



Fabricación de adoquín a partir de un sistema de aprovechamiento de escombros en obra

**Yeimmy Rocío Martínez Ussa
Johan Enrique Poveda**

Universidad La Gran Colombia
Facultad de Arquitectura
Bogotá, Colombia
2015

Fabricación de adoquín a partir de un sistema de aprovechamiento de escombros en obra

**Yeimmy Rocío Martínez Ussa
Johan Enrique Poveda**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Arquitecto

Director:

Arquitecto José Alcides Ruiz

Línea de Investigación:

Hábitat Tecnológico y Construcción

Universidad La Gran Colombia

Facultad de Arquitectura

Ciudad, Colombia

2015

Lema

“Invierte en conocimiento. Si tienes un momento muerto, aprende algo nuevo y habrá cobrado vida.”

Anxo Pérez

Agradecimientos

Agradecemos a nuestras familias, porque fueron ellos los garantes incondicionales en el transcurso estudiantil, con los que logramos sobrepasar todas las dificultades, y así finalmente alcanzar nuestra meta académica de ser profesionales, devolviendo todo este esfuerzo material e inmaterial a estos maravillosos seres humanos que nos dieron la mano durante estos años, ya que gracias a su compañía y apoyo encontramos la iluminación que nos guio por el camino de la sabiduría-

Resumen

El tema central de la investigación es el reciclaje, clasificación, y posterior reutilización de los residuos de construcción y Demolición (RCD), para la elaboración de un prototipo de adoquín que funcione dentro de un proyecto arquitectónico como un elemento no estructural, cumpliendo con los requisitos mínimos tomando como base la normatividad vigente como es la a Norma Técnica Colombiana (NTC 2017), las cuales dará las pautas de resistencia y demás propiedades con las que debe cumplir tal elemento.

El desafío será implementar un sistema de aprovechamiento dentro de la obra sin entorpecer tareas paralelas, en donde se puedan realizar la mezcla de escombros, aglutinantes y aditivos para la elaboración de un prototipo de adoquín que cumpla con las con las condiciones físicas optimas de resistencia, durabilidad e impermeabilidad, y que al mismo tiempo sea de fácil elaboración para posteriormente ser utilizado en vías de paso peatonal, franjas divisorias de espacios y zonas comunales etc; Es de anotar que la intención inicial es el mejoramiento de nuestro hábitat, disminuyendo la degradación ambiental mitigando los daños ocasionados por mal tratamiento de los escombros pero también facilitar a los constructores un método de tratamiento y post-aprovechamiento de estos elementos sólidos en la fabricación basada en los lineamientos ambientalmente sustentables de un adoquín hecho con escombros de ladrillo y hormigón evitando de este modo gastos en cuanto a transporte y tratamiento de tales residuos de construcción.

Palabras clave: Escombros, reciclaje, reutilización, RCD (residuos de construcción y demolición), NTC 2017 (Norma Técnica Colombiana), proporción, degradación ambiental

Abstract

The main topic of this investigation is the recycling, classification and eventual reuse of the residuals from construction and demolition to create a paving stone prototype, which works within an architectural project as a non structural element, meeting the minimum requirements up to date established by the Standard Technical Colombiana (NTC2017), which will define the resistance and other properties that such element must meet.

The challenge is to implement a productive system within the work place without hindering parallel activities which can allow the mixture of debris, rubbish, binders and additives to the elaboration of a paving stone prototype which must meet the physical conditions of resistance, durability, and waterproofness, and at the same time such prototype must be easy elaborated so that it can be used on pedestrian roads, divisor stripes, and communal zones etc. Note that the main intention is the bettering of our habitat, diminishing the ambience degradation, mitigating the damaged caused by the handling of debris and rubbish but also to give constructors a practical method for the handling and post exploitation of these solid elements in the fabrication based on the environment sustainable guidelines of a paving stone made out of debris from bricks and concrete, meanwhile avoiding transportation and handling costs of these construction residuals.

Keywords: Debris, recycling, reuse, RCD (construction and demolition waste), NTC 2017 (Standard Technical Colombiana), proportion, environmental degradation.

Tabla de contenido

	Pág.
Lista de gráficas	XIII
Lista de tablas	XIV
Lista de imágenes	1
Introducción	4
Antecedentes.....	6
Formulación.....	8
Justificación	10
Análisis nacionales	10
Bogotá como área de investigación	11
Definición de un adoquín	11
Referentes internacionales en el uso de RCD.....	12
Caracterización general de los escombros de construcción.....	12
Hipótesis	15
Objetivos.....	17
General.....	17
Específicos	17
Metodología.....	18
1. Marco conceptual.....	19
1.1 Las tres Rs	19
1.2 Residuos de construcción y demolición – RCD- susceptibles de aprovechamiento.	20
1.3 Beneficios de utilizar RCD.....	21
1.4 Sistema de aprovechamiento en obra	22
1.5 Tratamiento de los RCD	22
1.6 Composición de un adoquín estándar	23
2. Marco Normativo	26
3. Marco Teórico.....	31
3.1 Basura Cero: artículo 30.....	31

3.2	Colombia y los RCD.....	32
3.3	Definición de RCD	33
3.4	Clasificación de lo RCD	34
3.4.1	RCD de tipo II: escombros.....	34
3.5	Alternativas de disposición de RCD	35
3.6	¿Por qué la fabricación de un adoquín?.....	35
3.7	¿Por qué utilizar residuos de hormigón y ladrillo?	37
3.7.1	Capacidades físicas de los RCD (ladrillo y concreto)	37
4.	Adoquín hecho con escombros mediante un sistema de aprovechamiento en obra.....	40
4.1	Tratamiento en obra.....	40
4.2	Visita de campo	40
4.2.1	ECOMAT S.A	45
4.3	Análisis de áreas para la aplicación en obra	46
4.4	Caracterización y separación	47
4.5	Tratamiento.....	49
4.5.1	Triturado.....	49
4.5.2	Granulometría	52
4.6	Mezcla y proporción.....	58
4.6.1	Referentes.....	58
4.6.2	Primeras probetas realizadas	62
4.6.3	Pruebas mezcla No. 1	63
4.6.4	Prueba mezcla No. 2.....	65
4.7	Conglomerantes	69
4.7.1	Cemento Portland	69
4.7.2	Cal hidratada.....	70
4.7.3	Características de las mezclas con Cal	71
4.8	Modulación	71
4.8.1	Partes de un adoquín	71
4.8.2	Tipos de adoquín.....	73
4.9	Modulación propuesta.....	77
4.10	Maquina Vibrocompactadora	77
4.11	Fraguado y curado.....	79
4.11.1	Repisas de secado.....	79
4.11.2	Curado de adoquines	80
4.11.3	Curado del adoquín mediante un sistema de reciclaje de agua	81
4.12	Análisis de costos	83
	CONCLUSIONES	86
	Recomendaciones	88
	Bibliografía	89

Lista de gráficas

Grafica 1.- Caracterización de RCD.....	7 ...
Grafica 2.- Producción de RCD en Bogotá.....	30
Grafica 3.- Alternativas de Disposición Final para los Residuos.....	33
Grafica 4.- Capacidad a compresión del concreto.....	38
Grafica 5.- Proceso de fabricación Ecomat.....	45
Grafica 6.- Curva granulométrica concreto reciclado.....	53
Grafica 7.- Curva granulométrica escombro aleatorio.....	55
Grafica 8.- Resistencia del Eco-ladrillo vs. % Cal.....	61
Grafica 9.- Resistencia prueba a compresión.....	68
Grafica 10.- Resistencia prueba a flexotracción.....	69

Lista de tablas

Tabla 1.- Requisitos físicos del adoquín en concreto para espacio público en Bogotá.....	21
Tabla 2.- Resistencias del adoquín NTC 2017.....	22
Tabla 3.- Resultados de ensayos investigación de Juan Ferreira.....	50
Tabla 4.- Granulometría concreto reciclado.....	52
Tabla 5.- Granulometría escombro aleatorio.....	54
Tabla 6.- Resultados a compresión de las mezclas que obtuvieron mejor resistencia investigación Ferreira.....	58
Tabla 7.- Mezclas recomendadas de Ferreira.....	59
Tabla 8.- Dosificaciones ECOMAT.....	60
Tabla 9.- Tipos de cemento Portland.....	68
Tabla 10.- Análisis de materiales para 1m ² de adoquín al por mayor.....	83
Tabla 11.- Análisis de materiales para 1m ² de adoquín al por menor.....	84
Tabla 12.- M ² adoquín reciclado.....	85
Tabla 13.- M ² adoquín comercial (CICLOMAT).....	85
Tabla 14.- Mano de obra.....	85

Lista de imágenes

Imagen 1.- Adoquín estandar.....	18
Imagen 2.- Espesor de un adoquín.....	18
Imagen 3.- Trama de pavimentos en adoquín.....	35
Imagen 4.- Visita de campo OIKOS Hayuelos.....	40
Imagen 5.- Visita de campo OIKOS Hayuelos.....	40
Imagen 6.- Visita de campo OIKOS Hayuelos.....	40
Imagen 7.- Residuos de demolición de obras existentes.....	41
Imagen 8.- Residuos de demolición de obras existentes.....	41
Imagen 9.- Residuos de demolición de obras existentes.....	41
Imagen 10.- Residuos de demolición de obras existentes.....	41
Imagen 11.- Áreas óptimas para el montaje de maquinaria y producción de material.....	43
Imagen 12.- Áreas óptimas para el montaje de maquinaria y producción de material.....	43
Imagen 13.- Áreas óptimas para el montaje de maquinaria y producción de material.....	43
Imagen 14.- Reciclaje propicio de escombros en obra.....	44
Imagen 15 : Proceso de fabricación en obra.....	45
Imagen 16.- Separación y caracterización de materiales: Concretos y morteros.....	46
Imagen 17.-Separación y caracterización de materiales: Concretos y morteros.....	46
Imagen 18.- Material aleatorio: ladrillo de mampostería y recortes.....	47
Imagen 19.- Material aleatorio: ladrillo de mampostería y recortes.....	47
Imagen 20.- Ciclomat: Trituradora Industrial.....	48
Imagen 21.- Ciclomat: Arenadora.....	48

Imagen 22.- Ciclomat: Banda transportadora.....	48
Imagen 23.- Ciclomat: Malla de tamizaje.....	48
Imagen 24.- Trituradoras comerciales.....	49
Imagen 25.- Muestras de escombros aleatorio y concreto.....	51
Imagen 26.- Muestras de escombros aleatorio y concreto.....	51
Imagen 27.- Muestras de escombros aleatorio y concreto.....	51
Imagen 28.- Agregados a utilizar según disposición granulométrica.....	56
Imagen 29.- Reciclados gruesos: Aleatorio grueso.....	56
Imagen 30.-Reciclados gruesos: Concreto reciclado.....	56
Imagen 31.- Reciclados finos: Aleatorio fino.....	57
Imagen 32.- Reciclados finos: Concreto reciclado fino.....	57
Imagen 33.- Moldes artesanales para encofrar mezclas.....	62
Imagen 34.- Mezcla 1 en molde.....	62
Imagen 35.- Adoquín con mezcla No. 1.....	63
Imagen 36.- Adoquín con mezcla No. 1.....	63
Imagen 37.- Prueba a compresión de la mezcla No. 1.....	63
Imagen 38.- Prueba a compresión de la mezcla No. 1.....	63
Imagen 39.- Resultado a compresión en Kn.....	64
Imagen 40.- Adoquín fracturado	65
Imagen 41.- Probeta mezcla No. 2: Encofrado	65
Imagen 42.- Desencofrado a las 24 h	66
Imagen 43.- Prueba a compresión: Peso del cilindro.....	66
Imagen 44.- Ubicación en la maquina	66
Imagen 45.- Resistencia en Kn	66
Imagen 46.- Rotura del cilindro	67
Imagen 47.-Prototipos de adoquín: Mezcla 2.....	67

Imagen 48.- Prototipos de adoquín: Mezcla 3.....	70
Imagen 49.- Prueba a compresión.....	72
Imagen 50.- Después de la prueba a compresión.....	72
Imagen 51.- Prueba de Flexotracción.....	73
Imagen 52.- Partes de un adoquín	73
Imagen 53.- Tipos de adoquín.....	73
Imagen 54.- Tipos de adoquín	73
Imagen 55.- Vista en planta trama tipo linterna	73
Imagen 56.- Vista en planta trama tipo lego	73
Imagen 57.- Isométrico tipo linterna	75
Imagen 58.- Planta tipo leggo	75
Imagen 59.- Isométrico tipo lego	76
Imagen 60.- Canales en cara de apoyo	77
Imagen 61.- Maquina vibrocompactadora moldeadora de adoquines	78
Imagen 62.- Rendimiento de la maquina	78
Imagen 63.- Repisas de reposo del adoquín	78
Imagen 64.- Repisas comerciales	78
Imagen 65.- Fraguado y curado recomendado.....	78
Imagen 66.- Curado del adoquín mediante un sistema de reciclaje de agua.....	82

Introducción

Los proyectos arquitectónicos actuales refieren continuamente el concepto de sustentabilidad de sus obras, resaltando métodos de incorporación del medio ambiente que los rodea con la obra en curso, es decir una armonía cooperativa entre la edificación y la naturaleza, esto con el fin de la conservación de los nichos existentes y la recuperación de los perdidos, pero lo que no se observa es que estos procesos son importados de lugares en donde se tiene una conciencia más sana y positiva en la aplicación de dichos sistemas, es por eso que se decide tomar como base de la presente investigación la implementación de campañas sencillas que de un modo u otro han tenido la aceptación de la sociedad en general.

Pues bien la metodología a la que se refiere dicho proyecto es el reciclaje de RCD (residuos de construcción y demolición) de los cuales después de un análisis de producción y posterior caracterización se redujo al grupo de los áridos inertes entendiéndose estos como los aprovechables dentro de los escombros dejados en obra, dentro de este grupo se encuentran los residuos cerámicos como fragmentos de ladrillo, y por otro lado los escombros de concreto, tales materiales son óptimos en el ciclo de aprovechamiento enmarcado dentro de las “3Rs”, recolección, reciclaje y reutilización, de productos que son transportados a escombreras, que en muchos casos no vuelven a un nuevo ciclo de vida.

Lo que se quiere lograr es que los constructores visualicen las capacidades de materiales elaborados con tales escombros, de modo que además de contribuir con la disminución en cuanto a generación de RCD, sin la necesidad que tengan que salir de sus obras, simplemente con un sistema de reaprovechamiento que consta de un procedimiento clásico de reciclaje como es la separación y descontaminación del material reciclado,

recuperación mediante una trituración, mezcla y modulación para finalizar con un elemento útil como lo es el adoquín, atrayendo beneficios económicos, ambientales y legales al proyecto, ya que se estaría primero disminuyendo gastos en transporte de estos a las escombreras autorizadas, en compra de material nuevo a fábricas, ambientalmente disminuyendo la explotación de recursos nuevos evitando así la contaminación visual y paisajística, y en lo normativo cumpliendo con la legislación actual a la que todo proyecto debe cumplir con leyes mínimas, decreto 2397 del 2011.

Es de resaltar los estudios realizados con anterioridad al presente proyecto las cuales fueron dirigidas tanto por profesionales en el tema, como de estudiantes que vieron la problemática que genera la producción y mal tratamiento que se le a estos escombros de construcción; Entre los referentes teóricos tenemos las investigaciones realizadas por el Arquitecto y académico Carlos Mauricio Bedoya Montoya, docente de la universidad Nacional en las sedes de Bogotá y Medellín, el cual fue uno de los primeros promotores en la reutilización de los RCD, resaltando sus capacidades dentro de obras de construcción, como por ejemplo en la elaboración de concretos reciclados, y sobre la construcción sostenible, estudios que se encuentran plasmados en diferentes publicaciones como lo son Construcción Sostenible para volver al camino en 2011, y El Concreto Reciclado con Escombros Como Generador De Hábitats Urbanos Sostenibles, 2003, entre otras como cátedras y múltiples artículos de investigación.

Para la presente investigación el producto final del sistema de reaprovechamiento de RCD, en obra será la fabricación de un prototipo de adoquín con una mezcla de concreto, en donde se reemplazaran los agregados finos y gruesos por un material reciclado selectivamente, para posterior mezcla y así obtener la resistencia requerida según lo establecido por las normas vigentes en este caso la NTC Norma Técnica Colombiana 2017, la cual establece parámetros mínimos acerca para el adoquín en concreto.

Antecedentes

La reutilización en implementación de RCD (residuos de construcción y demolición) en la fabricación de materiales de construcción en Bogotá y en Colombia es relativamente nueva, ya que no se ha generado la suficiente confianza en tales elementos para que puedan ser parte elemental dentro de las obras arquitectónicas, “Con la implementación de operaciones unitarias apoyadas en ensayos de laboratorios y evaluando propiedades físico-químicas, se concertó en la necesidad de adoptar estrategias dirigidas a la reducción, reúso y reciclaje de los escombros en la ciudad de Bogotá D. C. Lo anterior permite aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios del área, reducir la explotación de los recursos naturales y la indiscriminada disposición en lugares no autorizados.” (Chávez, Guarín, Cortez, 2013, pág., 45)

Colombia como un país de gran diversidad natural tiene la obligación con el planeta de conservar dichos núcleos ambientales, de tal forma que debe aprender e incentivar a sus habitantes tal y como lo hicieron países que han desarrollado y mejorado sus capacidades renovadoras ayudando así con un futuro sostenible de su territorio, “En Francia, existe la Unión Internacional de Laboratorios y Expertos en Materiales de Construcción, Sistemas y Estructuras –RILEM–, que en 1994, en el TC121-DRG, recogió una serie propiedades físicas y químicas que deben tenerse en cuenta para la para la reutilización de agregados reciclados...”, (Chávez, Guarín, Cortez, 2013, pág., 50)

Como lo indica la cita anterior la preocupación por incorporar escombros de construcción como materia prima de un nuevo producto, impulsa a grandes investigadores como son los del continente europeo, desde el año 1997, esto resalta la importancia de la investigación por parte de la academia colombiana, aliciente principal de la presente investigación académica

Si bien ya se han dado los primeros pasos para empezar a incluir escombros de construcción dentro de las obras, se hace necesario legislarlo para que además de ser obligatoria, se convierta en costumbre de todo profesional y que a su vez esté involucrado con la parte de construcción sostenible; Como antecedente central en cuanto al como del tratamiento de estos residuos de construcción, tenemos el documento

titulado “Gestión Integral de Escombros”, en donde se presenta las soluciones al manejo inadecuado de los escombros de construcción, demolición y/o remodelación en el Distrito Capital, desde que se generan hasta su disposición final, de 2009, publicado por coambiente, allí se protocolizan mediante procesos sencillos la clasificación, usos, metodologías optimas frente a los RCD.

Frente a la incorporación de escombros a materiales con nuevo uso están las investigaciones realizadas por el Arquitecto Carlos Duika, docente e investigador colombiano egresado de la Universidad Nacional de Colombia, quien fundo una de las primeras empresas nacionales, con ubicación en la ciudad de Bogotá, de razón social CICLOMAT, en donde con un procedimiento de recolección y reutilización de RCD seleccionados por su capacidad física dan como resultado elementos tales como adoquines, agregados para concreto con una alta calidad y capacidad portante, según lo menciona su fundador., es de resaltar que es uno de los principales referentes en el sistema de aprovechamiento en obra.

Formulación

Es importante tomar conciencia del impacto negativo que causa la contaminación ambiental ya que es un inconveniente global que está en incremento día a día, por lo que se debe identificar los diferentes factores que hacen parte de esa contaminación, uno de ellos es el manejo inadecuado de los residuos de construcción y demolición. De acuerdo con esta premisa, se deben tomar medidas inmediatas precedido de un análisis cuantitativo y cualitativo de los factores que lo producen, por lo que para la presente investigación involucraremos directamente a la ciudad de Bogotá icono del desarrollo urbano desmedido y construcción poco analítica, y ya que esta no cuenta por el momento con suficientes escombreras o lugares propicios para el tratamiento de residuos de construcción uno de los factores de contaminación, ya sea porque las empresas constructoras carecen de información acerca de la ruta adecuada para la recolección de estos escombros, o simplemente por no tener conciencia ambiental con su entorno y su hábitat. Por éste motivo la Alcaldía Mayor de Bogotá ejecuta el proyecto de Acuerdo No. 198 de 2010 (en el cual se dictan normas para el manejo integral de escombros en Bogotá) con el fin de mantener un orden “visual” y reducir las pérdidas de sostenibilidad y sustentabilidad ambiental.

El adoquín como elemento utilizado en proyectos urbanísticos residenciales, en espacio público, espacios de acopio y demás proyectos en donde confluyen actividades y personas, se tomará como objeto a diseñar un prototipo de este, acogiendo como elemento base el producto de la recolección, clasificación y reciclaje de residuos de construcción y demolición, para ofrecer un material económico y resistente al consumidor.

