

USO DE LOSETAS PREFABRICADAS CON MATERIAL RECICLADO DE ACUERDO A  
LAS ESPECIFICACIONES DEL MANUAL PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL  
ESPACIO PÚBLICO EN BUCARAMANGA.

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.

JHERSON MAURICIO SUAREZ SANTOS

AMILKAR FABIAN PEDRAZA BARRERA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2013

USO DE LOSETAS PREFABRICADAS CON MATERIAL RECICLADO DE ACUERDO A  
LAS ESPECIFICACIONES DEL MANUAL PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL  
ESPACIO PÚBLICO EN BUCARAMANGA.

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.

JHERSON MAURICIO SUAREZ SANTOS

AMILKAR FABIAN PEDRAZA BARRERA

Tesis de grado como requisito para optar  
al título de Ingeniero Civil.

DIRECTOR

ALDEMAR REMOLINA MILLAN

MSc. Ingeniero Civil.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2013

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bucaramanga, Noviembre de 2013.

**Este libro va dedicado a Dios, a mis padres, Mauricio y María Eugenia, mi hermana Jenny, mis abuelos y a mi familia por todo el apoyo y el cariño brindado en el transcurso de mi formación profesional.**

JHERSON MAURICIO SUAREZ SANTOS

**Este importante logro en mi vida se lo dedico a mis padres que son el motor de mi vida que junto a mis hermanos me apoyaron incondicionalmente para alcanzar mí sueño de ser un ingeniero civil.**

FABIAN PEDRAZA BARRERA

## **AGRADECIMIENTOS.**

Agradecemos a Dios por darnos la fuerza para afrontar todas las adversidades durante el proceso de formación profesional.

A nuestros padres que con mucho esfuerzo y sacrificio nos apoyaron incondicionalmente y a todos los familiares que al transcurso de nuestros estudios estuvieron junto a nosotros.

Al director de nuestra tesis el ingeniero Aldemar Remolina por brindarnos su apoyo, sus conocimientos, su valioso tiempo y sabiduría.

A la ingeniera Luz Marina Torrado que nos brindó su apoyo en lo referente al laboratorio, y a su equipo profesional Don Vicente Paéz y Edwin Rangel.

A todos los docentes de la facultad que con amor y dedicación nos ayudaron a mejorar en todos los aspectos de nuestras vidas.

JHERSON MAURICIO SUAREZ SANTOS

FABIAN PEDRAZA BARRERA

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	OBJETIVOS.....	2
1.1.1.	Objetivo General.....	2
1.1.2.	Objetivos Específicos.....	2
1.2.	JUSTIFICACIÓN.....	3
2.	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.	CONCRETO .....	5
2.2.	EL CONCRETO RECICLADO .....	6
2.3.	Generación de residuos de construcción y demolición.....	7
2.4.	CEMENTO.....	8
2.4.1.	Tipos de cemento .....	9
2.4.2.	Agua .....	10
2.5.	Propiedades físicas de los agregados .....	10
2.6.	Propiedades del concreto endurecido.....	13
2.7.	Losetas prefabricadas de acuerdo al Manual para el diseño y construcción del espacio público en Bucaramanga.....	14
3.	CARACTERIZACIÓN DE LOS ESCOMBROS GENERADOS POR LA CONSTRUCCIÓN EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.....	16
3.1.	Identificación de los residuos.....	16
3.2.	Separación y reciclaje primario.....	17
3.3.	Trituración del material reciclado.....	18
3.4.	Cargue y transporte del triturado.....	19

3.5.	Caracterización de los escombros .....	20
4.	COMPROBACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL PREFABRICADO.....	29
4.1.	CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS .....	29
4.1.1.	Granulometría de agregados gruesos y finos. ....	29
4.1.2.	Densidad y absorción de los agregados. ....	30
4.1.3.	Masa Unitaria.....	31
4.1.4.	Desgaste en la máquina de los ángeles. ....	31
4.1.5.	Contenido de materia orgánica. ....	33
4.1.6.	Peso específico del cemento. ....	33
4.2.	Resultados de la caracterización de los agregados.....	34
4.2.1.	Densidad del cemento. ....	35
4.2.2.	Análisis de Granulometría.....	35
4.3.	DISEÑO DE LA MEZCLA .....	39
4.3.1.	Resultados del concreto en estado plástico.....	41
4.3.2.	Ajuste por asentamiento. ....	41
4.3.3.	Determinación de la mezcla de agregados con el menor porcentaje de vacíos. ....	41
4.4.	ELABORACIÓN DE PROBETAS Y LOSETAS PREFABRICADA.....	42
4.5.	ENSAYOS MECÁNICOS DEL CONCRETO RECICLADO.....	46
4.5.1.	Resistencia a la compresión. ....	46
4.5.2.	Resistencia a la flexión. ....	47
4.5.3.	RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	48

