:30 pm.

Master ingeniería ambiental “Residuos de construcción y demolición”. PDF. Disponible online: <http://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>. Fecha de Consulta: 20 de mayo 2013 2:02 pm.

Norma UNE 83-415

NTC 220 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO USANDO CUBOS DE 50 mm ó 50,8 mm DE LADO.

PALACIO, Luis Miguel. "Minería acaba último gran humedal de la Sabana de Bogotá". En Unimedios, UN Periódico Impreso No. 133 mayo. 08 de 2010

Pardo, Antonio "NORMALIZACIÓN ESPAÑOLA SOBRE CENIZAS VOLANTES (NORMAS UNE)", Asociación Española de Fabricantes de Hormigón Preparado (ANEFHOP) •Pilar de Luxán, Dra en ciencias Químicas Instituto de la Construcción y del Cemento "Eduardo Torreja" (CSIC)

RAMÍREZ LÓPEZ, Ana Dorys, et al. Representación de estructuras en concreto reforzado. Universidad colegio Mayor de Cundinamarca, 2006.

Reglamento de Construcciones Sismo resistentes Nsr10 Tomo Uno, TITULO C, CONCRETO ESTRUCTURAL.

Resolución 1277 del 26 de noviembre de 1996.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Bhandar Editores, 2001.

SANTAELLA VALENCIA, Luz Elena "Comportamiento del concreto con bajos porcentajes de ceniza volante (termopaipa IV) y agua constante", Ciencia e Ingeniería Neogranadina, núm. 14, noviembre, 2004, pp. 1-7, Universidad Militar Nueva Granada. Colombia, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101402>

VARGAS CAICEDO, Hernando. "De la tapia pisada a la piedra líquida". En: ARCOS ARCINIEGAS, Bibiana. PAREDES, Marie Claire (editores). La Construcción del Concreto en Colombia, apropiación, expresión, proyección. 2006.