Con base en lo anterior, se reciclarán productos de residuos de construcción como: fragmentos de ladrillo, y hormigón dejado por placas y entrepisos, iniciativa que va de la mano con la normativa actual ya que ayudarán a constructoras y demás grandes

empresas a cumplir con los lineamientos establecidos por la Alcaldía de Bogotá, tal y como lo dicta la Resolución 2397 de 2011, Por la cual se regula técnicamente el tratamiento y/o aprovechamiento de escombros en el Distrito Capital", esto revelado por un portal en línea así: A partir del mes de abril todas las constructoras bogotanas se verán obligadas a aprovechar los residuos de sus obras, evitando así que lleguen a humedales, ríos, quebradas o al espacio público.

(Resolución 2397 de 2011 SDA).

Las entidades públicas que desarrollan obras de infraestructura deberán reutilizar escombros en un porcentaje no inferior al 10 por ciento del total de metros cuadrados a construir anualmente. Estos residuos deberán provenir de las etapas constructivas y de desmantelamiento, y de los centros de tratamiento y aprovechamiento. (Prensa Verde, marzo 16 de 2012)

- **Pregunta problema:**

Teniendo en cuenta que los escombros afectan la Ciudad de Bogotá y que se pueden reciclar estos materiales para la elaboración de un elemento no estructural, surge la siguiente pregunta:

¿Cómo elaborar un adoquín en concreto a través de un sistema de aprovechamiento de escombros de construcción dentro de la obra, que cumpla con los requerimientos mínimos estipulados en la NTC 2017 (Norma Técnica Colombiana)?

Justificación

La administración distrital hará el lanzamiento de la Política Pública de Ecurbanismo y Construcción Sostenible, cuya visión se concreta, en 2024 como una ciudad líder a nivel latinoamericano en la planeación, diseño y construcción con criterios de sostenibilidad, según lo señala la Alcaldía de Bogotá en su portal en línea (<http://www.bogota.gov.co>), motivo por el cual es fundamental el papel que juegan los profesionales de la construcción en el ámbito ambiental como garantes, no solo de un espacio que responda a una necesidad y que brinde un confort al residente, si no también que éste confluya de una manera sistemática y equilibrada con su entorno, tomándolo como su campo esencial de trabajo en el que no solo se propenda por su conservación y cuidado, sino por una participación sana entre hábitat y habitante.

De acuerdo con este diagnóstico se debe lograr con un proyecto constructivo disminuir las consecuencias ambientales negativas, producto del mal tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) con el fin de hacer una recuperación del medio ambiente perdido y del mismo modo proteger el existente.

Análisis nacionales

Esta preocupación no es reciente, es más, hay apartes nacionales como el que nos describe Giovanna Cárcamo en su documento Gestión interna de los residuos sólidos.

“El creciente desarrollo del sector de la construcción, genera al mismo tiempo un aumento de la producción de residuos sólidos provenientes de las actividades propias de este sector. El volumen de residuos generados, provoca cierta preocupación y por esto su manejo es cada vez más importante debido a los grandes problemas de contaminación que se presentan en todo el mundo. Es así, como cada día son más los interesados en brindar un manejo ambientalmente adecuado a los residuos que producen y la industria de la construcción no es ajena a esta situación preocupándose por buscar siempre las mejores soluciones.

(Cárcamo, 2008, p.17)

Bogotá como área de investigación

Ya que Bogotá tiene el mayor perímetro urbano con referencia al país, con un área total de 1587 km², lo cual le exige a la ciudad una mayor capacidad de rendimiento en cuanto su infraestructura y a su proceso constructivo, por lo que se tiene la necesidad de innovar en cuanto a materiales que procuren abarcar con rapidez, eficiencia y con explotación mínima de sus recursos naturales tales requerimientos constructivos objetivo que sustenta y apoya lo dicho por Cárcamo en su artículo; por este motivo surge la idea del aprovechamiento de residuos sólidos o escombros producidos en obra, terminación de la misma o por demolición.

Según la UAESP (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos), la cantidad de escombros aumentó 37,2 por ciento en la ciudad, del año 2012 al 2013, esto solamente lo reportado por entidades privadas y grandes ejecutores de obras como constructoras, el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), la Unidad de Mantenimiento Vial y la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB) esto basado en los reportes aportados por la SDA (Secretaría Distrital de Ambiente), por lo que el objetivo que proponen tales entes es el aprovechamiento de estos residuos reportados no solo por el sector privado, sino también los que se puedan recolectar del sector público arrojados de forma indiscriminada en las calles de la ciudad. Ya que no existe un control exigente y claro acerca de los RCD, en la presente investigación lo delimitaremos a los producidos en obra para ser esta la misma beneficiaria, entonces la tarea es el reciclaje y clasificación de escombros para la generación de un material útil para construcción, en este caso preciso la fabricación de adoquines de concreto tal y como lo define la norma técnica colombiana 2017.

Definición de un adoquín

Elemento no aligerado en su masa, de concreto, prefabricado con forma de prisma recto cuyas bases son polígonos tales que en conjunto permiten conformar una superficie que se utiliza como una capa de rodadura en los pavimentos y en algunos casos en los pisos recubiertos con adoquines de concreto. (NTC 2017, pág. 2, 2014)

Referentes internacionales en el uso de RCD

La idea de utilizar RCD, en la fabricación de materiales constructivos reutilizables como en ladrillo o el adoquín, no es ajena del todo, por el contrario se ha intensificado los estudios e investigaciones en muchas de las facultades de ingeniería, arquitectura, tecnologías y demás ciencias afines a la construcción, con el fin de ayudar en el mejoramiento del entorno y del medio ambiente en general, tal y como se pudo constatar a lo largo de los documentos citados para tal investigación, como ejemplo demostrativo se extraen dos apartes de investigaciones realizadas en países vecinos.

En Venezuela, por ejemplo, se planteó analizar la incorporación de materiales reciclados a partir de residuos de construcción para utilizarlos posteriormente como agregados tanto en elementos estructurales como no estructurales, para ello se realizaron pruebas de compresión a cilindros de concreto y se afirma que ha cumplido de forma satisfactoria con la norma venezolana COVENIN 338:2002.

Otro de los países en donde se hace provecho de los residuos de construcción es Costa Rica, pues se afirma que estos desechos tienen gran potencial en el momento de su reutilización, siempre y cuando se les aplique las políticas de gestión y manejo pertinentes en la ejecución de proyectos. En este referente aparece un punto muy importante y es el aprovechamiento en el crecimiento de la industria de la construcción quien obliga a la protección del medio ambiente.

Aunque uno de los justificantes del aprovechamiento de escombros es el factor ambiental, también está el económico, tal vez el que causa mayor empatía por parte de empresarios y comunidades constructoras, ya que podrán reaprovechar productos ya adquiridos con anticipación lo cual generara una disminución en gastos, todo esto anticipando el procedimiento y elaboración del producto a fabricar.

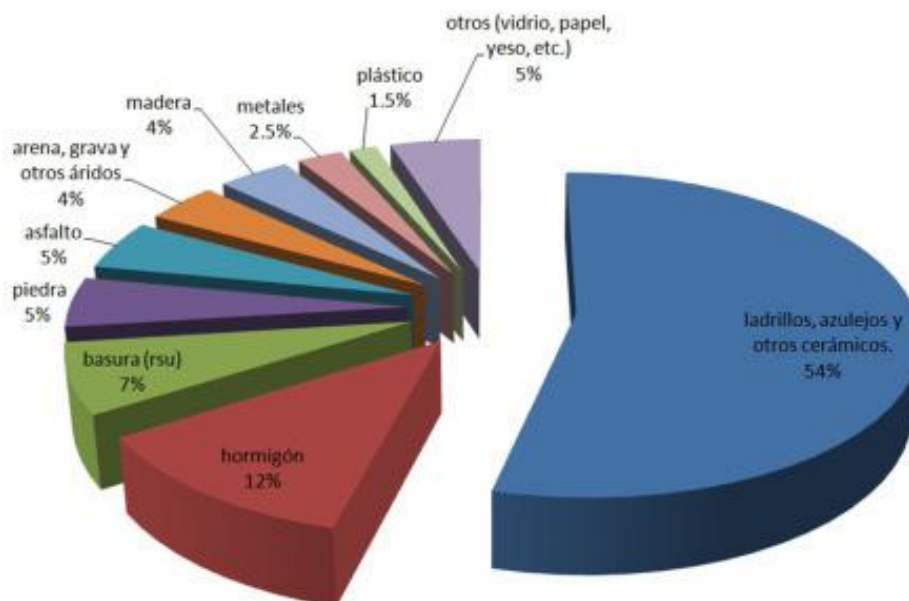
Caracterización general de los escombros de construcción

Dentro de los objetivos, está la caracterización de los escombros a utilizar ya que con base a esta delimitación de residuos se conocerá el material a trabajar generando

múltiples determinantes tales como el tratamiento por el que van hacer expuestos para posterior reutilización, también y de acuerdo con el material escogido, este nos dará maleabilidad, resistencia y otras capacidades que concluyamos beneficiosas para el prototipo, finalizando con la elaboración del elemento en este caso el adoquín.

Estos porcentajes generalizan todos los materiales que se ven en muchas ocasiones como desperdicio o basura sin gran utilidad, factor que disminuye sus capacidades físicas ya que al ser combinados entre si se contaminan con productos tóxicos como los son punturas o diluyentes que terminan por quitarle esa componente de reciclaje a tales elementos, este desconocimiento es una de las problemáticas principales que la presente investigación asume como riesgo y propósito de superación.

Grafica 1. Caracterización de RCD



Autor del artículo: Juan Luis Bolaños/Blog Reciclaje Verde
Tomado de: <http://reciclajeverde.wordpress.com/> (Bolaños, 2012)

Se hace necesario conocer la composición general de los residuos de construcción ya que con esto se podrá obtener una primer idea o panorama posible de los materiales a manejar, por lo que la gráfica anterior muestra la relación en porcentajes de producción, en la cual se observa que la de mayor porcentaje es la de ladrillo como elemento cerámico y la de hormigón con un 54% y 12% respectivamente, discriminación que indica que los escombros a utilizar son los de más producción, apoyando los dos indicadores antes mencionados así: el económico ya que con esto tendremos una materia prima con

alto grado de producción y de fácil adquisición y el ambiental ya que estaremos capturando tales elementos evitando desperdicios y dándoles un nuevo ciclo de vida.

Tanto el ladrillo como el hormigón procesados son factibles para múltiples usos como se relatará con posterioridad en el presente escrito, claro después de determinar granulometría, mezcla y otros determinantes fisicoquímicos, que implica esta investigación, pero para tener una idea somera de lo que se puede lograr con estos materiales reciclados se extrae un análisis parcial de tales elementos: “Una de las características del concreto es que más del 75% del total de la mezcla la constituyen los agregados inertes y el resto los componentes de hidratación del cemento... En el caso de los residuos de mampostería tales como pedazos de bloques...también pueden ser utilizados como materia prima en la fabricación de concretos y/o cementos.” (Leandro, 2007, pág. 22)

Hipótesis

El adoquín elaborado mediante un sistema de aprovechamiento y procesamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) en obra proporcionara a constructores una herramienta útil en cuanto a métodos destinados a la reutilización de estos materiales, disminuyendo los que son desechados en escombreras por desconocimiento de sus capacidades físicas, cumpliendo así con los lineamientos normativos ambientales del distrito capital como lo es la resolución 2397 del 25 de abril de 2011, que trata sobre el tratamiento y aprovechamiento de escombros en Bogotá, ya que se producirá un elemento no estructural con fragmentos de ladrillo, hormigón y sobrantes de mortero como lo es el adoquín, elemento que cumplirá con las características físicas de resistencia exigida por la NTC 2017 (Norma Técnica Colombiana), los cuales podrán ser utilizados en pavimentos peatonales, zonas comunes como plazoletas y franjas divisorias entre espacios.

Objetivos

General

Desarrollar un prototipo de adoquín en concreto a partir de residuos de hormigón, fragmentos de ladrillo, sobrante y desperdicio de mortero mediante la aplicación de un sistema de aprovechamiento de tales materiales para producción en obra

Específicos

- Identificar dentro de los escombros de ladrillo y hormigón cuales son óptimos para procesamiento y tratamiento, esto con el fin del post-aprovechamiento de propiedades físicas de estos residuos en la elaboración del ladrillo.
- Determinar granulometría de los escombros triturados teniendo en cuenta los referentes citados, para lograr mejor maleabilidad y compactación en la mezcla, una porosidad adecuada para reducir el porcentaje de absorción de agua en el prototipo.
- Desarrollar mezcla y dosificación óptima entre los materiales triturados, el cemento Portland y la cal como aglutinantes, para que cumpla con lo estipulado en la NTC 2017 en los ítems de resistencia a flexotracción y compresión de igual forma un posible acabado del adoquín, como características de color, textura y superficie.
- Definir un sistema de producción óptimo, rápido y eficaz dentro de la obra que no obstruya el rendimiento normal estableciendo espacios propicios para el sistema de aprovechamiento de escombros identificados.

Metodología

El método de investigación tiene un carácter cuantitativo ya que se trabaja en relaciones numéricas, como mezclas, porcentajes, y caracterizaciones de pesos y medidas, centra de manera predominante la investigación en los aspectos objetivos y susceptibles de cuantificación, su profundidad es exploratoria, en base a una documentación continua en teoría ya establecida, en este caso lo que se busca es la implementación de un proceso de fabricación de una material estudiado, de un modo dinámico con el receptor, de modo que tenga un paso a paso entendible y beneficioso; La naturaleza investigativa es documental y experimental de acuerdo a una pruebas establecidas por la normatividad vigente.

Marco conceptual

Dentro de los marcos de sostenibilidad en los proyectos arquitectónicos, existen diversas posiciones y opiniones, acerca de los propósitos y objetivos que se deben tener en cuenta tanto en la etapa de diseño como al momento de construir: “La construcción actualmente es ineludible, dado el aumento constante de la población, pero debe desarrollarse bajo parámetros de sostenibilidad ambiental, que hagan más armónica la actividad edilicia con el medio, haciendo uso al máximo de materiales reciclados, reutilizados y renovables como también de diseños arquitectónicos que contemplen la utilización de energías alternativas” (Bedoya Carlos, 2007, pág. 29-30); La interpretación del aparte de Bedoya más que una nueva metodología de trabajo, debe ser el propósito u objetivo de todo proyecto constructivo ya que son estos los parámetros de todo profesional a la hora de diseñar para posteriormente llevarlo a la realidad.

En la actualidad se han implementado múltiples campañas que insertan a poblaciones tanto internas como externas en el grupo de emprendedores y directos responsables de la aplicación al nicho social de proyectos sustentables en pro de la conservación de su entorno, ya sea desde el punto ambiental, sostenible, económico o social; Una de las más utilizadas ha sido la política de las “3Rs”.

1.1 Las tres Rs

Las “3Rs” más que conceptos, son pasos para disminuir la sobre explotación de recursos naturales, promueve la transformación de productos reciclables acogiéndolos para el mismo uso o uno nuevo. En la teoría hablaríamos primero de la recolección como punto inicial de acopio y retiro de los residuos sólidos generados por una obra constructiva de un área de futura contaminación que puedan degenerar o disminuir las capacidades físicas del material, proceso ligado al reciclaje mediante el cual se procesan y transforman los residuos de construcción y demolición, para separar los reutilizables de los que ya tienen que ser desechados y así valorizar su potencial de reincorporación como materia prima o insumos para la obtención de nuevos productos, para finalizar con la reutilización que es la prolongación de la vida útil de los escombros recuperados, esto consultado en la resolución 1115 de 2012; Estos pasos de aprovechamiento del material dejado en obra deben ser ostentosos de una sincronía y programación óptima ya que son la base del proyecto de recuperación de RCD.

Como respuesta a estos “parámetros de construcción sustentable y ambientalmente sostenible”, se tendrá como materia prima del proyecto los residuos de ladrillo y de hormigón ya que como lo relacionábamos en análisis anteriores comprenden el 54% y 12% de los RCD es decir son los más producción y más alto desecho dentro de la obra,

que serán recolectados a medida que se vayan produciendo integrándolos al ciclo de reciclaje para posterior elaboración del adoquín que sirva en las etapas finales de la construcción, ya que durante esta etapa es donde se tienen acceso a tales escombros dejados por obras iniciales o anteriores al término de la obra.

La sostenibilidad además de ser un término que propone un modo de vivir, también es un recurso laboral que permite a las empresas insertar dentro de sus procesos, métodos que incluyen materiales reciclables que además tener un aspecto ahorrador económicamente hablando, también es de carácter positivo al medio ambiente; La sostenibilidad en el presente proyecto consiste básicamente en el aprovechamiento de residuos dejados en obra, por lo tanto para la adaptación y aprovechamiento de dichos materiales a un nuevo producto se hace necesario primero conocer el por qué la utilización de tales elementos, su clasificación general para posteriormente realizar una caracterización de los escombros a utilizar en este caso del ladrillo y el hormigón.

1.2 Residuos de construcción y demolición – RCD- susceptibles de aprovechamiento.

Dentro de la clasificación que se realiza de los RCD susceptibles de aprovechamiento encontramos los materiales pétreos, inmerso en este hallamos el hormigón, las arenas, gravas, gravillas, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos y concretos, entre otros; esta clasificación nos avala que lo residuos de hormigón y de ladrillo son incluyentes dentro del proceso de aprovechamiento, claro después de una separación de contaminantes no tóxicos como maderas y otros como metales, ya que serán procesados mediante la trituración.

Dentro de la caracterización de los materiales a utilizar, debemos tener en cuenta lo heterogéneos que pueden ser estos en la etapa de reciclado, y ya que los residuos de hormigón y ladrillo tienen similitudes ante el proceso de trituración sin importar que los últimos sean secados al aire u cocidos, son escombros óptimos para aprovechamiento, es decir tienen semejanzas físicas en cuanto granulometría, y comportamientos físicos con la combinación de aditivos, siendo estos residuos agregados del producto final.

Una vez recolectados y discriminados los residuos de ladrillo y hormigón se entra a la etapa de aprovechamiento que se define como el método de recuperación de materiales provenientes de los residuos de construcción y demolición realizando su reincorporación al ciclo económico productivo en forma ambientalmente eficiente según lo define la Resolución 1115 de 2012.

1.3 Beneficios de utilizar RCD

El aprovechamiento de escombros como un método de recuperación, permitirá la inclusión de estos residuos dejados en obra, para incorporarlos nuevamente dentro de un material que prestara una utilidad frente a los aspectos constructivos, económicos y ambientales.

En lo constructivo el adoquín hecho con escombros será incluido en fases finales del proyecto utilizándolo en pavimentos de tráfico peatonal, franjas divisorias en zonas comunes, convirtiéndose así en una pieza con una modulación conectiva para aumentar sus capacidades físicas ofreciendo resistencia a los diferentes esfuerzos presentes dentro del sistema constructivo al que va dirigido. Se destina a este uso ya que la generación de escombros esta entre el 70% y el 80 % de la obra ya que en esta etapa donde hay mayor producción del mismo, apartando claro cuando hay demolición de edificaciones existentes, en este caso se iniciara con el procesamiento de estos escombros desde el inicio del proyecto.

El perfil económico se verá beneficiado en cuanto a la disminución de la inversión que genera la compra de materiales nuevos, recolección y sobre todo en el transporte de estos residuos de construcción hacia escombreras; según visitas de campo realizadas a proyectos constructivos estos pagan alrededor de \$ 16.000 pesos m/cte por metro cubico de residuos transportados hacia escombreras, valor que disminuiría dentro de los gastos de obra con el sistema de aprovechamiento.

Ambientalmente es un apoyo al ecosistema ya que se pone en funcionamiento la campaña de las tres "Rs", (reciclar, reutilizar y recuperar), colaborando e incentivando las medidas renovables, ya que disminuirá la explotación de recursos naturales y aminorara los procesos industriales de elaboración de nuevos materiales; También en la parte estética y paisajística del sector ya que se reducirán los malos hábitos de desechar dichos escombros en lugares no destinados para estos, como humedales, en parques y zonas de reserva natural protegidas por el distrito, debido a que por su gran masa y volumen dificultan su manejo, por lo que se hace necesario desde la óptica urbana plantear métodos de gestión para este tipo de residuos, según lo manifiesta la Ing. Irma Teresa Mercante de la Universidad Nacional De Cuyo, por lo que el aprovechamiento de escombros en obra será una primera cuota de estos sistemas de recuperación ambiental.

Una vez definida la etapa de reciclaje, es trabajo analizar la fase de tratamiento adecuado al que se le someterá a dichos escombros, el tratamiento es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos de construcción y demolición, incrementando sus posibilidades de reutilización tal y como lo define la resolución 1115 de 2012

1.4 Sistema de aprovechamiento en obra

Pieza fundamental de la presente investigación es que el prototipo de adoquín se fabricara en obra mediante un sistema de aprovechamiento de escombros, por lo que se hace necesario un espacio o área optima que no influya ni entorpezca tareas paralelas al interior de la misma, es allí donde encaja el centro de tratamiento y/o aprovechamiento que se define como el “sitio en donde se podrán realizar actividades de separación, clasificación, tratamiento y almacenamiento temporal de los escombros implementando las medidas ambientales que manejen los impactos generados”. (RESOLUCIÓN 1115 de 2012), de esto depende las visitas de campo a obras en donde además de poder observar en un entorno real las áreas factibles para implementar este centro de aprovechamiento, también se podrán calcular porcentajes de residuos de ladrillos y hormigón dejados en esta.