5.	COMPARACIÓN DE COSTOS.....	53
5.1.	Metodología. ....	53
5.2.	Análisis costo y beneficio.....	53
5.3.	Costos del concreto reciclado y el concreto normal.....	54
6.	ANALISIS DE RESULTADOS .....	57
6.1.	Caracterización de los escombros generados por cinco proyectos de construcción en el Área Metropolitana de Bucaramanga.....	57
6.2.	Caracterización de los materiales.....	58
6.2.1.	Densidad del cemento. ....	58
6.2.2.	Porcentaje de vacíos. ....	58
6.3.	Análisis económico.....	59
6.4.	Resultado de resistencia a compresión de especímenes de concreto reciclado.....	59
7.	CONCLUSIONES.....	60
8.	RECOMENDACIONES.....	61
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composición básica de los residuos de demolición.....	7
Figura 2. Manual para el diseño y construcción del espacio público en Bucaramanga. [13] .....	15
Figura 3. Escombros generados de una edificación .....	16
Figura 4. Material reciclado y utilizado como agregado. ....	17
Figura 5. Trituración del material reciclado. ....	18
Figura 6. Recolección del triturado. ....	19
Figura 7. Composición de los residuos provenientes de los proyectos de construcción estudiados. ....	20
Figura 8. Escombros de mampostería .....	21
Figura 9. Escombros generados en la obra. ....	22
Figura 10. Escombros compuestos de mampostería, mortero y madera.....	23
Figura 11. Residuos generados por la construcción de una edificación. .	24
Figura 12. Volumen insignificante de escombros.....	25
Figura 13. Escombros útiles para reconfiguración morfológica.....	26
Figura 14. Lugar de almacenamiento de escombros. ....	27
Figura 15. Mezcla de escombros generados. ....	28
Figura 16. Granulometría.....	30
Figura 17. Granulometría del agregado fino. ....	36
Figura 18. Granulometría del escombros fino.....	37
Figura 19. Granulometría del escombros grueso.....	38
Figura 20. Elaboración de cilindros y losetas con concreto reciclado .....	43
Figura 21. Elaboración de losetas prefabricadas con molde de madera. ....	44

Figura 22. Fraguado de cilindros y losetas prefabricadas.....	45
Figura 23. Ensayo a compresión. ....	46
Figura 24. Ensayo Flexión. ....	47
Figura 25. Ensayo de flexión.....	48
Figura 26. Resistencia de los especímenes. ....	50
Figura 27. Módulo de rotura de las losetas prefabricadas. ....	52
Figura 28. Composición de los residuos provenientes de las constructoras estudiadas. ....	57
Figura 29. Histogramas de Frecuencias concreto reciclado. ....	59

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de cemento.....	9
Tabla 2. Granulometrías de la muestra de agregado para ensayo .....	32
Tabla 3. Carga abrasiva.....	32
Tabla 4. Contenidos de Materia Orgánica. ....	33
Tabla 5. Resultados de los ensayos realizados a los agregados y escombros. ....	34
Tabla 6. Tamaño máximo nominal, módulo de finura de los agregados.....	35
Tabla 7. Tabla de resultados de asentamiento y peso unitario.....	41
Tabla 8. Resistencia a compresión a los 28 días.....	49
Tabla 9. Resultados de los ensayos módulo de rotura en las losetas prefabricadas.....	51
Tabla 10. Análisis de precio unitario del reciclado y trituración de escombros. ....	54
Tabla 11. Análisis de Precio Unitario para un metro cúbico de concreto reciclado. ....	55
Tabla 12. Análisis de Precio Unitario para un metro cúbico de concreto normal.....	56
Tabla 13. Porcentaje de vacíos obtenidos en la mezcla .....	58

## LISTAS DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula de la densidad.....	11
Ecuación 2. Fórmula de la absorción.....	12
Ecuación 3. Ecuación del peso específico.....	34
Ecuación 4. Ecuación del módulo de rotura.....	47

## RESUMEN

**TÍTULO:** USO DE LOSETAS PREFABRICADAS CON MATERIAL RECICLADO DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES DEL MANUAL PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ESPACIO PÚBLICO EN BUCARAMANGA. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.

**AUTORES:** JHERSON MAURICIO SUAREZ SANTOS

AMILKAR FABIAN PEDRAZA BARRERA

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Civil.