El tema del área óptima para la disposición de los residuos de construcción son propios de cada proyecto, ya que se deben analizar las diferentes etapas constructivas las cuales son intransferibles a otra, por lo que se deben tener presentes los factores climáticos, las variables de implantación, etc.; Lo que deben tener en cuenta dentro del organigrama de espacios es un área que no intervenga de forma negativa dentro de desplazamientos, circulaciones y mucho menos dentro de las tareas primarias de la obra, esto sin restarle importancia y técnica a proceso de acopio, reciclaje y aprovechamiento de los escombros.

1.5 Tratamiento de los RCD

Después de haber mencionado a grandes rasgos los primeros pasos de aprovechamiento del material, que en si simplifica la etapa preparatoria de los mismos, se hace necesario un mecanismo de producción y fabricación del adoquín, que partirá de una trituración hasta llegar a la granulometría requerida según referentes estudiados y más adelante analizados, siguiendo con unas proporciones y mezclas filtradas de la misma forma que la granulometría, en este caso los residuos de construcción se combinara con cemento portland y cal, se sumaran características más eficientes de impermeabilización y acabados de superficie como el color, con lo que se hace necesario aplicar algunos aditivos para lograr tal finalidad; Lo que se quiere es que aquellos que se utilicen en la elaboración del adoquín sean de fácil adquisición y de ser posible amigables con el medio ambiente.

Al hablar de un sistema de producción se hace necesario mencionar la 'prefabricación de materiales' ya que en si es un material que podrá ser transportado para ser incluido dentro de acabados, mobiliarios exteriores o donde fuese requerido de acuerdo a sus capacidades de resistencia y portabilidad.

Díaz en su estudio sobre sistemas constructivos prefabricados aplicables a la producción de Guatemala menciona: la prefabricación es anterior a la industrialización, el primer elemento de la construcción que ha sido prefabricado, tal vez es el ladrillo, producido fuera de la obra con sistemas que se han prolongado a través del tiempo, más o menos a nuestros días.

Si bien la prefabricación lo plantean como un método de ensamblaje fuera de obra, podemos deducir que como cualquier método es adaptable a las necesidades del entorno y del momento, por lo que es factible plantear un proceso de prefabricación del adoquín al igual que como el ladrillo como lo mencionaba Díaz, dentro del proyecto arquitectónico o in-situ, esto se traduce a que se tendrá a la mano un material listo para ensamblarlo dentro del sistema constructivo.

1.6 Composición de un adoquín estándar

Se hace necesario conocer la composición de un adoquín regular utilizado en la mayor parte de pavimentos, por lo que nos basaremos en los conceptos dados por Construdata; Los adoquines son elementos macizos, de concreto, prefabricados, con paredes verticales, que ajustan bien unos contra otros, para formar una superficie completa, dejando solo una pequeña junta entre ellos, y que sirven como capa de rodadura o superficie para los pavimentos que llevan su nombre. En un adoquín se distinguen los siguientes elementos:

- Cara superior (o superficie de desgaste) sobre la cual circula el tránsito y que define la forma del adoquín.
- Cara inferior, igual a la superior, sobre la que se apoya el adoquín en la capa de arena.
- Caras laterales o paredes, curvas o rectas, pero verticales y sin llaves, que conforman el volumen y determinan el espesor.
- Aristas o bordes donde empalman dos caras o los quiebres de la cara lateral.
- Bisel: Es un chaflán o plano inclinado en las aristas o bordes de la cara superior que se puede o no hacer en el momento de la fabricación. No debe tener más de 1 cm de ancho y no es indispensable, pero mejora la apariencia de los adoquines, facilita su manejo y contribuye al llenado de la junta.
- Espesor: Los adoquines se fabrican en espesores de 6 cm para tránsito peatonal y vehicular liviano; 8 cm para vías de tránsito medio y pesado (inclusive aeropuertos) y 10 cm para tránsito muy pesado (patios de carga y puertos, etc.).

Si tienen menos de 6 cm no se consideran como adoquines y se colocan como baldosas, sobre mortero. Como los de 10 cm rara vez se usan y los de 6 cm tienen aplicaciones muy específicas, se aconseja usar adoquines de 8 cm en vez de los de 6 cm, para tener un mejor comportamiento del pavimento y para poder producirlos con un solo espesor, sin necesidad de comprar un molde para los de 6 cm y otro para los de 8 cm. (<http://www.construdata.com>)

Imagen No. 1: Adoquín estándar

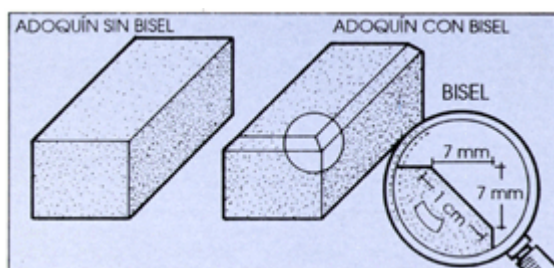
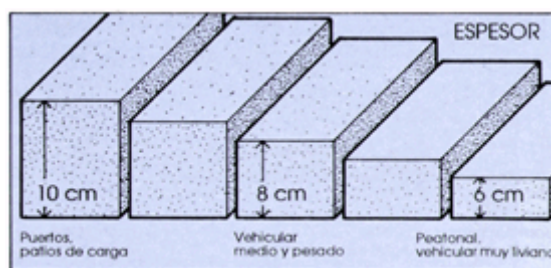


Imagen No. 2: Espesor de un adoquín



Autor: Construdata.com: Software y Revistas para la Construcción

Imágenes tomadas de <http://www.construdata.com/BancoConocimiento>

El método de elaboración del adoquín no se necesita gran movilidad de maquinaria ni elementos de gran porte como hornos, simplemente se necesita el espacio para fabricar la mezcla de escombros y cemento, una vibrocompactadora y un área para posterior secado al aire.

Se hace necesario además de los residuos ya triturados y con las condiciones físicas ya analizadas un aglomerante que compacte tales escombros, para este caso será el cemento portland conglomerante o cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos (para la presente investigación los escombros de hormigón y ladrillo), y agua, tiene la propiedad de conformar una masa pétreo resistente y duradera. Es el más usual en la construcción utilizada como aglomerante para la preparación del hormigón o concreto. Como cemento hidráulico tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, al reaccionar químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes. (Tomado de: <http://es.wikipedia.org>).

El cemento al tener una reacción química a partir del agua y del aire será el material utilizado como aglomerante, es decir el que va a compactar los escombros y así poder desarrollar un prototipo de ladrillo que funcione como adoquín de paso peatonal, muros bajos o en elementos similares; También es apto para este proyecto ya que está dentro

de los insumos regulares en cualquier obra y además es de fácil manejo manual, no se necesitaría grandes mezcladoras ni grandes áreas que interrumpen el buen proceso dentro la misma.

Ya que el cemento portland por 50 kilos oscila entre \$24.000 y \$27.000 pesos, según lo consultado en el comercio, y ya que uno de los objetivos es el de disminuir costos de obra, se anexa como segundo aditivo a cal, ya que posee características físicas y químicas óptimas como aglomerante.

Según definición de Anfocal (Asociación Nacional de Fabricantes de Cal), la cal es la combinación de piedra caliza y carbonato de calcio (CaCO_3), la roca se tritura para obtener piedras más pequeñas y se quema a 1100° para obtener cal viva, a la cual se le agrega agua para apagarla y se obtiene cal hidratada.

Es por esto que la “Cal hidratada” es una de las mejores opciones para las construcciones ya que mejora la plasticidad del mortero, la retención del agua, la capacidad de contenido de arena, la adherencia y la flexibilidad, ayudando además a evitar la eflorescencia curando automáticamente las fisuras pequeñas, según lo explica la compañía mexicana de productores de cal Calidra, en su portal webcalidra.com.

Marco Normativo

La Normativa colombiana impone en cada proyecto diferentes parámetros que se tienen en cuenta para su proceso de elaboración y desarrollo, por ello se resaltan a continuación los criterios que se aplicarán en la elaboración del ladrillo con escombros sin necesidad desplazarse fuera de la obra.

Ya que el prototipo de se utilizará como adoquín de tráfico peatonal, se tomará la reglamentación vigente para espacio público en Bogotá, tomaremos las resistencias a soportar, está referenciado en el acto administrativo sección 700-11: Especificación técnica: instalación de adoquines de arcilla para superficies de tránsito peatonal y vehicular

La presente especificación se refiere a la descripción de los materiales, al proceso constructivo y a los criterios de aceptación, para el suministro y colocación de adoquines de arcilla en superficies de tránsito peatonal y tráfico vehicular.

700.2.2.3.1 Requisitos físicos adoquines de arcilla para superficies de tránsito peatonal.

Tabla 1. Requisitos físicos del adoquín en concreto para espacio público en Bogotá

Tipo	Resistencia a la compresión, plano, área total, min.		Absorción de Agua a temperatura ambiente Max%		Coeficiente de Saturación Max%	
	Promedio de 5 Adoquines MPa (Psi)	Individual MPa (Psi)	Promedio de 5 Adoquines	Individual	Promedio de 5 Adoquines	Individual
Tipo I Peatonal	55,2 (8000)	48,3 (7000)	8	11	0,78	0,80

Autor: Instituto de Desarrollo Publico de Bogotá

Tabla tomada de

http://app.idu.gov.co/especificaciones%20tecnicas/Capitulo_7%5C700.pdf

De acuerdo a la normatividad colombiana la NTC 2017, reglamenta las capacidades físicas de los adoquines de concreto para pavimentos, clasifica tales elementos y regula las pruebas a las que se debe someter.

Requisitos físicos, la longitud nominal de los adoquines no debe ser menor de 50 mm ni mayor de 250 mm, el ancho nominal no debe ser menor de 50 mm, el espesor estándar no debe ser menor de 60 mm y se prefieren dimensiones que sean múltiplos de 20 mm.

Absorción de agua, los adoquines en concreto deben tener una absorción de agua total (Aa%) para todo el volumen del espécimen no superior al 7% como valor promedio; resistencia a la flexotracción (Modulo de rotura (Mr)), los adoquines de concreto deben cumplir los requisitos de resistencia establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 2. Resistencias del adoquín NTC 2017

Módulo de rotura (Mr) a los 28 d ^A , Mínimo ^B , Mpa		Longitud de la huella (lh) Máximo mm
Promedio de 5 especímenes	Individual	Promedio de 5 especímenes
5.0	4.2	-
4.2	3.8	23

^A El módulo de rotura (Mr) se ha especificado a los 28 d. Sin embargo los adoquines se pueden utilizar a edades más tempranas, cuando existe un historial sobre la evolución del módulo de rotura (Mr) de adoquines de iguales características, y este indique que los primeros pueden alcanzar dicho modulo y que poseen la resistencia necesaria para ser colocados. Lo anterior no exime de la verificación directa de calidad de los adoquines mediante a ensayos a los 28 d.

^B Se pueden especificar módulos de rotura (Mr) mayores o capas superficiales de características especiales, cuando lo requieran las condiciones de servicio como con cargas abrasivas, llantas y orugas metálicas, etc., en cuyo caso se debe consultar con los proveedores locales para averiguar por la disponibilidad de este tipo de adoquines.

Tomado de la NTC 2017, pág. 21

También se va a hacer uso de la Resolución 541 de 1994, la cual regula el tema de cargue, descargue, transporte, almacenamiento, también trata sobre el destino de los escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.

En el proyecto la aplicación de esta norma aporta a la recuperación y cuidado ambiental y a su vez colabora con el control y manejo apropiado de los escombros ,para ello se realizará un previo almacenamiento de materiales según lo permite la misma resolución en el numeral II del artículo 2 el cual permite un almacenamiento temporal, cargue y descargue de escombros en zonas de espacio público que no sean zonas verdes , para poder realizar una clasificación de elementos que van a ser reutilizados posteriormente.

De esta manera se apartarán y almacenaran los residuos de ladrillo y hormigón, mientras que los materiales excluidos se transportaran de acuerdo a la ley para hacer su disposición final en las escombreras de Bogotá.

Por otro lado, es recomendable tener en cuenta que el manejo de escombros dentro de la ciudad de Bogotá debe cumplir con el Decreto 1713 de 2002 En su artículo 44, el cual menciona que la recolección de escombros es responsabilidad de los generadores en cuanto a su recolección, transporte y disposición en las escombreras autorizadas. El Municipio o Distrito y las personas prestadoras del servicio de aseo son responsables de coordinar estas actividades en el marco de los programas establecidos para el desarrollo respectivo de Plan de Gestión Integral de Residuos sólidos –PGIRS-.

Siendo consecuentes con lo anterior se observa como esta norma establece el adecuado manejo de los escombros para prevenir la afectación del medio ambiente y en relación con la prestación del servicio público de aseo que brinda el estado colombiano, artículo que se ejecutará dentro de la misma obra como compromiso ambiental y que en el proyecto se llevara a cabo con la recolección de escombros, en pro o en beneficio de la misma.

Dentro del capítulo I del título 1 se toman algunos términos que se deben tener en cuenta para la fabricación del adoquín, el primero de ellos es el almacenamiento, que consiste en colocar temporalmente los residuos sólidos en recipientes, depósitos contenedores retornables o desechables mientras se procesan para su aprovechamiento, transformación, comercialización o se presentan al servicio de recolección para su tratamiento o disposición final.

Otro término a utilizar es el aprovechamiento basado en el manejo integral de los residuos sólidos; Los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente. Así dentro del proyecto se aprovechará por medio de la reutilización, y el reciclaje de RCD.

Uno de los artículos más relevantes a la hora de aplicarlo en el proyecto es el No 10 el cual habla sobre el manejo integral de los residuos, pues informa que se deben reciclar y reutilizar en un nuevo producto ya que tiene como modalidad un beneficio económico y ambiental.

También se requiere la Unidad de Almacenamiento, esta debe ser definida y cerrada, y allí se ubicaran las cajas de almacenamiento para que el usuario recolecte temporalmente los residuos sólidos. Esta unidad se ubicará dependiendo de cada obra en donde a su vez se situara la línea de producción

A continuación se analiza el Artículo 74, ya que exige la localización de una planta de aprovechamiento de materiales contenidos en los residuos sólidos, esta debe ser técnica, económica y ambientalmente viable, y aunque esta norma fue establecida en si para el

distrito es aplicable para la presente investigación ya que como sistema de aprovechamiento de escombros se deben cumplir con las exigencias ambientales presentes en esta ley, como lo son las condiciones de tráfico, ruido y olor.

En el Artículo 75 dirigido al diseño de edificaciones para el aprovechamiento de residuos sólidos hay algunos parámetros constructivos, tales como el diseño arquitectónico de la zona operativa ya que debe ser cerrado a fin de reducir los impactos sobre el área de influencia, motivo por el cual se tiene en cuenta la fabricación y diseño del adoquín en obra, sin que perjudique las zonas externas.

Se debe establecer un área mínima para la recepción de los residuos a recuperar y prever la capacidad de almacenamiento del material recuperado. Además debe tener vías de acceso de acuerdo al tipo de equipos de transporte para el servicio de aseo. A lo cual dependerá de la implementación de la línea de producción del área destinada para llevar a cabo este numeral.

Hay que tener en cuenta que ese espacio debe contar con un sistema de ventilación y un sistema de prevención y control de incendios, además debe contar con sistema de drenaje para tener control sobre aguas lluvias.

Este numeral también informa la necesidad de implementar un sistema que minimice y controle el ruido, olores, emisión de partículas, esparcimiento de materiales.

Dentro del proyecto en desarrollo se realizará una correcta disposición de los escombros, consiste en hacer una primera clasificación en la cual se retirarán los fragmentos de ladrillo y hormigón ya que son los materiales escogidos para recuperar y aprovechar, los demás residuos de obra serán llevados a las escombreras de Bogotá tal y como lo exige el Artículo 102. (Disposición de escombros) de la resolución 541 de 1994.

Posteriormente mediante la resolución 2397 del 25 de abril de 2011, que trata sobre el tratamiento y aprovechamiento de escombros en Bogotá, en el art. 4, se concluye que las empresas constructoras que se encuentran dentro del perímetro urbano tienen la obligación de hacer reutilización y aprovechamiento mínimo del 10 % de los metros cuadrados a construir este porcentaje debe ser calculado desde el planteamiento del proyecto. Porcentaje que seguramente será superado gracias a la reutilización de estos materiales, por lo tanto esta cifra puede incrementarse una vez se aplique la línea de producción que enseñe a las diferentes constructoras los beneficios que se pueden recibir al reutilizar los escombros.

Además en el Art. 8 se informa las obligaciones de los transportadores con la recolección de los residuos, lo que se aplica de la siguiente manera: luego de una clasificación de escombros apartando de ellos el hormigón y los ladrillos, todo el sobrante

deberá llevarse de forma diferente hacia las escombreras, es decir, no se mezclan los escombros con otro tipo de residuos.

A continuación se nombra el Acuerdo 257 de 2006 en la Resolución No. 2397 de 2011 en el cual la Secretaría de Ambiente reguló técnicamente el tratamiento y/o aprovechamiento de los escombros en el perímetro urbano del Distrito Capital, acá surge El Proyecto RCD Cero, y se tiene en cuenta el art. 1,2 y 3 donde se intenta recoger y promover diferentes condiciones de manejo de RCD para alcanzar de manera progresiva los objetivos de valorización de la norma.

Sobre este acuerdo es importante nombrar que las empresas constructoras deben reutilizar al menos el 5% del total del volumen anualmente, y cada mes debe presentar un reporte a través del portal web acerca de los materiales y tipo de productos usados. Pero ese porcentaje debe aumentar cada año en un 5% hasta aumentar un 25% el volumen de escombros, en caso de no ser alcanzado se debe presentar igualmente un reporte ante la Secretaria de Ambiente.

Una vez inicie la obra se va a confirmar que el porcentaje puede alcanzarse en un menor tiempo, y que los escombros que van a ser llevados a las escombreras serán menores. De acuerdo a la Norma se pueden clasificar los Residuos de Construcción en Susceptibles al aprovechamiento (estos se describen en el Marco Conceptual) Bien, en la guía de manejo ambiental, tratada en la resolución No. 01138 de 2013 "Por la cual se adopta la guía de manejo ambiental para el sector de la construcción y se toman otras determinaciones". De esta resolución se obtiene básicamente el derecho de toda persona a gozar de un ambiente sano y establece que el estado debe corroborar en el mantenimiento ambiental y su vez crear esos lineamientos de control a través de la guía de manejo ambiental, su vigilancia está a cargo de la Secretaria de Ambiente. En caso de no cumplimiento por parte de las empresas constructoras se aplicara sanción así como lo indica el artículo 5 de la presente resolución.

Las disposiciones contempladas en la presente Resolución serán de obligatorio cumplimiento para todas las etapas desarrolladas en las actividades de obras de construcción, de infraestructura y edificaciones, tanto privado como públicas, dentro del Distrito Capital y, su incumplimiento dará lugar a las medidas preventivas y sanciones establecidas por la Ley 1333 de 2009 o aquella que la modifique o derogue(D.C, 2013)

Marco Teórico

Dentro de los procesos de construcción modernos uno de los ítems más importantes a tratar, es la disminución en la explotación de recursos naturales para la elaboración de materiales como concretos, ladrillos y agregados provenientes de canteras y demás lugares, en los que debido a esta práctica se generan daños irreversibles al medio ambiente, por tal motivo día a día se han incentivado a los constructores a la sostenibilidad de sus proyectos. Tal preocupación no es reciente, por el contrario es evidente las iniciativas de investigadores y entes públicos acerca de tales impactos: “Quince millones de toneladas, el equivalente al peso de una montaña de 174 metros de altura se generan como residuos de construcción y demolición en la capital colombiana cada año, según un estudio de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá en 2011.” (Villamizar, 2013, pág. 12).

Pero es casi imposible poner en funcionamiento las políticas distritales de sostenibilidad si no las conocemos tan siquiera, esto en pro de la disminución de la huella contaminante que va en crecimiento, tal y como lo menciona Villamizar en su ejemplo de generación de RCD; una de estas políticas distritales que están en cabeza del alcalde, es la siguiente de las cual se extrae los siguientes lineamientos:

1.7 Basura Cero: artículo 30.

Metas:

- Reducir el 30 % los residuos sólidos transportados y dispuestos.
- Formalizar el 50% de la actividad del reciclaje desde la fuente.
- Aprovechamiento del 50% del material producido en establecimientos comerciales e institucionales / número de establecimientos.
- Aprovechar el 20% del volumen de residuos sólidos recibidos en el relleno sanitario.
- Gestionar el 100% de los escombros generados en la ciudad con técnicas modernas de aprovechamiento, tratamiento y disposición final.
- -Gestionar la creación de 6 escombreras.”

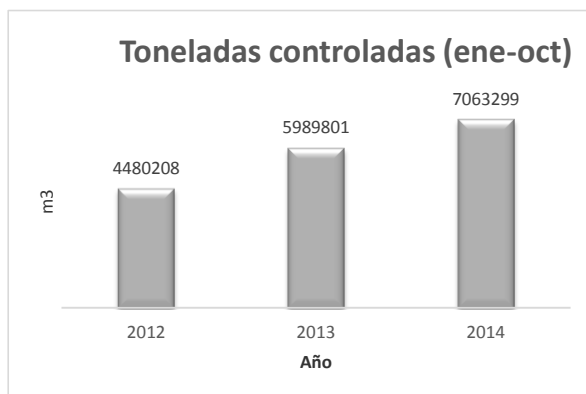
(Tomado de Administración Petro, capítulo 3, eje 2 del plan de desarrollo)

1.8 Colombia y los RCD

El reciclaje y reutilización de RCD (residuos de construcción y demolición), evita el desgaste del medio ambiente, pero a pesar de los beneficios de la fabricación de materiales para construcción con base a estos productos, la Comisión Europea reveló en el 2011 que Colombia utiliza solo el 10% de la totalidad de estos residuos, mientras que países como Dinamarca, Finlandia y Alemania utilizan el 50%; En la actualidad se realizan múltiples investigaciones acerca del aprovechamiento de escombros de construcción, “Las construcciones y las actividades de demolición y reforma de todo tipo de edificaciones generan materiales de desecho que, según explica el profesor de la Javeriana y coinvestigador del proyecto, Jesús Orlando Castaño, “son considerados no peligrosos y poseen alta susceptibilidad de ser aprovechados mediante la transformación y la reincorporación como materia prima para nuevos productos”. De acuerdo con la investigación, actualmente los mayores productores de residuos de estas características en Bogotá son el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y los constructores privados” (Villamizar, pág. 12)

Aunque los países que son mencionados en la cita previa superan el nivel de desarrollo tanto urbano al de Colombia, también dan luz de viabilidad para aplicarlos en nuestro país; Es posible imaginar los beneficios que conllevan la reutilización de escombros de construcción en aspectos ambientales, económicos e industriales con la aceptación en este campo de materiales reciclados, por lo que primero se hace necesario un análisis preliminar del estado y generación de RCD en Bogotá.

En la capital colombiana se ha incrementado en el último año la producción de estos residuos de construcción tal y como lo revela la UAESP (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos), como se plasma en la siguiente gráfica, información que permitirá una evaluación primaria sobre la viabilidad del proyecto, ya que será este el uno de los factores principales para la adecuación del sistema de aprovechamiento en obra, ya que con los porcentajes distritales de producción de RCD, se podrá visualizar a nivel macro la problemática en cuestión, para posteriormente adaptarla a las necesidades de producción de cada proyecto.

Gráfica 2: Producción de RCD en Bogotá

Elaborado por autores
Datos de la secretaria Distrital de Ambiente

En la gráfica anterior se puede analizar el incremento de RCD entre el año 2012 y 2014 con un aumento del 35.2 % total sobre las toneladas de escombros en la ciudad de Bogotá.

Es posible que el aumento de RCD se deba al crecimiento de la industria de la construcción, esto indiscutiblemente relacionado con el desarrollo masivo de la ciudad y con la problemática a la que tiene que responder la misma por ser uno de los territorios con más migración del país, por lo que conduce a la ciudad de Bogotá a una producción indiscriminada de materiales constructivos, y al mal manejo de estos residuos.

1.9 Definición de RCD

Si bien el término residuos de construcción y demolición llanamente se entiende como los generados durante una obra constructiva sin importar su tamaño, se deben entender los diferentes materiales que pueden ser dejados durante y después del proyecto.

“Se trata de residuos constituidos básicamente por tierras y áridos mezclados, piedras, restos de hormigón, ladrillos, cristales, metales, asfalto, cuesco de concreto, plásticos, maderas, yesos y materiales refractarios” (PGIRS Medellín, 2005)

1.10 Clasificación de lo RCD

Residuos Inertes: “son aquellos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. No son solubles, ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que pueda dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar la salud” (concepto tomado de <http://www.uclm.es/users/higueras/mga/Tema06>)

Ya que dentro de los RCD generados en obra hay algunos que son contaminados por pinturas o agentes tóxicos que impiden ser reutilizados, nuestra materia prima está inmersa dentro de la clasificación anteriormente mencionada, ya que no son perjudiciales para la salud y pueden ser tratados mediante un sistema reaprovechamiento.

“Para efectos de la elaboración programa de RCD, generados en la ciudad de Bogotá, D.C, se ha dividido en dos grupos fundamentales de acuerdo con sus características y origen:

- **Tipo I: Tierras y materiales pétreos**
- **Tipo II: Escombros.**

1.10.1 RCD de tipo II: escombros.

Proceden principalmente de las actividades propias del sector de la construcción y demolición de obras de edificación o de infraestructura, de la implantación de servicios (acueducto y alcantarillado, vías, telecomunicaciones, suministro eléctrico, etc.) y obras de remodelaciones o menores” (Cambiante, 2009, pág. 20)

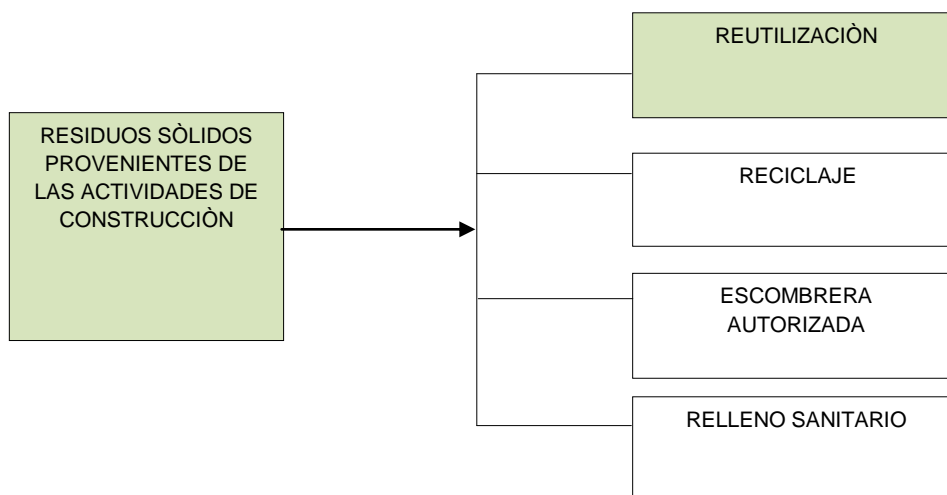
Es importante tomar en cuenta y conocer la clasificación que realiza el distrito ya que los tratamientos y procedimientos deben estar de la mano con los lineamientos estipulados en la ciudad, para así poder garantizar la legalidad de los mismos y darlos a conocer para poder ser multiplicados y socializado dentro de la comunidad constructiva.

En un gráfico anterior donde se indicaban los porcentajes de RCD más comunes, se observa que los de mayor cantidad son ladrillos y cerámicos, y residuos de hormigón, los cuales pertenecen al grupo de materiales inertes, no peligrosos, según la clasificación citada, elementos propicios para posterior reutilización y procesamiento, de igual manera y como se mencionó anteriormente dentro de la justificación por ser los de más producción dentro de la obra, se resalta su fácil recolección al interior de la misma.

1.11 Alternativas de disposición de RCD

De acuerdo a las políticas de la capital y a la caracterización básica que se describió anteriormente sobre los RCD, se pueden realizar los siguientes procesos:

Gráfica 3: Alternativas de Disposición Final para los Residuos



Autor: Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá
Tomado de: Proyecto de acuerdo no. 098 de 2010, pág. 9

En la gráfica anterior se observa diferentes alternativas finales para los residuos de obra, por lo que se insertara para el proyecto en desarrollo la reutilización de los residuos para la fabricación de un nuevo producto.

1.12 ¿Por qué la fabricación de un adoquín?

Con la descripción de los materiales y posible disposición, la tarea es desarrollar un método de procesamiento para posterior reutilización y así diseñar un producto que sea posible fabricar en obra, en pro y beneficio para la misma. Como se ha mencionado dentro de los diferentes marcos se ha dirigido hacia la fabricación de un adoquín en concreto ya que es un elemento de gran utilidad en la disposición de pavimentos dentro de proyectos urbanos, dentro del espacio público tanto interno como externo y por sus múltiples ventajas constructivas tal y como lo menciona una de las páginas web más reconocidas en el campo de la construcción Construdata:

Las ventajas de estos pavimentos se basan en que su capa de rodadura está hecha con adoquines de concreto; es decir, piezas prefabricadas, que se pueden producir tanto en equipos sencillos y pequeños como en tecnificados y grandes; por parte de productores comerciales, grupos comunitarios o administraciones municipales; sin importar la escala

y la localización de los proyectos. Para su construcción se utiliza poca maquinaria (básicamente una placa vibrocompactadora ("ranita") y mucha mano de obra local.

Como los adoquines no van pegados sino unidos por compactación, y como deben durar unos 40 años, al reparar el pavimento se pueden reutilizar, por lo cual son muy económicos para poblaciones o barrios sin redes de servicios completas o en mal estado. Todos los materiales para este pavimento llegan a la obra listos para ser utilizados, por lo cual se puede construir y dar al servicio en un mismo día. Esto permite desarrollar un programa de pavimentación por etapas, a medida que se va disponiendo de recursos.

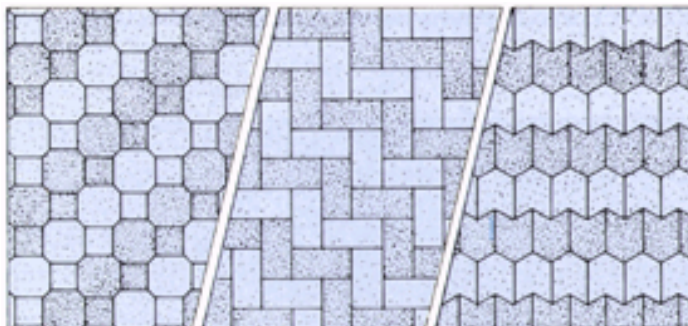
Al pavimento de adoquines se le coloca una base que se diseña para que resista cualquier tipo de tránsito, desde el peatonal hasta el de camiones. Adicionalmente, como los adoquines se producen en máquina, con moldes, se les pueden dar distintas formas; y también colores, para que sean decorativos.

Por esto, el pavimento de adoquines se utiliza desde zonas para tránsito peatonal (andenes, plazas, patios para juegos, instalaciones deportivas, etc.) hasta las de tránsito pesado (calles, carreteras, terminales de transporte, carga y puertos, pistas para aeropuertos) e inclusive para fines decorativos. (Tomado de <http://www.construdata.com/BancoConocimiento>)

El adoquín es uno de los elementos del que se tienen más número de modelos y tipos, ya sea con mayor resistencia a diferentes esfuerzos, mayor capacidad portante, mejor impermeabilidad, etc.; también ya hay prototipos hechos con escombros, el reto consiste entonces en innovar en la elaboración con RCD dejados mediante un proceso en obra para ser utilizados en las etapas medias y finales de la misma, mejorando su modulación, presentación para terminados, y coste en su elaboración sin dejar al lado su resistencia; referimos que en estas dos etapas ya que pues son en estas donde se empiezan a ver el mayor número de escombros con respecto al total de la obra.

A continuación se verá un ejemplo de las trama y forma más básica en la actualidad, esto para dar a entender al lector que no solo se trata de un elemento u material resistente, sino también que tiene relación con la parte estética del sistema arquitectónico, muchas veces reflejado en el espacio público circundante, por lo que se incluirá dentro del proceso exploratorio buscar referentes existente en cuanto a modulación, de forma que se puedan analizar su comportamiento y estructura, para posteriormente, proporcionar una forma visualmente agradable y comercialmente aceptable.

Imagen 3: Trama de pavimentos en adoquín



Autor: Construdata.com: Software y Revistas para la Construcción
Tomado de <http://www.construdata.com/BancoConocimiento>

1.13 ¿Por qué utilizar residuos de hormigón y ladrillo?

1.13.1 Capacidades físicas de los RCD (ladrillo y concreto)

Si bien la producción de escombros de ladrillos y concreto es la más alta dentro de la obra, esta no es la única razón de utilizar tales elementos; Es de gran importancia analizar las propiedades físicas y químicas de tales escombros porque de esta manera se podrán exaltar sus capacidades con un debido tratamiento, brindando la calidad deseada y óptima para su uso.

“Desde hace años, se han dedicado numerosos estudios a la calidad de cumplimiento de las especificaciones técnicas de las materias recicladas. Estos informes llevados a cabo por RILEM TC- 37- DCR (Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayos e Investigación sobre los Materiales y las Construcciones) sobre la demolición y reutilización del hormigón y elementos de mampostería”

Carlos M. Bedoya M. realizó un trabajo de grado para la Universidad Nacional de Colombia titulado “El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles”. En el cual concluye que las características técnicas y económicas del concreto reciclado arroja un panorama alentador. Sus capacidades físicas y mecánicas permiten pensar en la utilización de este material reciclado en la construcción de edificios como materia prima para elementos que no revistan un alto compromiso estructural. Además, su costo es un 7% menos comparado con un concreto natural, es un punto de partida positivo si se tiene en cuenta que al industrializar estos procesos de

reciclado y masificar su producción el costo del producto terminado disminuya. (Bedoya, 2003, p.211)

Este tipo de investigaciones resaltan las propiedades físicas de los residuos de construcción ya sea desde un estudio primario de sus componentes o en campo real, expuestos a pruebas de capacidad física.

“...materiales como el ladrillo, el cemento y la cal se fabrican utilizando como materia prima algunos tipos de suelos y rocas, principalmente materiales limosos y arcillosos que se someten a tratamientos térmicos donde se elimina la humedad y dejan el producto final...” Escobar y Giraldo, 2013, pág. 18)

Como es mencionado en las citas los residuos de ladrillos y de hormigón tienen las características óptimas para ser reutilizados, esto dependiendo claro de cada proceso al que sea expuesto, (granulometría, resistencia a humedad, etc.). en todo caso por ser elementos ya tratados con anterioridad con aditivos y métodos específicos, al momento de reciclarlos y triturarlos ya son productos con más del 50% de utilidad parecida o superior a la del momento de su elaboración primaria.

Para resaltar un poco las capacidades del concreto reciclado, se pondrá en presente una tabla realizada como trabajo académico dirigido por el Profesor Ing. Omar Araujo Molina, M.I. donde se muestra la resistencia de este, en diferentes tiempos de fraguado, con esto es posible visualizar la capacidad portante del material al pasar del tiempo, y ya que el concreto hace parte de los materiales a utilizar como elemento reciclado es clave analizar las capacidades físicas y mecánicas de este en su estado primario de uso, esto para integrarlo dentro de la mezcla y dosificación que serán expuestos de acuerdo a unos análisis referenciales.

Si es posible utilizar determinadas capacidades ya incluidas dentro del material a utilizar, es un punto a favor tanto del prototipo a realizar que contara con tales beneficios, como del constructor ya que contara con materia prima de alta calidad a bajo costo, y a la mano, los cuales serán la cuota de ganancia al utilizarlos, en este caso el concreto reciclado que como es de conocimiento de constructores, en su etapa nueva son reforzados con variedad de aditivos para ofrecer resistencia, determinantes de compactación, impermeabilidad los cuáles se podrán rescatar con un buen método de reciclaje selectivo, tratamiento y posterior inclusión a la mezcla.

Grafica 4: Capacidad a compresión del concreto

Autor: Ing. Omar Araujo Molina
Gráfica tomada de <http://www.galeon.com>

Como supone la gráfica donde se referencia la capacidad a compresión del concreto esta obtiene un gran resistencia a medida de los días, claro esto de un responsable curado, hidratando el material para obtener el resultado esperado; podríamos asimilar entonces que el concreto reciclado tendrá similares capacidades, como se mencionaba anteriormente para contenerlos dentro de nuestro prototipo de adoquín.

Este análisis de fraguado también aporta datos sobre las resistencias a compresión que pueden llegar a tener el prototipo, de acuerdo a la mezcla a proponer de agregados, en este caso reciclados, con el aporte de aglomerantes como lo es el cemento portland, y la cal hidratada durante el paso de los días, que para la investigación en curso será la menor cuantía posible en cuanto a tiempo, ya que la premura y preocupación principal dentro del proyecto es la rapidez con que este se realice esta para posterior entrega, y ya que lo que se busca es no entorpecer dichas tareas entre las muchas que hay dentro de la obra, se establecerá como uno de los retos a cumplir.

Adoquín hecho con escombros mediante un sistema de aprovechamiento en obra

1.14 Tratamiento en obra

Antes de iniciar con el sistema de aprovechamiento se hace necesario primero evaluar y analizar un área propicia y adecuada que pueda ser utilizada para el modelo de recuperación de estos escombros, la cual este delimitada, demarcada y en donde se dispongan los materiales a reciclar de forma ordenada y que no afecte el desarrollo normal del proyecto, esto dependerá de las características de cada obra y del porcentaje de escombros que se genere; esta área incluirá una primera disposición general, posterior separación, seguido a este una descontaminación y adecuada miento de estos residuos útiles, línea de producción que iniciaría con la trituración de los escombros de ladrillo y hormigón, tamizado para garantizar la granulometría correcta, mezcla de acuerdo a unas proporciones estudiadas de aditivos y aglomerantes, moldeado de los adoquines mediante una maquina vibrocompactadora para posterior secado al aire, esto sintetizando el sistema de elaboración del ladrillo.

Según la guía ambiental para el manejo de escombros en la ciudad, estos centros de acopio temporales no deben superar los 5m³ de material y deben estar cubiertos y protegidos por poli sombras, plásticos, u telas impermeables; el área a destinar dependerá de cada proyecto ya que como lo veremos a continuación será la envergadura de la obra donde se generan los porcentajes de escombros el factor base que establece las áreas requeridas.

1.15 Visita de campo

Este es un ejemplo de un proyecto de edificaciones de uso residencial estrato 3 de aprox. 8500 m² de área con 4500 m² construidos que en su primera etapa de similares áreas tuvo entre sus estimaciones producir materiales pétreos aprovechables en las siguientes cantidades: hormigón 33 m³, corte de ladrillo 67.7 m³, y escombros 882 m³, estos materiales generaban un coste de \$16.000 pesos por metro cubico por concepto de transporte hacia las escombreras autorizadas, ya que por el momento no estaban implementando algún sistema de aprovechamiento.

Visita de campo OIKOS Hayuelos

Imagen. 4



Imagen 5



Imagen 6



Imágenes tomadas por autores

En las anteriores imágenes se observa la segunda etapa del proyecto que está al 10% de su totalidad y al fondo la primer ya terminada; Según profesionales a cargo del proyecto es aprox. en el 80% de la obra es donde se generan la mayor cantidad de escombros entre 50 m^3 y 60 m^3 mensuales, por tal motivo es en esta etapa donde se comenzara a implementar el sistema de aprovechamiento de residuos dentro de la obra por producción de materia prima y posterior ensamble del pavimento en adoquín, claro no en todos los proyectos se iniciara en este momento.

Residuos de demolición de obras existentes

Imagen 7**Imagen 8****Imagen 9****Imagen10**

Imágenes tomadas por autores

Por otro lado encontramos los residuos dejados por demolición de obras ya existentes, los cuales es su gran mayoría pertenecen a escombros no contaminados y con propiedades de reutilización, que en este caso como lo podemos observar en las imágenes son más de 40 m³, replanteando entonces el momento en el que se debe iniciar como el sistema de aprovechamiento en obra, ya que como se mencionaba este proyecto se encuentra en un 10% de su terminación y ya cuenta con material para reciclar, por lo que las variables del sistema son cambiantes de acuerdo a cada proyecto constructivo.

En un segundo un proyecto de mayores áreas, tratándose este de una edificación con uso residencial con 41185 m² construidos, 9 torres, 12 pisos, 2 salones comunales, 2 plataformas de parque, con usos comercial en el primer piso, se encontró que ha

generado 584 m³ de escombros en 58 semanas, un promedio de 10 m³ por semana; con esta información y analizando las características de cada uno de los proyectos se puede reafirmar la viabilidad e implementación de un sistema de aprovechamiento en obra de residuos de construcción para la fabricación de adoquín en proyectos de grandes áreas por varios factores:

1. Los proyectos de gran área a construir ofrecen los espacios adecuados para el montaje de máquinas trituradoras y vibrocompactadoras sin interrumpir tareas paralelas.
2. Estos proyectos generan un gran porcentaje de escombros útiles para posterior procesamiento, ya que desde la etapa de demolición se empieza el reciclaje de los mismos.
3. Estos proyectos tienen dispuestos y contemplados espacios de uso público como plazoletas, recorridos peatonales internos y externos donde se utilizara el adoquín fabricado.