**DIRECTOR:** ALDEMAR REMOLINA MILLAN

El presente trabajo ha evaluado el análisis técnico del uso de material reciclado como agregado grueso y fino en la fabricación de losetas prefabricadas.

Con la Evaluación Técnica se han determinado las propiedades físico-mecánicas del concreto reciclado (Caracterización de materiales, Resistencia a la compresión, Resistencia a la Flexión y Módulo de Elasticidad) lo cual permite establecer si estas son adecuadas a las aplicaciones o posibles usos del concreto reciclado para elaborar losetas de acuerdo a las especificaciones del Manual para el diseño y construcción del espacio público en Bucaramanga.

La Evaluación de costos permitió determinar la inviabilidad de utilizar este tipo de material, puesto que en la caracterización de los escombros se evidenció una serie de problemas al momento de reciclarlos, como la separación, la contaminación de los mismos y las condiciones del mercado.

**PALABRAS CLAVE:** Escombros, Material reciclado en construcción, losetas prefabricadas.

## **ABSTRACT**

**TITLE:** USE OF RECYCLED MANUFACTURED TILES IN ACCORDANCE TO THE MANUAL SPECIFICATIONS DESIGN AND CONSTRUCTION OF BUCARAMANGA PUBLIC SPACE. FEASIBILITY ANALYSIS.

**AUTORS:** JHERSON MAURICIO SUAREZ SANTOS

AMILKAR FABIAN PEDRAZA BARRERA

**FACULTY:** Civil Engineering.

**DIRECTOR:** ALDEMAR REMOLINA MILLAN

The present study has evaluated the technical analysis of using recycled material as coarse and fine aggregate in the manufacture of prefabricated tiles.

With the Technical Evaluation are determined physical and mechanical properties of recycled concrete such as Materials Characterization, Compressive Strength, Flexural Strength and Modulus of Elasticity are determined. This allows to establish if they are suitable to applications or potential uses of concrete recycled to produce tiles according to the specifications of the Manual for the design and construction of public space in Bucaramanga.

The cost evaluation helped to determine the infeasibility in order to use this kind of material, since the characterization of the debris revealed a number of problems when recycling the debris, such as separation, pollution and market conditions.

**KEYWORDS:** Rubble, Recycled content in construction, prefabricated tiles.

## 1. INTRODUCCIÓN.

La construcción de obras civiles es un elemento dinamizador del desarrollo de las regiones, que implica poseer un compromiso sostenible y de responsabilidad social. Esto es reflejado en la construcción sostenible, como es el caso de edificios verdes teniendo como concepto la utilización razonable de los recursos, contemplando el reciclaje de productos de demolición y optimización de recursos.

Actualmente la actividad de la construcción genera mayor demanda de materiales y de escombros en relación con los procesos de demolición y construcción de obras civiles [1]. Según estimaciones de Vieira se genera de 2 a 3 billones de toneladas de escombros por año en todo mundo. En países europeos, como Alemania y en Europa Oriental, aproximadamente dos tercios de los residuos de construcción generados son provenientes de obras de construcción y demolición. En países donde el desenvolvimiento es acelerado, el porcentaje de generación tiende a aumentar, dada las necesidades de aumentar el ambiente construido. [2]

Los materiales que son utilizados como agregados son extraídos de canteras o ríos, generando impactos negativos como la afectación de la calidad del agua y de los suelos. [3] Sin embargo la construcción no sólo genera impactos en la explotación de los recursos, sino en la generación de escombros, éstos originan un impacto ambiental negativo sobre los suelos y el paisaje local indeseable y potencialmente evitable. [4]

No obstante a pesar de la necesidad de reciclar los residuos existen diferentes incertidumbres que limitan el uso de concreto reciclado como la variación de la composición de los agregados y su influencia en las propiedades del concreto, además de la falta de conocimiento sobre el comportamiento estructural de elementos construidos con concreto reciclado. [5]

Partiendo de la necesidad de proveer una solución a la disposición final de los residuos provenientes de la construcción y demolición y en concordancia con las tendencias de reciclaje de concreto que se han venido afianzando a nivel mundial, procede la iniciativa de llevar a cabo una investigación que permitiera determinar la viabilidad técnica y la evaluación de costos de reciclar el concreto y utilizarlo como agregados en la fabricación de losetas destinadas al espacio público del Área Metropolitana de Bucaramanga.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo General.**

- Analizar la factibilidad del uso de losetas prefabricadas elaboradas de concreto reciclado mediante el aprovechamiento de residuos de la construcción y demolición, de acuerdo a las especificaciones del Manual para el diseño y construcción del espacio público en Bucaramanga.