Áreas óptimas para el montaje de maquinaria y producción de material.

Imagen 11



Imagen 12



Imagen 13



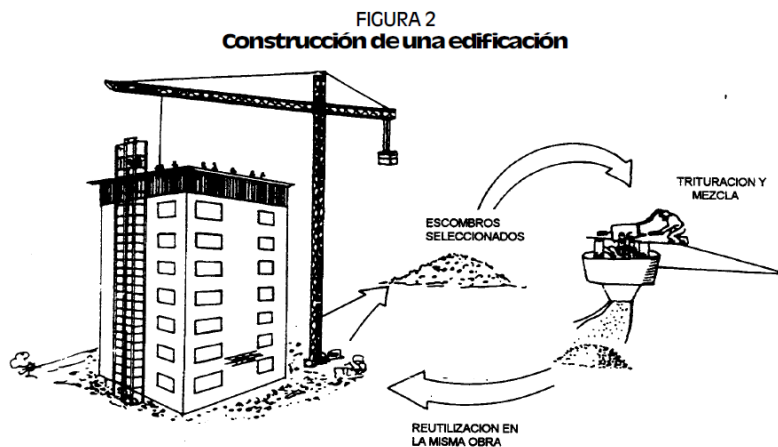
Imágenes tomadas por autores

Las áreas óptimas son uno de los puntos más importantes dentro de la línea de fabricación del adoquín hecho con escombros, ya que se necesita el espacio suficiente primero para el acopio del material reciclado y separado, máquina de trituración, malla con aberturas deseadas para garantizar granulometría, área de mezcla, espacio de maquina vibrcompactadora y área de secado que posteriormente se describirá en la metodología de secado en estantes verticales para ahorro de espacio, razón por la que en primera instancia este proceso se aplicara en grandes proyectos por las razones antes mencionadas.

A continuación se observa una gráfica con el tratamiento óptimo a implementar en obra:

Imagen 14: Reciclaje propicio de escombros en obra

Reciclaje en el propio sitio de generación de los escombros



Tomada de Manual de gestión Integral, Brasil.

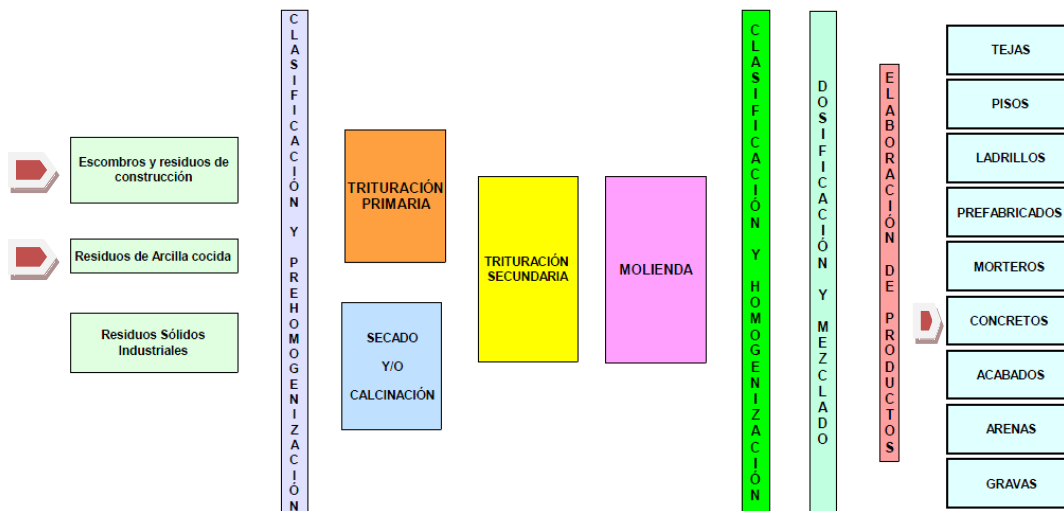
Esta área seleccionada en la obra estará dispuesta con contenedores para cada escombros, en este caso ladrillos y concreto, esto antecedida de una separación selectiva ya que entre más pulcro y menos contaminado el material, será mayor sus capacidades físicas y también por disminución en la mano de obra ya que si no se realiza esta disposición selectiva tendría que hacerse en los lugares de acopio del material útil, esto generaría más obreros y aún más pérdida de tiempo; Posterior estará la trituración del material como uno de los componentes primarios en la elaboración del adoquín.

1.15.1 ECOMAT S.A

Como referente en el método de reincorporación de materiales reciclados tomamos a la empresa ECOMAT S.A, proceso que se explicara y se adaptara paso a paso de acuerdo a la gráfica expuesta a continuación.

Es una empresa de Ingenieros encargada de la conservación del medio ambiente a través del desarrollo de materiales para la construcción a través del reciclaje de escombros.

Grafica 5: Proceso de fabricación Ecomat



Autor: Alejandro Salazar J

Tomado de ECO- Ingeniería E.U , pág. 3

1.16 Análisis de áreas para la aplicación en obra

Una vez vistos los espacios que pueden ser utilizados dentro de la obra, de acuerdo al área construida, se concluye que se hace necesario un espacio mínimo de 70 m², para poder desarrollarlo dentro de la misma, esto para el montaje de las máquinas a utilizar después de haber estudiado dimensiones de las mismas, esto con el fin de no entorpecer la evolución de la obra; por lo consiguiente la discriminación es la siguiente:

• Contenedores área de acopio	16 m ²
• Limpieza de escombros	6 m ²
• Trituradora	10 m ²
• Banda transportadora	5 m ²
• Tamizaje	6 m ²
• Mezcla	4 m ²
• Máquina de fabricación	3 m ²
• Carpas de primer secado	9 m ²
• Estibas, repisas de fraguado y curado	9 m ²

Esta área mínima de 50 m², se da en base al siguiente análisis:

El área de acopio del material constara, primero de un espacio de descargue del escombros que no ha sido seleccionado por sus características físicas el cual por ley no puede superar los 5 m³, de igual forma estarán dispuestos tres contenedores para reciclaje selectivo del material, (aleatorio, cerámicos, y residuos de concreto), de 2x2x2, por debajo del nivel del piso para comodidad en el reciclaje

La limpieza de escombros se trata de la separación de materiales que no son homogéneos para el caso de estudio tales como, madera, plásticos y metales.

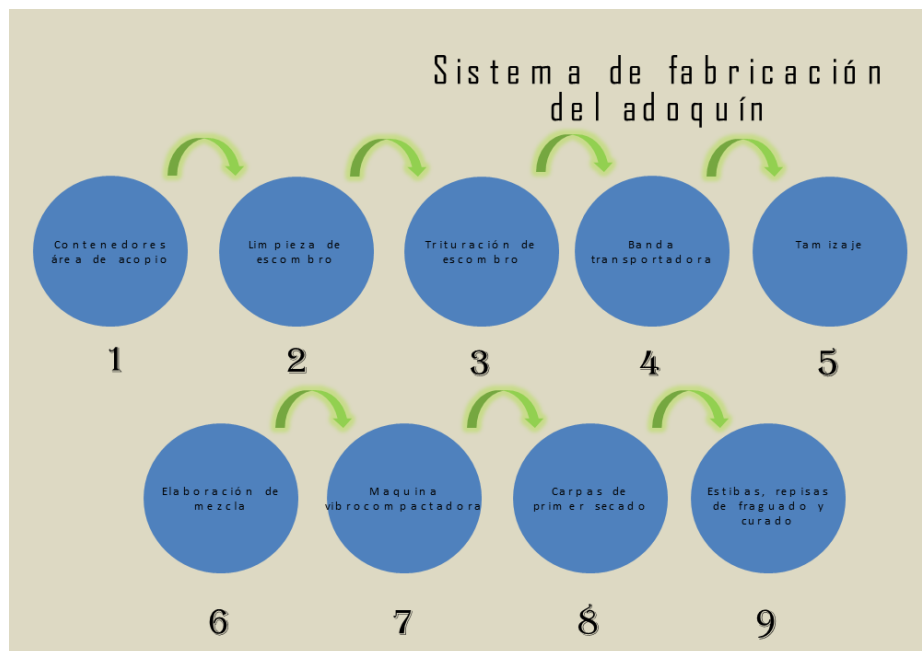
El espacio para la trituradora comercial, cuyas longitudes son de aprox. 2.5x2.0 m, más la tolva con longitudes similares de acuerdo a la capacidad de la misma, con la banda transportadora de 5 m 0.80 de ancho, hasta la malla de tamizaje de 2x3 m.

La mezcla se puede realizar con una rana o mezcladora, o manual, para posterior paso por la maquina vibrocompactadora de aprox. 1.50 m por 2.0 m.

Se realizara el secado primario en repisas de 2.20 x 1.20m, de cinco niveles, 50 adoquines por nivel para un total de 250 por repisa, bajo carpas o plásticos que protejan

de la intemperie, después de un endurecimiento donde se puedan mover se pasan a estibas o repisas de fraguado y curado hasta los 7 días para posterior ensamble dentro de la obra

Imagen 15 : Proceso de fabricación en obra



Elaborado por los autores

1.17 Caracterización y separación

Es de aclarar que si bien los elementos cuentan con unas determinadas capacidades físicas, estas dependen de la debida separación y reciclaje para posterior tratamiento, que como se describía anteriormente serán escombros áridos inertes que cumplan con características mínimas de contaminación de agentes tóxicos como pinturas y aceites, como cualidad importante se considerara la homogeneidad de los escombros es decir descartar los metales, maderas y plásticos; Es fundamental que se de instrucción sobre el cómo de esta separación a obreros y demás integrantes del proyecto porque tal vez este sea el procedimiento más tedioso, pero el más efectivo para el aprovechamiento de tales residuos, lo cual sería más útil y rápido comenzar desde una primera separación selectiva desde su misma producción.

Para este caso se hará una separación inicial del material, primer grupo conformado por fragmentos de ladrillo, sobrantes de recorte, con la adición del ladrillo de mampostería dañado, o fragmentado, hay que tener en cuenta que este último viene en su gran mayoría con el material de pega, es decir mortero fino, estos materiales comprenderán el

residuo aleatorio por la combinación de diferentes clases de cerámicos, y un segundo grupo conformado por el concreto reciclado (placas por demolición, y residuos de mortero); esta división de materiales reciclados se realiza ya que cada uno tiene capacidades físicas diferentes tomándose como grupos separados por ejemplo el concreto reciclado conserva capacidades físicas y químicas óptimas para la elaboración del adoquín ya que este en si es un concreto moldeado en una pieza de ensamble y que necesita de cierta resistencia a compresión y flexión, capacidades que se verán reflejadas en la etapa de mezcla y dosificación de materiales.

Separación y caracterización de materiales

Concretos y morteros

Imagen 16



Imagen 17



Material aleatorio: ladrillo de mampostería y recortes

Imagen 18



Imagen 19



Imágenes tomadas por autores

1.18 Tratamiento

1.18.1 Triturado

En este caso como se trata de un adoquín, en el que se va a reemplazar los agregados con los escombros reciclados, estos pasaran por un proceso de trituración mecánico o manual de acuerdo a los requerimientos de cada obra y al porcentaje de residuos que esta genere, Esta trituración tiene como objetivo garantizar la granulometría correcta, posterior paso por tamices incluidos en el sistema de producción y aprovechamiento.

Uno de los referentes utilizados en el procesamiento del material reciclado es el de la fábrica de adoquines, sardineles, y agregados hechos de RCD de razón social Cicloamat, idea que nace en la cabeza del arquitecto Carlos Duica, profesional de la construcción y catedrático en varias universidades de la ciudad de Bogotá, el cual que llevo a la realidad esta opción de reutilización de elementos reciclados, empresa que actualmente está a cargo del señor Carlos Vallarino, persona quien nos muestra el sistema de operación y nos hace un recorrido por la planta.

Cicloamat

Imagen 20: Trituradora Industrial



Imagen 21: Arenadora



Imagen 22: Banda transportadora**Imagen 23:** Malla de tamizaje

Imágenes tomadas por autores

Este es el proceso trituración y tamizaje industrial que maneja Ciclomat, ya que ellos cuentan con una infraestructura y áreas dirigidas para este uso, lo que les permite acopiar grandes cantidades de escombros, y procesamiento continuo de los mismos.

Este proceso puede ser pasado a escala dentro de la obra para la reutilización de escombros producidos por la misma, tomando en cuenta el área mínima requerida descrita anteriormente de 70 m², ya que todos los proyectos no podrán implementar dicho sistema de aprovechamiento por la envergadura de los mismos.

De igual forma pueden recurrir a un proceso manual de acuerdo al porcentaje de escombros producidos, los cuales se pueden implementar como agregados gruesos en diferentes tareas dentro de la obra.

Imagen 24: Trituradoras comerciales



Impact Crusher

Autor: Trituradoras JOYAL CHINA

Tomada de <http://www.joyalchina.com/PDF/ImpactCrusher-s.pdf>

Este tipo de trituradoras de materiales áridos como rocas, constituyen en primera instancia una gran inversión monetaria, pero a largo plazo será de gran utilidad dentro de las diferentes obras ya que formara parte esencial en el proceso de reincorporación de materiales a la obra, que podrá ser transportado ya que son equipos móviles; Es de anotar que este es el gasto más grande dentro del sistemas de reaprovechamiento de escombros.

Estas trituradoras que no necesitan más de 10 m² de área para su montaje con tolva incorporada son de fácil adquisición ya que algunas ya son fabricadas en el país, y están en promedio de 15 a 25 millones de acuerdo a la capacidad.

1.18.2 Granulometría

La trituración del material dará la granulometría necesaria después del paso por tamices, o mallas de diferentes aberturas milimétricas; Un primer estudio de la granulometría a utilizar esta dada por los análisis de proyectos que tienen dentro de su materia prima la utilización de escombros de construcción, uno de ellos el realizado por Juan Sebastián Ferreira titulado “Aprovechamiento de escombros como agregados no convencionales en mezclas de concreto”, que es aplicable con los lineamientos expuestos por la presente investigación por las características de los materiales a utilizar; a continuación mostraremos una tabla expuesta en su trabajo en donde expone escombros triturados de diferente grosor a pruebas de resistencia.

Tabla 3: Resultados de ensayos investigación de Juan Ferreira

Tabla 13 Resultados de los ensayos realizados a los agregados y escombros

ENSAYOS REALIZADOS	MUESTRA DE ENSAYO						NORMA	
	AG. FINO	ESC. FINO	LAD. FINO	AG. GRUESO	ESC. GRUESO	LAD. GRUESO		
Humedad natural (%)	5.1	4.4	5.0	1.2	4.1	2.4		
Terrones de arcilla y partículas deleznableles (%)	4.4	3.0	1.8	0.2	0.4	0.3	INV E-211-07 NTC 589	
Contenido aprox. de materia orgánica.	3	1	0	-	-	-	INV E-212-07 NTC 127	
Gravedad Específica (g/cm ³)	Aparente 23/23°C	2.69	2.57	2.61	2.62	2.56	2.53	INV E-222-07
	Bulk S.S.S 23/23°C	2.56	2.30	2.29	2.58	2.36	2.15	INV E-223-07
	Bulk 23/23°C	2.48	2.12	2.09	2.55	2.24	1.90	NTC 237
Porcentaje de absorción (%)	3.1	8.1	9.6	1.1	5.6	13.1	NTC 176	
Desgaste de los agregados en la máquina de los ángeles (%)	-	-	-	38.0	41.3	93.4	INV E-218-07 NTC 98	
Masa Unitaria (g/cm ³)	Suelta	1.5	1.2	1.2	1.4	1.2	1.0	INV E-217-07
	Compacta	1.6	1.3	1.3	1.5	1.3	1.1	
Vacios de MUC (%)	38.2	38.5	38.4	39.9	42.7	41.5	NTC 92	

Autor: Juan Ferreira

Tomado de (Ferreira, 2009, pág. 54).

“Reciclar los escombros de procesos como la construcción para la producción de agregados ecológicos es una opción pertinente a nivel ambiental, técnico y económico para el sector.” (Ferreira, 2009, pág. 1).

Como se observa en la tabla de resultados, el escombros fino y el escombros grueso presentan menor porcentaje de absorción a comparación de solo el ladrillo triturado, por lo que es viable pensar una solución mixta a la hora de la mezcla. Dentro del estudio de Ferreira se toma como valor nominal del escombros grueso 25.4 mm o 1 pulg, ladrillo grueso 38.1 mm o 1^{1/2} pulg. Y el escombros y ladrillo fino por debajo de estos valores. Se mencionó con anterioridad en el proceso de fabricación del adoquín que se utilizaran dos tipos de agregados reciclados, uno aleatorio y el segundo reciclado de concreto, por lo que para determinar la granulometría a utilizar, se le realiza paso por tamices en el laboratorio.

Muestras de escombros aleatorio y concreto

Imagen 25



Imágenes tomadas por autores

Imagen 26



Imagen 27



Imágenes tomadas por autores

Se toman muestras del agregado reciclado aleatorio con un peso de 100.3 gr. y del agregado de concreto reciclado con un peso de 1125.9 gr. (se puede tomar cualquier peso para realizar el proceso de granulometría), los cuales con anterioridad fueron secados al horno para poder obtener una muestra libre de humedad y dar inicio con el paso por los tamices, comenzando desde el de 3/8" con una abertura de 9,5 mm hasta el más fino, en este caso el No. 200 con una abertura de 0.074 mm, obteniendo los siguientes resultados en cada uno de los casos como lo muestra la tabla 4 de granulometría

Granulometría concreto reciclado

Tabla 4: Tabla granulométrica concreto reciclado

Peso de la muestra seca gra.		1125.8 gra			
Tamiz No. Pulgada	Abertura del tamiz Mm	Peso de la muestra retenida gra.	Porcentaje retenido %	Porcentaje retenido acumulado %	Porcentaje que pasa %
4"	100.00				
3"	75.00				
2 1/2"	63.50				
2"	50.00				
1 1/2"	37.50				
1"	25.00				
3/4"	19.00				
1/2"	12.50				100
3/8"	9.50	51.4	4.56	4.56	95.94
Nº 4	4.75	529.1	46.99	51.55	48.45
Nº 8	2.38	139.8	12.41	63.96	36.04
Nº 16	1.19	72.7	6.45	70.41	29.59
Nº 30	0.59	64.4	5.72	76.16	23.84
Nº 50	0.30	81.3	7.22	83.38	16.62
Nº 100	0.15	52.2	4.63	88.01	11.99
Nº 200	0.074	48.7	4.31	92.32	7.68
Fondo		74.6	6.62	98.94	1.06

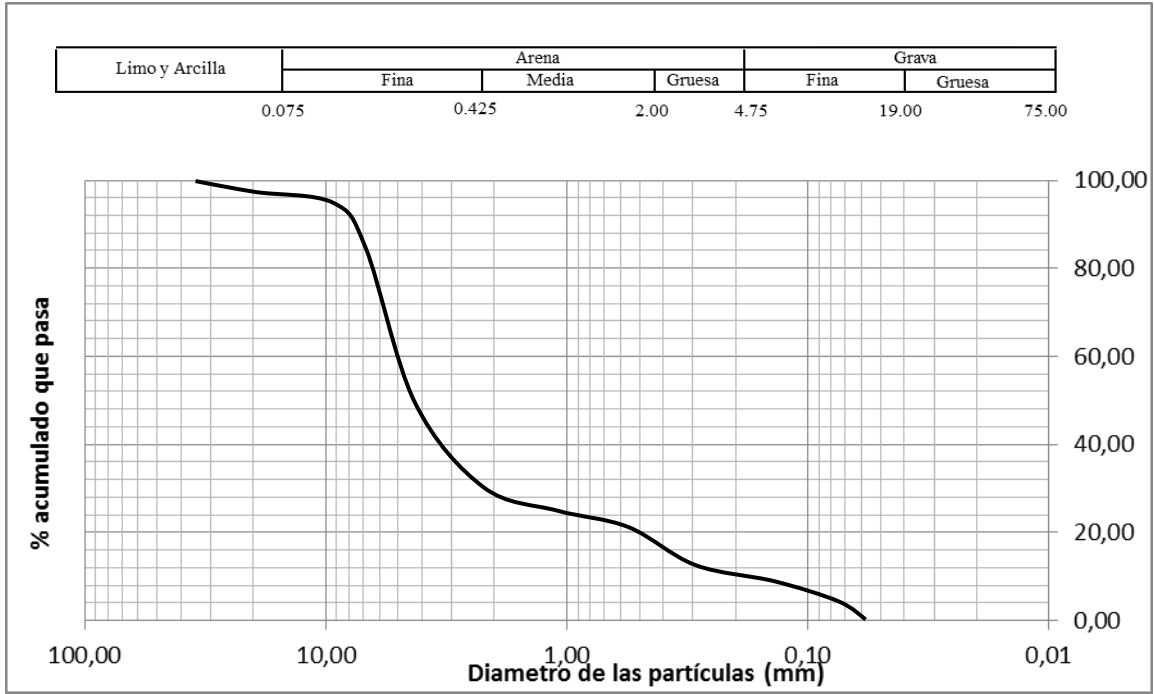
Elaborada por autores

Granulometría escombros aleatorio
Tabla 5: Tabla granulométrica escombros aleatorio

Peso de la muestra seca gra.		700.4 gra			
Tamiz No. Pulgada	Abertura del tamiz Mm	Peso de la muestra retenida gra.	Porcentaje retenido %	Porcentaje retenido acumulado %	Porcentaje que pasa %
4"	100.00				
3"	75.00				
2 1/2"	63.50				
2"	50.00				
1 1/2"	37.50				
1"	25.00				
3/4"	19.00				
1/2"	12.50				100
3/8"	9.50	15,8	2,25	2,25	97,75
Nº 4	4.75	287,8	41.09	43,34	58,66
Nº 8	2.38	124,4	17.76	61,1	38,9
Nº 16	1.19	59,7	8,52	69,62	30,38
Nº 30	0.59	49,8	7,11	76,73	23,27
Nº 50	0.30	60,3	8,60	85,33	14,67
Nº 100	0.15	46,2	6.59	91,92	8,08
Nº 200	0.074	29,82	4,25	96,17	3,82
Fondo		24,5	3.49	99,66	0

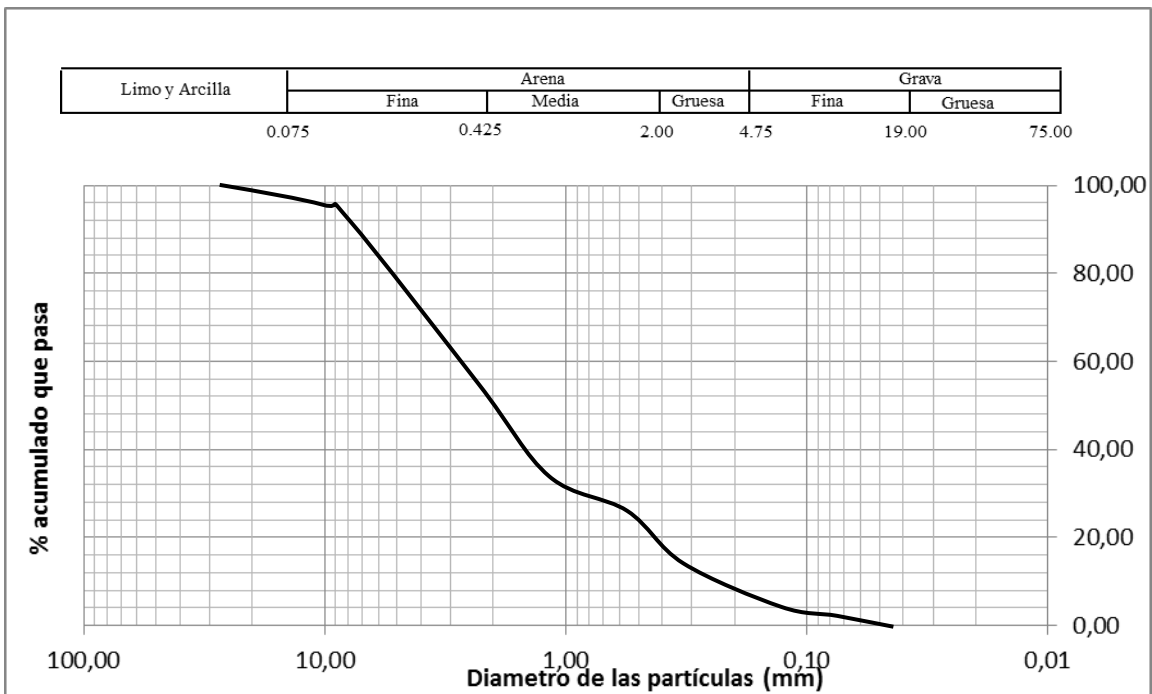
Elaborada por autores

Grafica 6: Curva granulométrica concreto reciclado



Tomada y modificada de HIDROENERGIA S.C.R.L

Grafica 7: Curva granulométrica escombros aleatorio



En los resultados obtenidos, el porcentaje que pasa por el tamiz más fino es decir el No. 200, oscila entre el 1.06% y el 3.86%, en los dos grupos de materiales reciclados lo cual indica que es un material homogéneo que ofrecerá dentro del prototipo altas capacidades físicas en cuanto a porosidad, porcentaje de absorción de agua, e uniformidad en la mezcla; de igual forma se puede determinar el tamaño del material a utilizar, en este caso cuando se mencione el agregado grueso fue el retenido hasta el tamiz No. 4, es decir no mayor a 9.50 mm ni menor a 4.75 mm, y el agregado fino no menor a 2.38 mm es decir desde lo retenido por el tamiz No. 8.

Imagen 28: Agregados a utilizar según disposición granulométrica



Imágenes tomadas por autores

Reciclados gruesos

Imagen 29: Aleatorio grueso



Imagen 30: Concreto reciclado grueso



Imágenes tomadas por autores

Reciclados finos

Imagen 31: Aleatorio fino



Imagen 32: Concreto reciclado fino



Imágenes tomadas por autores

1.19 Mezcla y proporción

Después de tener un rango granulométrico es necesario estudiar posibles dosificaciones entre los materiales a utilizar en este caso escombros finos y gruesos, aditivos aglomerantes (cal hidratada y cemento portland), y agua; Se desarrollaran tres probetas del adoquín con cada mezcla planteada, secadas a 7, 14 y 28 días, para posteriormente ser sometidas en primera instancia a pruebas de resistencia a compresión; De igual manera nos basaremos en referentes para posibles dosificaciones.

1.19.1 Referentes

Para la dosificación y mezcla se seguirá tomando como referente la investigaciones de Ferreira, ya que las dosificaciones que realiza son para pavimentos en concreto en forma de placa, teniendo concordancia con la presente que es la elaboración de pavimentos pero con un sistema de adoquines.

Tabla 6: Resultados a compresión de las mezclas que obtuvieron mejor resistencia investigación Ferreira

Tabla 32 Resultados a compresión de las mezclas que obtuvieron mayor resistencia.

MEZCLAS	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)		
	7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
D3 (Arena 30%; Ag. Grueso 60%; Lad. Grueso 10%)	108.23	126.43	169.92
B7 (Arena 20%; Ag. Grueso 70%; Esc. Grueso 10%)	123.99	165.21	153.97
C6 (Arena 30%; Ag. Grueso 60%; Lad. Fino 10%)	130.80	179.05	190.12
E4 (Arena 40%; Ag. Grueso 60%)	150.83	177.66	200.68
A4 (Arena 40%; Ag. Grueso 50%; Esc. Grueso 10%)	156.6	173.47	223.56

Autor: Juan Ferreira
Tomado de Ferreira, 2009, pág. 77

Observamos que las mejores resistencias son las que utilizan mayor porcentaje de agregados y escombros gruesos en su mezcla, ya que en este caso en particular trata de un concreto para pavimentos y necesitan un gran capacidad portante; por lo que para la mezcla del adoquín se van a ver representados estos valores cambiando las cantidades de arena por escombros finos, agregados gruesos por escombros de ladrillo y hormigón triturados de acuerdo al tamaño planteado en el estudio granulométrico anteriormente mencionado, con la adición de aditivos conglomerantes.

Tabla 7: Mezclas recomendadas de Ferreira

Tabla 33 Cantidad de material para las nuevas mezclas.

MEZCLA	RELACION A/C	CANTIDAD DE MATERIAL REQUERIDO PARA PREPARAR LAS MEZCLAS (Kg/m ³ de concreto)				
		CEMENTO	AG. GRUESO	AG. FINO	AGUA	ESCOMBRO
A4	0.45	406.7	903.8	750.9	171.0	186.0
	0.40	457.5	880.4	731.5	171.3	181.2
	0.35	522.9	850.3	706.4	171.7	175.0
E4	0.45	406.7	1088.7	753.7	168.1	0.0
	0.40	457.5	1060.5	734.2	168.5	0.0
	0.35	522.9	1024.2	709.1	169.0	0.0

Autor: Juan Ferreira

Tomado de Ferreira, 2009, pág. 78

Ya que en las dosificaciones de la tabla No. 6, no se toma en cuenta la cantidad de cemento, Ferreira tabula dos de las mejores mezclas de concreto en relación con la adición de agua/cemento; como se mencionó los agregados en la presente investigación serán reemplazadas con el material reciclado en obra, en dos granulometrías grueso, y fino y adecuándolas según los requerimientos y resistencias esperadas, es de anotar que estas mezclas son dadas en kilos para la preparación de un metro cubico de concreto, por lo que se sintetizaran en porcentajes. En el caso de ejemplo el porcentaje en su orden seria así: peso total de materiales 2418.4 Kg, (406,7 Kg de cemento 17%, 903.8 Kg de agregado grueso 38%, 750.9 Kg de agregado fino 31%, 171.0 Kg de agua 7% y 186.0 Kg de escombros 7%)

A continuación se observa una tabla con los índices de Eco material, aditivos y cementos que son utilizados por ECOMAT en la producción de materiales para la construcción.

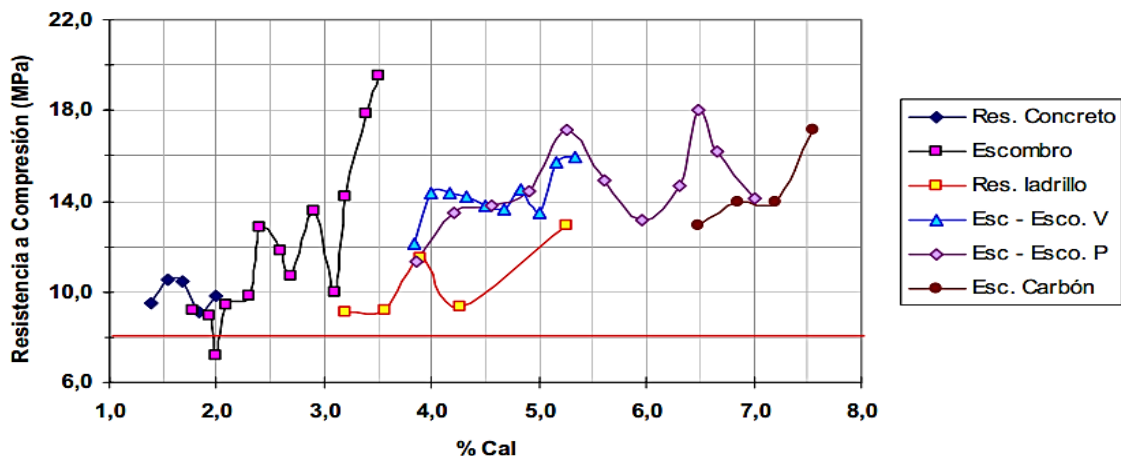
Tabla 8: DOSIFICACIONES ECOMAT

CONGLOMERANTES	%CEMENTO	%ADITIVO	% ECOMATERIAL
Eco- groutin	58,8	0,6	40,6
Eco- mortero ladrillo	40,8	0,4	58,8
Eco-ladrillo	0	0,4	99,6
Eco-mortero bloque	35,2	0,5	64,3
Eco-bloque	40	0,4	59,6
Eco-concreto 17.5	70		30
Eco-concreto 21.0	80		20
Estucos	10	0,6	89,4

Autor: Alejandro Salazar J.

Tomado de: ECO- Ingeniería E.U, pág. 11

En la tabla anterior se puede ver que los eco ladrillos son el producto de ECOMAT S.A que menos cantidad de cemento requiere (0.0 %) se le agrega solo el 0.4 % de aditivos y el 96.6 % de ECO- MATERIAL, desconociendo de este último su composición, pero del que se puede sustraer que estos eco-materiales pueden ser los escombros triturados, al que necesariamente se tratara con cemento portland y cal hidratada como compactador.

Grafica 8: Resistencia del Eco-ladrillo vs. % Cal

— Norma Colombiana: 8.0 MPa

Autor: Alejandro Salazar J.

Tomado de: ECO- Ingeniería E.U, pág. 11

En la gráfica se muestran la resistencia del eco-ladrillo al incrementar el porcentaje de cal, el cual llega a los 13 Mpa con un 5% de cal como aditivo, material de fácil acceso económico el cual como se ha mencionado a lo largo del documento se utilizara como aditivo conglomerante.

1.19.2 Primeras probetas realizadas

De acuerdo a lo referenciado se realiza un tipo de mezcla con la siguiente dosificación: M1: 38% escombros grueso/31% escombros fino/7% de agua/12% cal hidratada/12% cemento portland.

Se fabrican moldes artesanales los cuales tienen las siguientes dimensiones; longitud 21 cm, ancho 6 cm y alto 6 cm.

Imagen 33: Moldes artesanales para encofrar mezclas



Imagen 34: Mezcla 1 en molde



Imágenes tomadas por autores

Después de 7 días de secado al aire de la mezcla No. 1, intencionalmente no se hidrata para observar las consecuencias de un mal fraguado del adoquín.

Adoquín con mezcla No. 1

Imagen 35



Imagen 36



Imágenes tomadas por autores

1.19.3 Pruebas mezcla No. 1

Con un mal fraguado del material se pierde capacidad portante ya que la mezcla de los escombros con el cemento portland necesita la incorporación de agua una vez endurecido ya que esta desencadena sus propiedades físicas y mecánicas, con base a un buen proceso de curado es que se alcanza la resistencia deseada. Por otro lado vemos que el acabado del adoquín es bastante rustico en la superficie debido a que tiene un mayor porcentaje de escombros grueso lo que impide la compactación de la mezcla dejando poros de gran diámetro.

Prueba a compresión de la mezcla No. 1

Imagen 37



Imagen 38



Imagen 39: Resultado a compresión en Kn



Imagen 40: Adoquín fracturado



Imágenes tomadas por autores

El adoquín resiste a la prueba a compresión 28.9 Kn, antes del punto de rotura a los 7 días de secado, en un espécimen de 20 cm de longitud, 6 cm de ancho y 6 cm de alto, con esas longitudes se puede expresar que esta probeta sin un buen fraguado resistió para esta área 2,4 Mpa, poca resistencia para una mezcla para adoquín de paso peatonal ya que la NTC exige mínimo 4,2 Mpa en esfuerzos de flexotracción, Ya que las características físicas no cumplen con los requisitos mínimos se abandona esta mezcla no solo por la resistencia sino también por las características físicas.

Sin descartar el referente de mezcla como base de la investigación se aumenta los agregados finos y la cantidad de aglomerante con la intención de mejorar la compactación del material llenando los vacíos con los agregados finos así:

M2: 16% cemento portland, 14% agua, 8% cal hidráulica, 38% agregado fino, 24% agregado grueso.

En este caso se realiza la probeta en forma de cilindro para probar la mezcla al igual como se hacen con la de los concretos.

Probeta mezcla No. 2

Imagen 41: Encofrado**Imagen No. 42:** Desencofrado a las 24 h.

Imágenes tomadas por autores

Una vez realizada la mezcla se vierte dentro de un contenedor cilíndrico metálico, para ser desencofrado a las 24 horas, para ser expuesto a un fraguado vigilado, es decir será hidratado durante siete días, se ejecuta una sola probeta cilíndrica ya que el objetivo es comprobar las dosificaciones de los escombros sumados a los aglomerantes y someterlos en combinación a esfuerzos de compresión, para identificar la mezcla correcta, para posterior elaboración de los adoquines como tal.

1.19.4 Prueba mezcla No. 2

Después de 7 días de fraguado y curado controlado se somete a prueba de compresión el cilindro con la mezcla referida, en la cual se obtiene una mejora en la porosidad visible, es decir tiene una textura más homogénea, dando una mejor apariencia externa en cuanto acabado.

Prueba a compresión

Imagen 43: Peso del cilindro**Imagen 44:** Ubicación en la maquina**Imagen 45:** Resistencia en Kn**Imagen 46:** Rotura del cilindro

Imágenes tomadas por los autores

El cilindro de 78 cm^2 de área en la parte superior, con unas proporciones de 10 cm de diámetro y 22 cm de altura resiste a compresión 34.8 Kn, es decir para esta área 4,4 Mpa, unidades de presión ejercidas sobre la probeta; esta mezcla pues cumpliría con lo estipulado en la NTC 2017, por lo que se continuara entonces en la elaboración de un primer espécimen de adoquín con esta segunda mezcla, y una tercera proyectada así: M3: 18% cemento portland, 14% agua, 6% cal hidráulica, 38% escombros finos, 24% escombros gruesos.

Prototipos de adoquín

Imagen 47: Mezcla 2**Imagen 48:** Mezcla 3

Imágenes tomadas por los autores

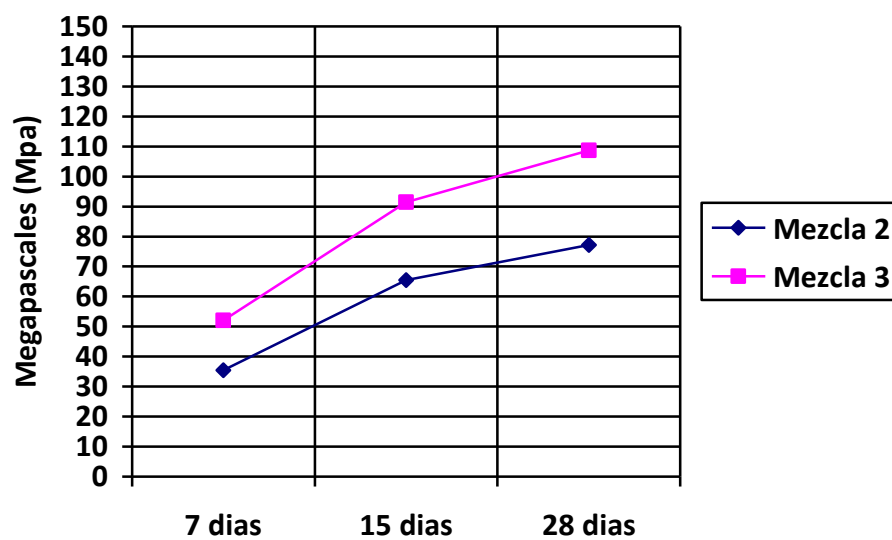
De estos prototipos fueron fabricados tres probetas de 20x10x6, para ser expuestas a las pruebas de compresión y resistencia a la flexotracción y resistencia a la abrasión tal y como lo dicta la NTC 2017, especímenes a diferentes edades de fraguado (7-15-28 días).

Imagen 49: Prueba a compresión**Imagen 50:** Después de prueba a compresión

Imagen 51: Prueba a flexotracción

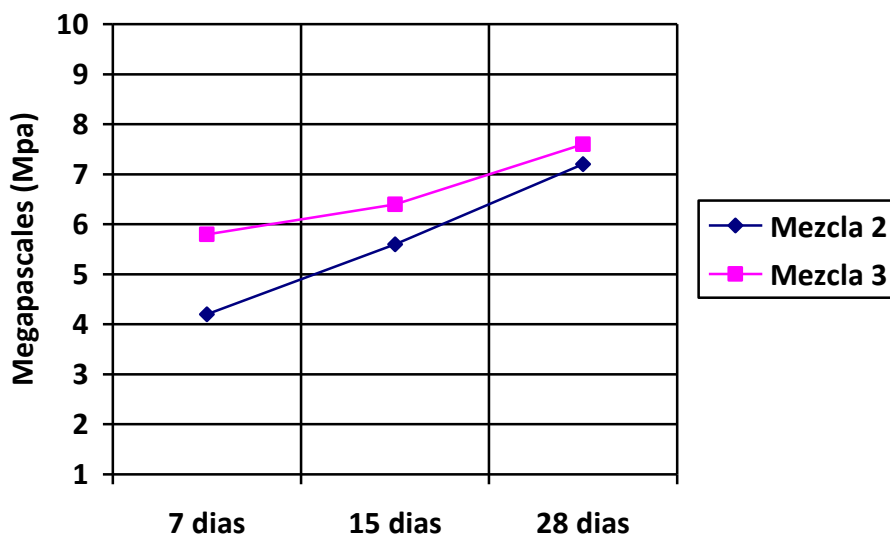
Imágenes tomadas por los autores

Se sometieron las tres probetas de cada mezcla, a dichas pruebas a los días referidos teniendo los siguientes resultados.

Gráfica 9: Prueba a compresión

Elaborado por los autores

Gráfica 10: Prueba a Flexotracción



Elaborado por los autores

A las probetas se les hidrato constantemente durante los días en mención con agua sin ningún tipo de contaminación, como lo observamos en las gráficas con un curado y fraguado óptimo y continuo del adoquín se obtendrán mejores resultado al pasar de los días en el que efectué tal tratamiento, y por otro lado estamos dentro de la normativa vigente mínima en cuanto a resistencia

1.20 Conglomerantes

Uno de los factores más importantes a tratar dentro de la elaboración del prototipo del ladrillo son los aditivos que compactaran el material reciclado, por características que vamos a exponer a continuación este material será el cemento portland y la cal hidratada, esto después de un análisis de sus capacidades físicas y químicas.

1.20.1 Cemento Portland

Se va a recurrir al cemento Portland ya que el prototipo necesita un aglomerante que fragüe en un ambiente al aire, y ya que este tiene propiedades de curado con presencia de agua por reacción química, será sencilla su incorporación al proceso de fabricación del adoquín para que compacte el material; El cemento Portland también tiene propiedades de adhesión y cohesión lo cual aportará resistencia y durabilidad al material. Para el adoquín hecho con escombros se utilizara el tipo 1, ya que es el que se

encuentra con regularidad en la obra, cumpliendo con uno de los requisitos del proyecto que es el de fácil adquisición de la materia prima

Tabla 9: Tipos de cemento Portland

TIPOS DE CEMENTO PORTLAND	CARACTERÍSTICAS
Tipo 1	Es el cemento destinado a obras de concreto en general, al que no se le exigen propiedades especiales.
Tipo 1-M	Destinado a obras de concreto en general, al cual no se le exigen propiedades especiales pero tiene resistencias superiores a las del Portland tipo 1.
Tipo 2	Destinado generalmente a obras de concreto expuestas a la acción moderada de sulfatos y obras en donde se requiere moderado calor de hidratación.
Tipo 3	Es el cemento que desarrolla altas resistencias iniciales.
Tipo 4	Es el que desarrolla bajo calor de hidratación.
Tipo 5	Es el cemento que ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos.
Blanco	Es el cemento que se obtiene con materiales debidamente seleccionados que le confieren una coloración blanca.
Con incorporador de aire	Son aquellos cementos a los que se les adiciona un material incorporador de aire durante la pulverización.
Tipo 1A	Es el cemento Portland tipo 1 al cual se le adiciona un material incorporador de aire. Resistente al congelamiento por deshielo.
Tipo 1-MA	Es el cemento Portland 1-M, al cual se le adiciona un material incorporador de aire. Resistente al congelamiento por deshielo.
Tipo 2A y 3A	Son los mismos cemento Portland tipo 2 y tipo 3 pero con un material incorporador de aire. Son resistentes al congelamiento por deshielo.

Autor: Juan Ferreira

Tomado de: (Ferreira, 2009, pág. 11)

1.20.2 Cal hidratada

Es utilizado para realización de juntas y recubrimientos interiores y exteriores, estéticamente puede añadir colorido o acabados muy particulares, funcionalmente es quien liga las unidades de mampostería, sirviendo de sello para impedir el paso del aire y agua. Además se adhiere al refuerzo de las juntas, amarras metálicas y pernos anclados de tal modo que actúen conjuntamente.

Propiedades de la mezcla:

En Fresco

Trabajabilidad
Retención de Agua/Aire
Tiempo de Fraguado

Endurecidas

Adherencia
Resistencia a la compresión
Resistencia al corte
Eflorescencia
Permeabilidad
Durabilidad

1.20.3 Características de las mezclas con Cal

La Cal, además de contribuir con sus propiedades cementantes; mejora propiedades del mortero por el alto grado de finura en sus partículas; Aumenta el % de retención de agua favoreciendo el contacto con las unidades de albañilería y disminuyendo considerablemente la formación de micro-grietas.

Tiempo de Fraguado mayor obteniéndose fraguados más gentiles que permiten la correcta hidratación e interacción entre los componentes de la mezcla. A pesar de ser un factor importante en el avance del trabajo, acelerar el tiempo de fraguado afecta directamente a la adherencia y resistencia al corte de la mezcla.

1.21 Modulación

1.21.1 Partes de un adoquín

Dentro del objetivo general se plantea que el adoquín se realice de acuerdo a las disposiciones proclamadas dentro de la NTC 2017, la cual describe los lineamientos sobre adoquines en concreto, por lo que se tomarán los parámetros en cuanto a pruebas de resistencia, tamaños y generalidades de esta.

Imagen 52: Partes de un adoquín

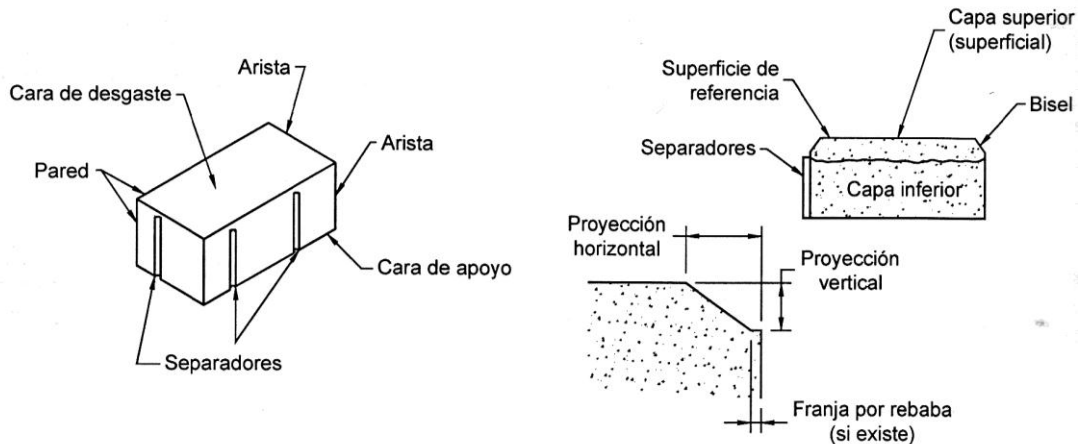


Figura 1a. Partes de un adoquín

Figura 1b. Partes de un adoquín (corte)

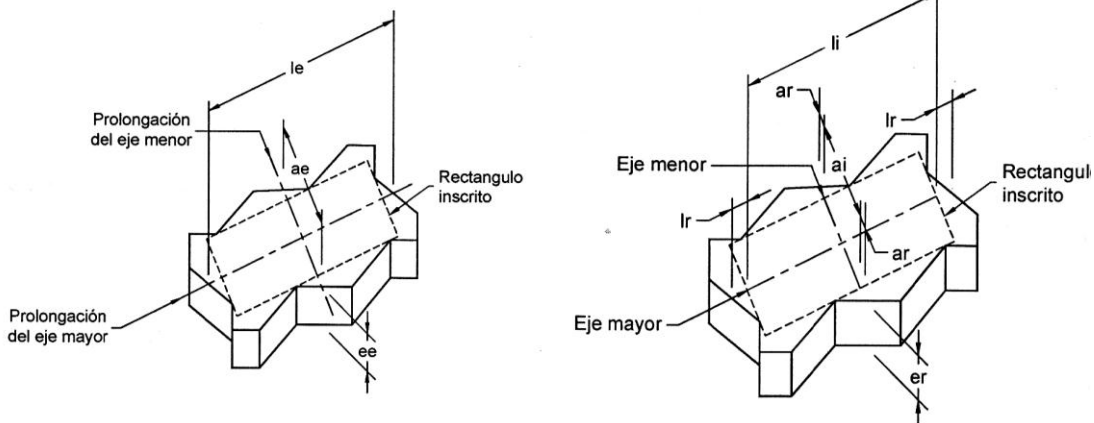


Figura 1c. Dimensiones estándar

Figura 1d. Dimensiones reales e inscritas

Figura 1. Partes y dimensiones de un adoquín

Imagen tomada de NTC 2017 pág. 8

En este caso se hablara de su apariencia de la cual se pueden tener no solo óptimos resultado estéticos sino también a la hora de su ensamble y comportamiento físico colectivo; en la NTC 2017 se exige que el diseño contenga las siguientes especificaciones:

Requisitos físicos, la longitud nominal de los adoquines no debe ser menor de 50 mm ni mayor de 250 mm, el ancho nominal no debe ser menor de 50 mm, el espesor estándar no debe ser menor de 60 mm y se prefieren dimensiones que sean múltiplos de 20 mm,

los separadores no deben tener menos de 4 mm de ancho con un máximo 1.5 mm, con un espesor máximo de 2 mm.

También se exige que todo tipo de adoquín sin importar su forma debe tener inscrito un rectángulo que cumpla con las proporciones físicas antes mencionadas; en el mercado ya existen múltiples diseños de adoquines, los cuales son tomados como referencia para desarrollar un diseño propio que inserte dentro de la investigación no solo la parte técnica sino también la arquitectónica.

1.21.2 Tipos de adoquín

Es de vital importancia tomar formas ya constituidas en el mercado porque se parte desde el punto que cumplen con las capacidades físicas y mecánicas para el cual fueron destinados; se puede observar en la imagen que son formas simples derivadas de figuras geométricas básicas ya que en el ensamblaje se podría complicar su colocación ya que el fuerte de este material en su capacidad portante en lo colectivo, por lo que para el prototipo un factor de importancia será su fácil y rápida instalación y funcionamiento, evitando partes pequeñas que sean de dificultad a la hora de ubicar el adoquín.

Imagen 53: Tipos de adoquines

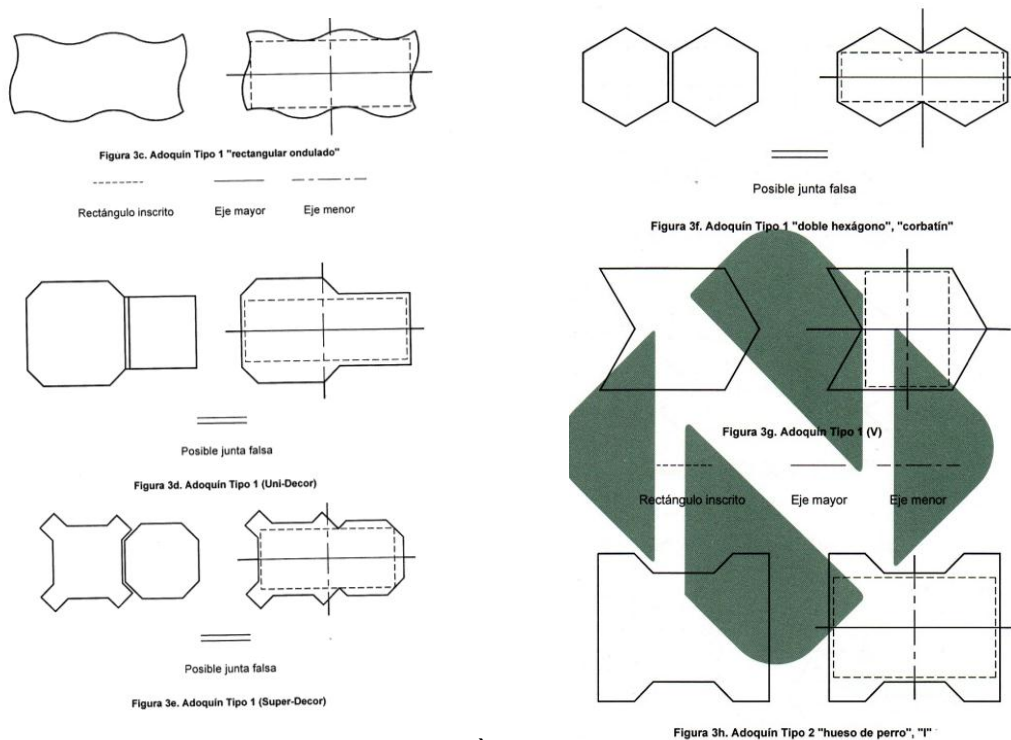
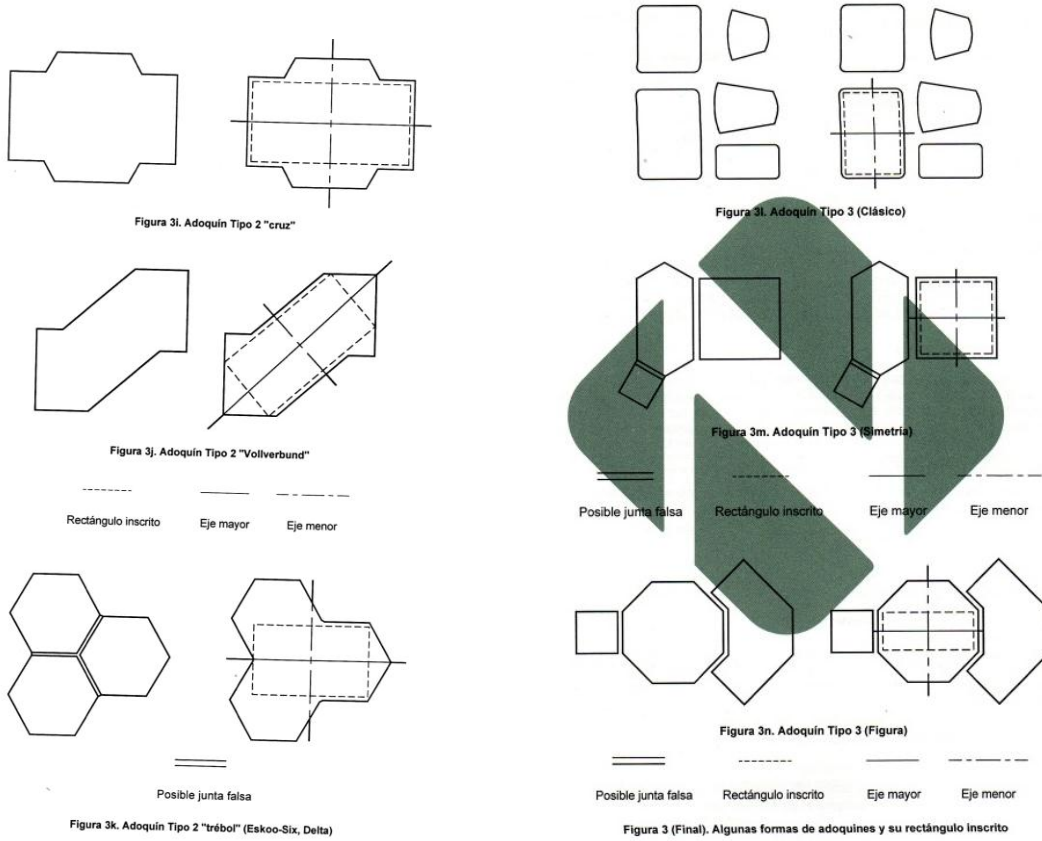


Imagen 54: Tipos de adoquines



Imágenes tomadas NTC pág. 12, 13, 14 y 15

Teniendo como referencia dichos modelos en los cuales deben tener ciertos parámetros de forma, se opta por las siguientes modulaciones, incluyendo variantes que mejoraran su capacidad portante, y otras que estéticas.

Modulación propuesta

Imagen 55: vista en planta trama tipo linterna

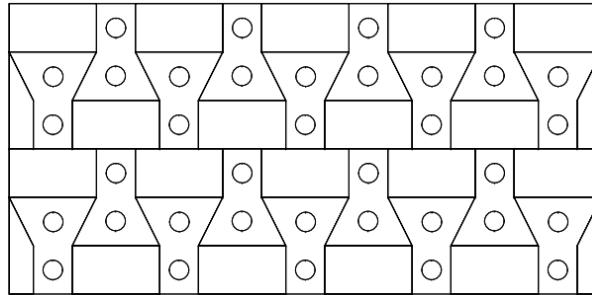


Imagen 56: vista en planta trama tipo lego

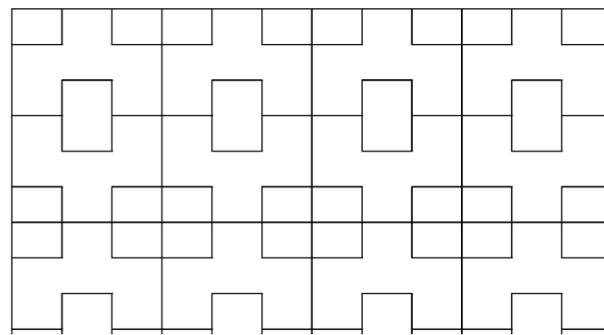
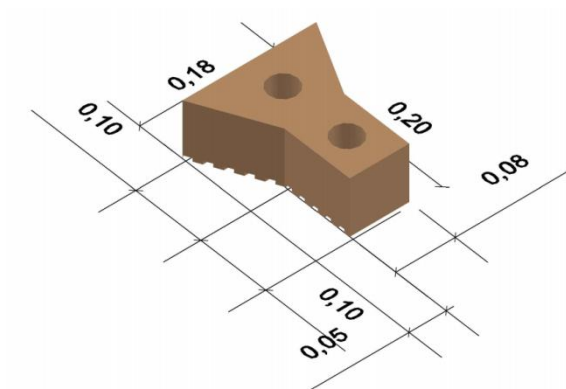


Imagen 57: Isométrico tipo linterna



Modelos de los autores

Modulación propuesta

Imagen 58: Planta tipo lego

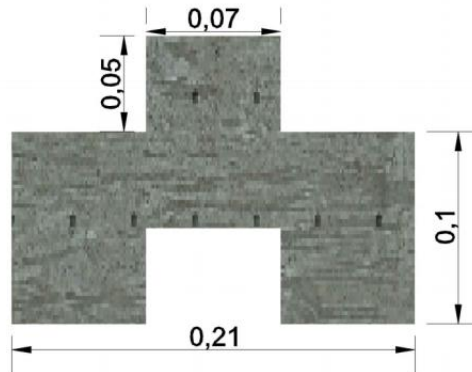


Imagen 59: Isométrico tipo lego

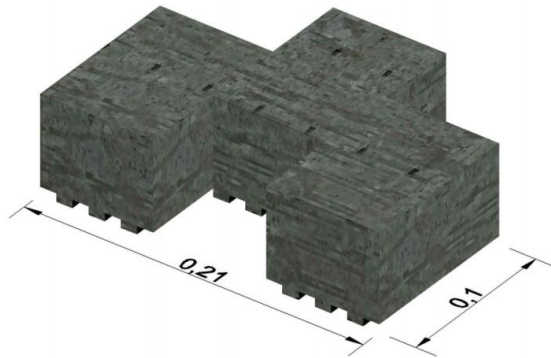


Imagen 60: Canales en cara de apoyo



Modelos de los autores

1.22 Modulaci3n propuesta

Estos tipo de adoqu3n est3n basados en un concepto b3sico del juego para ni1os lego, el cual de acuerdo a su forma encajan uno al otro compactando el sistema de forma que al igual que el juego did3ctico ofrezcan una gran resistencia en conjunto; ya que como tienen dentro de su composici3n escombros finos tiene un gran acabado en la superficie y una masa s3lida en la parte interna, evitando grietas y fracturas del mismo, de igual forma las franjas que sobresalen de la cara de apoyo, ser3n refuerzos de agarre para con la base del sistema que se compone de una arena fina, la cual compacta el adoqu3n, estos canales permitir3n el paso del agua es decir un sistema drenaje que mejora el funcionamiento del pavimento.

1.23 Maquina Vibrocompactadora

Como se necesita un m3todo r3pido y eficaz en el proceso de producci3n, para la modular el dise1o propuesto se tuvo como referente la utilizaci3n de maquinaria semiautom3tica ya que no necesitan de una gran fuente de energ3a y se podr3n acomodar y acoplar dentro de la obra, ocupando 3reas m3nimas, cumpliendo as3 con los par3metros del sistema de aprovechamiento; el equipo trata de una vibrocompactadora para la fabricaci3n de bloques y adoquines en concreto, solo necesita cambio de molde.

Funciona con dos (2) motores el3ctricos trif3sicos de 2HP a 3600 RPM, y requiere de una mezcla semihumeda ya que la modulaci3n la realiza mediante la ca3da por gravedad de una placa met3lica hacia el molde.

Esta m3quina de fabricaci3n ocupa un 3rea aprox. a los 3m² lo cual, es un punto a favor ya que minimizara espacios dentro del sistema, pudiendo ocupar otros en tareas de mayor manipulaci3n y circulaci3n ya sea de obreros o de material.

Otro beneficio de esta m3quina es que consta de un molde intercambiable lo cual no frena el 3mpetu de dise1o del constructor, ya que es una molde met3lico que puede ser elaborado con sin fin de formas, simplemente ci1ndose al ensamblaje mec3nico de la m3quina, la cual ofrece un rendimiento r3pido y con un buen acabado por su sistema de compactaci3n por gravedad.

Imagen 61: Máquina vibrocompactadora moldeadora de adoquines

Autor: Maquiblok de Colombia

Imagen tomada de <http://www.maquiblokdecolombia.com>

Imagen 62: Rendimiento de la máquina

Dimensiones	Unidades por Ciclo	Producción por hora
Bloques		
10x19x39 cms	5	300
12x19x39 cms	4	250
14x19x39 cms	3	200
20x19x39 cms	2	130
Adoquines		
Rectangular 10x20 cms	8	625
Multi T 17x13 cms	6	500
Corbatín 13x15 cms	6	500
Hexagonal 19x19 cms	4	312

Autor: Maquiblok de Colombia

Imagen tomada de <http://www.maquiblokdecolombia.com>

1.24 Fraguado y curado

Los adoquines deberán tener un fraguado regulado y vigilado ya que de este se desprenderán variables tales como la resistencia y acabado, ya que se prevendrán fragmentaciones y dilataciones del material.

1.24.1 Repisas de secado

Según notas técnicas del Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC), en su artículo No. 4-17-238 los adoquines después del proceso de modelado deben pasar a unas tablas horizontales sobre el suelo o repisas con bases horizontales de forma ascendente, donde se dispondrán los adoquines, allí podrán reposar mínimo durante 8 horas (esto con mezcla seca), hasta llegar al punto de poder ser transportados para posterior curado; Estas áreas deben estar protegidas de la lluvia y la intemperie para evitar el secado prematuro y así disminuir daños en el material.

Imagen 63: Repisas de reposo del adoquín

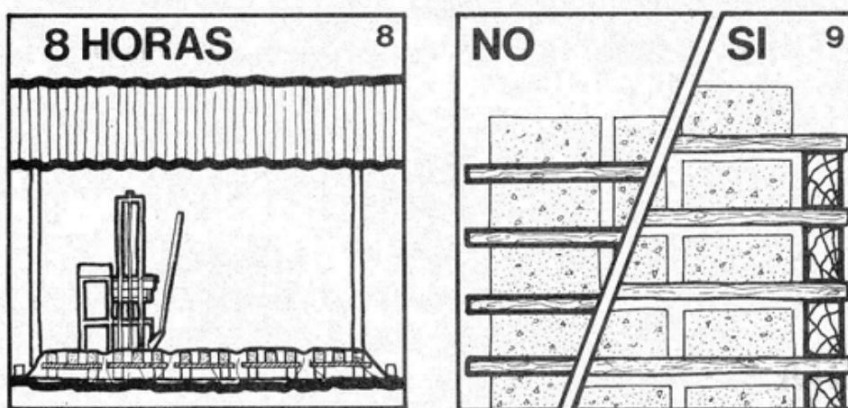


Imagen tomada de ICPC Artículo No. 4-17-238 pág. 5
Tomado de http://www.cement.co/uploads/biblioteca/NT_4-17_pdf_026

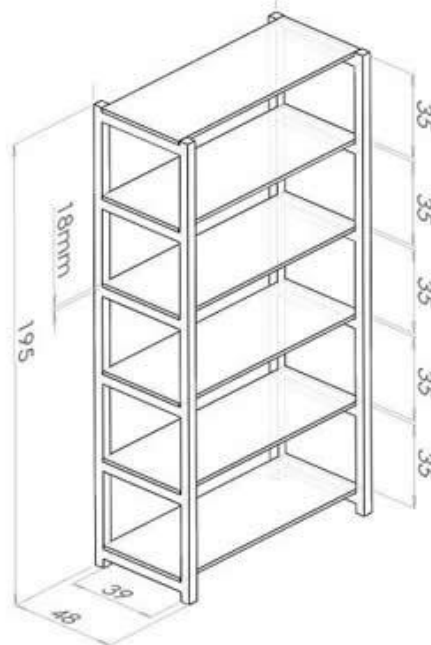
Imagen 64: Repisas comerciales

Imagen tomada de <http://www.repisaseexpress.cl>

Las repisas que se proponen para este caso, son unas piezas metálicas que permitan el transporte y movimiento de las mismas a las diferentes etapas de fraguado y secado del adoquín, dichas repisas contarán con un sistema de ruedas de transferencia, en estas el adoquín no superará las 24 horas ya que posteriormente pasarán a unas segundas de curado que se explicarán más adelante las cuales no superarán los 2 m de altura, con unas dimensiones de 2,20 m por 1,20 m, con 5 niveles transversales, alojando en cada nivel aprox. 50 adoquines para secado.

1.24.2 Curado de adoquines

El curado debe realizarse de igual forma en un área protegida de los vientos, del sol y del agua, se pueden curar por humedad constante de modo que el adoquín nunca se encuentre seco, o cubriéndolos ya sean con plásticos o sacos de fique para conservar la humedad, ya que el secado e hidratación repetida a edades tempranas afecta la resistencia de los mismos, el curado debe hacerse como mínimo por tres días y preferiblemente por 8; posterior a esto llega la etapa de reposo hasta obtener la resistencia requerida, según lo refieren en el artículo citado en la página 5.

Imagen 65: Fraguado y curado recomendado



Imagen tomada de ICPC Artículo No. 4-17-238 pág. 5
Tomado de http://www.cegment.co/uploads/biblioteca/NT_4-17_pdf_026

Como el adoquín hecho con escombros se realizara para posterior disposición en obra y según la composición de la mezcla esta contara con la resistencia exigida a los 7 días de fraguado, para colocación en pavimentos principalmente de uso peatonal, por lo que se seguirán las recomendaciones publicadas por el ICPC ya que se acoplan al sistema de aprovechamiento planteado por la presente investigación.

1.24.3 Curado del adoquín mediante un sistema de reciclaje de agua

Paso final y el de más importancia en el proceso de la fabricación del adoquín en obra, ya que como lo referíamos anteriormente de acá depende la resistencia optima y deseada por el constructor, ya que al pasar de los días, como se demostró en las pruebas dicho material aumenta sus capacidades físicas, ofreciendo un material de optimas cualidades y tal vez a un mejor precio al contratista.

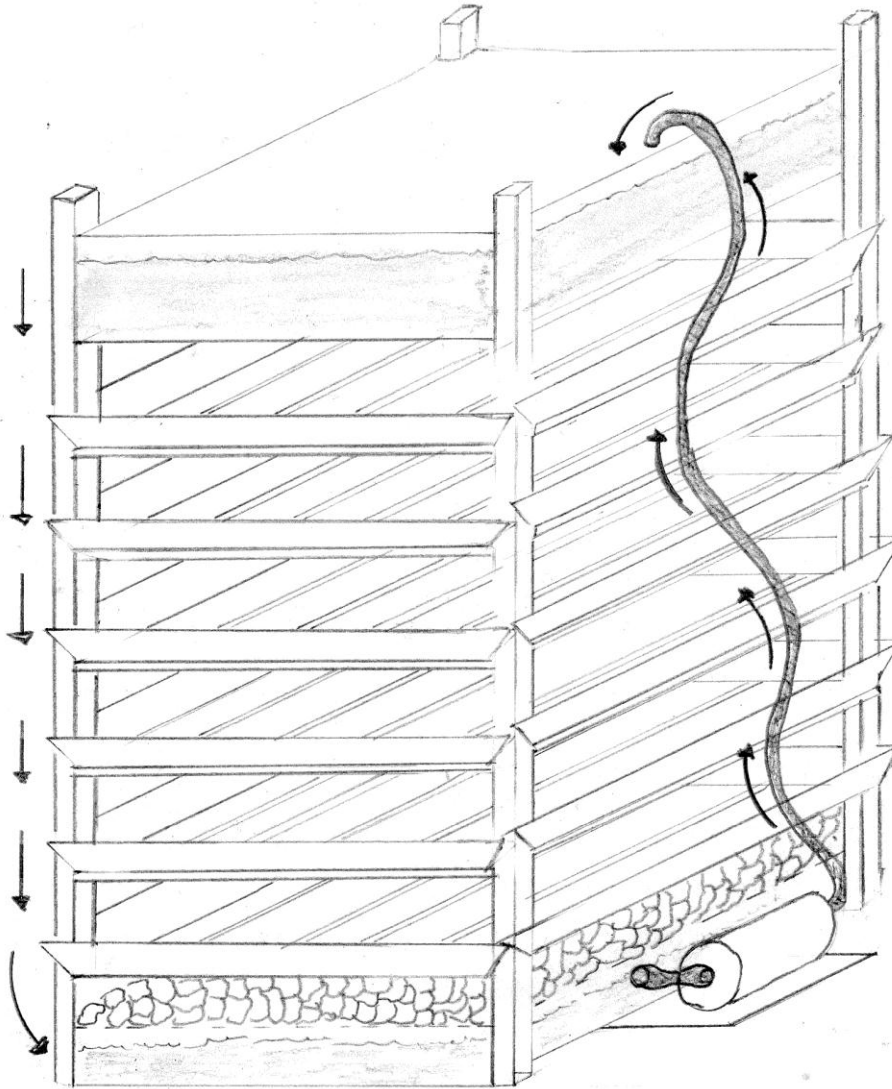
Imagen 66: Curado del adoquín mediante un sistema de reciclaje de agua

Imagen de los autores

De tal modo y siguiendo instrucciones del Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC), se opta por una hidratación constante, mediante la disposición del adoquín en unas repisas de 2.20x1.20, con el fin de que se expongan al agua que cae de la parte superior de un contenedor en forma de lluvia, para ir descendiendo por una rejillas o canales hasta un segundo contenedor ubicado en la parte inferior del mueble, con el fin de recolectar y aislar residuos sólidos con un filtro de arenas y agregado grueso, para volver a ser usada mediante una bomba que la asciende de nuevo, esto con el fin de reciclar el agua, y disminuir tanto costos como el impacto ambiental, ayudando a la sostenibilidad del proyecto

1.25 Análisis de costos

Como toda profesión u carrera que se elige, más que recibir conocimientos con cierta capacitación para determinada tarea, esta debe ser un modo de sostén social y económico, por lo que el sistema de reaprovechamiento de escombros para la elaboración del adoquín debe ser analizado desde tal aspecto, de tal modo que se hace un balance de precios de materiales y costos de elaboración, apartando de este ítem la compra de la maquinaria expuesta anteriormente, ya que existen en el mercado sin fin de opciones tecnológicas con diferentes precios dependiendo la calidad y la capacidad de producción de cada equipo, contrario a los materiales los cuales se pueden promediar sobre un coste, así generar un precio sugerido.

Se analizará el costo de 1 M² de adoquín que son aproximadamente 48 adoquines de la forma propuesta en la modulación; se pondrá en consideración la compra de materiales al menudeo, es decir en ferreterías barriales o en almacenes de cadena (al por menor), y ya para estructuras y compras por contratistas para grandes proyectos (al por mayor)

Tabla 10: Análisis de materiales para 1m² de adoquín al por mayor

ÍTEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	VALOR TOTAL
1	MATERIALES					
1.1	CEMENTO PORTLAND	Kg	18.0	430	7740	
1.2	CAL HIDRATADA	Kg	10.0	850	8500	
1.3	AGUA	Kg	15.6	0.00251	39.45	
TOTAL						16249.45

Realizada por los autores

Tabla 11: Análisis de materiales para 1m² de adoquín al por menor

ÍTEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	VALOR TOTAL
1	MATERIALES					
1.1	CEMENTO PORTLAND	Kg	18.0	520	9360	
1.2	CAL HIDRATADA	Kg	10.0	1100	11000	
1.3	AGUA	Kg	15.6	0.00251	39.45	
TOTAL						20399.45

Realizada por los autores

En las anteriores tabla se observa los precios de los materiales a utilizar en la fabricación del adoquín, excluyendo los escombros de construcción reciclados, los cuales reemplazan los agregados tanto finos como gruesos en la mezcla, y ya que son recuperados dentro de la obra no se toman en cuenta en la parte de costos en esta etapa; se nota una disminución de precios en cuanto a la adquisición de tales materiales en grandes cantidades, los cuales se consideran según indagaciones en las obras visitadas en un pedido de más de 10000 bultos dependiendo el material.

A continuación se hará una comparación entre el adoquín realizado con escombros dentro de la obra y adoquín con características similares que se ofrece comercialmente, frente a 1 m² sin mano de obra, ya que este coste se dará dependiendo los m² a instalar y al rendimiento del obrero que los dispondrá; También se podrá asumir un precio aproximado de la unidad calculando el rendimiento de los materiales y su precio por Kilo expuesto anteriormente, teniendo como base que para cada unidad de adoquín se requiere un promedio de 3 Kg de la mezcla.

Como punto de partida se toma dos obreros para la fabricación del adoquín pero esto dependerá de la cantidad de escombros de la obra, y de las unidades que se requieran.

Tabla 12: M² adoquín reciclado

ÍTEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	VALOR TOTAL
1	ADOQUÍN	UNIDAD	48	340	16320	
TOTAL						16320

Realizada por los autores

Tabla 13: M² adoquín comercial (CICLOMAT)

ÍTEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	VALOR TOTAL
1	ADOQUÍN	UNIDAD	50	544	27200	
TOTAL						27200

Realizada por los autores

Tabla 14: Mano de obra

ÍTEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	VALOR TOTAL
1	MANO DE OBRA	DIA 8 HORAS	2	35000	70000	
TOTAL						70000

Realizada por los autores

Un metro cubico son aproximadamente 1900 kg de mezcla, de los cuales se pueden elaborar 816 adoquines.

CONCLUSIONES

El adoquín en concreto se puede elaborar directamente en las diferentes obras, mediante un sistema de reciclaje, desde que se cuente con un área mínima de 70 m² para el montaje de maquinaria la cual está constituida de máquinas tales como la trituradora, vibro compactadora, mezcladora y las repisas para que reposen los adoquines, por lo que no serán aptas para obras de menos de 1000 m², ya que se debe tener en cuenta del mismo modo la generación de escombros, la cual se consideró de 0.21 m³ de residuos aprovechables por m² construido, por lo que una obra de menor área, primero no contaría ni con el espacio para ensamblar el adoquín elaborado, ni con el área suficiente para montar el sistema.

La caracterización y análisis de los escombros permitió conocer primero cual es el de mayor generación dentro de las obras siendo este los elementos cerámicos, seguido por los residuos de concreto, escombros óptimos ya que presentan una homogeneidad física, para proseguir con el reciclaje de los mismos, facilitando su proceso de separación y limpieza de elementos extraños como el metal y plásticos.

El proceso de trituración mecanizado es el más óptimo dentro del sistema de reaprovechamiento de escombros ya que no necesita ser operado por más de dos obreros ya que la mayor fuerza se realiza en la disposición previa a este paso, por lo que se ahorra primero mano de obra calificada, tiempo y costos en cuanto a una trituración externa.

El sistema se tiene que incluir desde la programación de la obra ya que se deben definir las áreas que se dispondrán para tal tarea, es imprescindible esta inclusión desde el principio ya que se trata de un sistema planificado que no retrase ni se interponga en continuidad del proyecto.

El reciclaje de escombros de construcción para posterior fabricación del adoquín en obra, es una motivación no solo en pro del medio ambiente ya que disminuiríamos la disposición final en escombreras, sino también es un incentivo legal y económico, lo primero ya que se estará cumpliendo 10% que se exige de reaprovechamiento de escombros, tal y como lo menciona el decreto 2397 en la ciudad capital, y en lo económico disminuyendo gastos de transporte los cuales oscilan entre \$16.000 y \$ 20.000 pesos por metro cúbico de material.

La utilización de residuos gruesos y finos en la mezcla, ofrecen capacidades físicas de compactación, aminoramiento en la porosidad, y acabados en superficies más finos.

De acuerdo a las mezclas propuestas, la mejor fue la descrita como la numero dos, ya que obtuvo óptimos resultados en las pruebas de flexotracción y compresión, superando lo establecido en la NTC 2017, la cual determina un mínimo de 4,2 Mpa. De igual forma se acerca a la mezcla numero 3 la cual se le incorporo más cemento portland, siendo esta la más resistente pero en cuanto lo económico menos viable ya que necesita la compra de más aglomerante.

Se hace necesario la utilización de la maquinaria propuesta o una similar ya que por la generación en términos de porcentaje es esta la idónea en cuanto a rapidez, y a mayor escala de producción, en factor económico ya que necesita de mano de obra medianamente calificada.

Para la elaboración de los adoquines en la maquina con moldes metálicos, y por compresión a gravedad, se hace necesaria una mezcla semihumeda, ya que el método es similar a la de un BTC, (bloque de tierra comprimida)

El sistema de fabricación necesitara de un espacio cubierto, primero para la protección de las maquinas, y segundo ya que la mezcla necesita estar en el periodo de fraguado y curado lejos de contaminaciones externas, estas cubiertas pueden ser plástica o con carpas, similares a las de los campamentos, por lo que va de la mano e uno de los factores de viabilidad, "materiales de obra para la obra".

Recomendaciones

Es paso imprescindible capacitar a obreros sobre el sistema de reciclaje selectivo desde la misma etapa de producción del escombro, para disminuir tiempos y mano de obra en cuanto a la implementación del sistema de aprovechamiento.

Se hace necesario realizar las mezclas con más cal hidratada, ya que para la presente se tomó como apoyo del cemento portland, y no se pudo poner a prueba sus capacidades físicas, por si solas; Se hace tal recomendación ya que la cal es más económica y tiene variantes físicas a las del cemento portland.

Es recomendable indagar sobre formas alternas de la realización y modulación del adoquín, se debe experimentar mediante moldes que necesiten de una preparación manual, así se podrá disminuir en la compra de maquinaria.

Para la presente investigación no se tuvo como punto importante la altura del adoquín por lo que se recomienda optar por mezclas con menos cemento portland, y una mayor altura, de más de 5 cm, ya que se podrán tener mejores resultados en compresión y flexotracción.

La incorporación de materiales no áridos como el metal y el plástico a la mezcla ofrecerán capacidades de flexión al adoquín, por lo que es recomendable añadir tales fibras en mezclas futuras, basándose claro en estudios anteriores ya que hay bastantes referentes y estudios acerca del tema

Bibliografía

Ferreira, J. (2009). Aprovechamiento de escombros como agregados no convencionales en mezclas de concreto, (tesis de pregrado) Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, Colombia.

Escobar, D. & Giraldo, S. (2013). Análisis de las propiedades mecánicas del suelo a partir de la mezcla con residuos de la construcción, (tesis de pregrado) Escuela de ingeniería de Antioquia, Colombia.

Salazar A. (2005) Producción de eco materiales con base en residuos sólidos industriales y escombros de construcción, (tesis de pregrado) Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Salgado, C. (2009). Diagnóstico sobre estado y manejo de escombros en el Distrito Capital Bogotá; estudio de caso escombrera reserva ecológica privada la fiscalía, (tesis de pregrado) Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Cabo, M. (2011) Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción (tesis de pregrado) Universidad Pública de Navarra, Navarra, España.

Bran, A. (2011). Propuesta para el manejo integral de los residuos de la construcción y la demolición: caso de aplicación, Medellín Antioquia (Tesis de pregrado) Universidad de San Buenaventura, Medellín, Colombia.

Cárcamo, G. (2009). Gestión interna de los residuos sólidos producidos en las obras de construcción de tipo urbanístico utilizando como herramienta tecnológica de ayuda los sistemas de información geográfica. (Trabajo para grado de Magister) Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Novas, J. (2010). Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países en desarrollo (trabajo para grado de Máster), Universidad Politécnica de Madrid, España.

Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional del Valle de Aburra (2003), Formulación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional del Valle de Aburrá – PGIRS regional, convenio 324 de 2014. Recuperado de <http://www.udea.edu.co/>.

Gestión Integral de escombros, (2009) Anteproyecto para gestionar RC&D en el Distrito Capital. . Recuperado de: <http://uaesp.gov.co/>

Aguilera, A. (1997) Material de última generación y material eficiente: Reciclaje de residuos de construcción y demolición (Proyecto Final de Master) Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, España.

Barroso, G. & Gómez, C. (2011). Análisis de la incorporación de materiales reciclados de los residuos de la construcción para ser usados como agregados en elementos estructurales o no estructurales, (Tesis de pregrado) Universidad de Oriente. Bolívar, Venezuela.

Consorcio Interventores y Constructores.(12 de enero de 2011). Propiedades y Ventajas especiales del ladrillo[Esta página fue creada por alumnos del Sena (centro de la construcción) de la ciudad de Santiago de Cali en la especialización técnica en Interventoría de Obras Civiles y Edificaciones]. Recuperado el 22 de noviembre de 2014, de <http://especialistasciviles.blogspot.com/>

Resolución no. 01138. Por la cual se adopta la guía de manejo ambiental para el sector de la construcción y se toman otras determinaciones, 30 de Julio de 2013.

Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo.11 de Julio de 1994.

Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos, 18 de Diciembre de 1974.

Acuerdo no. 098 de 2010, Por medio del cual se dictan normas para el manejo integral de escombros en Bogotá d.c., y se dictan otras disposiciones, Abril de 2009.

Villamizar, L. (2014) Construcción, otro sector en la onda verde, revista pesquisa, Volumen (27).

Administración Petro, capítulo 3. (2012) Documento de debate gestión de residuos sólidos y reciclaje. Recuperado de <http://www.concejodebogota.gov.co>

Hernández, L. & Grettel, A. (2008) Manejo de los desechos en proyectos de construcción etapa 2, Tecnología en Marcha, Volumen (21 No 4) pp 60-63.

Bedoya M. (2011), Construcción sostenible para volver al camino, recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3738/>

Bedoya M, (2003), El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles, trabajo presentado como requisito para optar al título de Magíster en Hábitat, recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3477/1/98589947-2003.pdf>.

Chávez P, Guarín C, Cortes D, (2013) Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Determinación De Propiedades Físico-Químicas De Los Materiales Agregados En Muestra De Escombros En La Ciudad De Bogotá D. C, recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf>

Arq. BORSANI M, (2011) Materiales ecológicos, estrategias, alcance y aplicación de los materiales ecológicos como generadores de hábitats urbanos sostenibles, libro, recuperado de <http://upcommons.upc.edu>