### **1.1.2. Objetivos Específicos.**

- Realizar la caracterización de los escombros generados por la construcción en el Área Metropolitana de Bucaramanga.
- Comprobar los estándares de calidad del prefabricado mediante ensayos físico-mecánicos basándose en la normativa del Manual para el diseño y construcción del espacio público en Bucaramanga.
- Comparar los costos y la calidad entre losetas prefabricadas convencionalmente y losetas con agregados reciclados.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN.

La generación de escombros está sujeta a los proyectos de construcción, convirtiéndose en problemática ambiental y urbana, si no se le da el adecuado manejo. Se estima que los residuos de demolición edificio incrementarán de 8 millones de toneladas a 32 millones de toneladas: un aumento del 36%. Si esta cifra se eleva más de 33%-50% (como una estimación de orden general para la contribución de los residuos de ingeniería civil). En general, en la Unión Europea, 500 kg de escombros de construcción y demolición corresponden al año por cada ciudadano [6]

En Europa, Japón y otros países desarrollados, el reciclaje de materiales de construcción se inicia desde a finales de la Segunda Guerra Mundial, cuando se utilizaron ladrillos y otros materiales, que fueron recuperados de las ruinas de la guerra, para la reconstrucción. Sin embargo, excepto en Japón, el reciclado de los residuos de construcción y demolición como un medio de uso sostenible de los materiales, se inició en Asia sólo actualmente. [7]

El reciclaje de concreto se vincula directamente con el aumento de las estructuras de demolición, la demanda de nuevas estructuras y los resultados de destrucción por fenómenos naturales. De esta forma actualmente la construcción de obras tiene en cuenta parámetros como la protección de recursos naturales, la conciencia ambiental y el desarrollo sostenible, pues la construcción genera el 50% del total de los residuos y consume el 40% de la energía total. Reflejado en unos de los materiales indispensables en la construcción como el concreto que consume altas cantidades de materias primas y de energía para su producción, transporte y disposición final.

El uso de agregados de concreto reciclado en las obras de construcción es un tema de alta prioridad en la industria de la construcción en todo el mundo, así por el ejemplo el 10% de los agregados en Gran Bretaña son de concreto reciclado, 20 % en Holanda y en Alemania se han fijado desde 1991 el reciclaje de residuos de construcción y demolición. [8]

La presencia de escombros es un factor común en proyectos de infraestructura y su mala disposición causa impactos negativos al medio ambiente. Parte de estos escombros pueden ser recuperados y reutilizados para la elaboración de elementos estructurales como losetas que reducen los costos de la infraestructura pública, recursos energéticos e impactos ambientales negativos.

El presente proyecto se centra en la elaboración de losetas con concreto reciclado basándose en el Manual para el diseño y construcción del espacio público en Bucaramanga. Para este fin se recurre al aprovechamiento de residuos como agregados caracterizándolo por medio de ensayos; de esta manera reutilizando

material constructivo, para el diseño de una mezcla de concreto implementando los procedimientos del I.C.P.C de dosificación de mezclas de concreto. Se procedió a analizar la factibilidad del uso de prefabricados no convencionales en espacios públicos, de acuerdo a los resultados de especímenes de concreto ensayados a los veintiocho (28) días. De modo que contribuye a la disminución de costos en la construcción de espacio público, y la reducción del impacto ambiental.

## 2. MARCO TEÓRICO.

### 2.1. CONCRETO

El concreto es una mezcla de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena y agua. El mortero es constituido por el cemento, la arena y el agua, cuya función es unir las diversas partículas de agregado grueso llenando los vacíos entre ellas.

Para la obtención de concreto de calidad no sólo es necesario mezclar los materiales en proporciones correctas, se debe tener en cuenta factores como el proceso de mezclado, transporte, colocación o vaciado y curado. [9]

Factores en el diseño de la mezcla como la economía, la facilidad de colocación y consolidación, la velocidad del fraguado, la resistencia, la durabilidad, la impermeabilidad, el peso unitarios, la estabilidad y apariencia adecuada; dependen de la destinación del concreto y sus condiciones deseadas en el instante de su colocación. [10]

Los agregados son aquellos materiales granulares obtenidos de canteras o fuentes hídricas superficiales; como la arena, la grava, piedra triturada, que junto al cemento forman morteros o concretos (ASTM C125). La resistencia y la durabilidad del concreto son afectadas por la forma, textura y angularidad entre otras características del material pétreo.

A pesar de la versatilidad y la economía en la fabricación y la diversidad de destinos del concreto, que permiten ser un material indispensable en la construcción, presentan unas debilidades que desde el punto de vista ambiental, son críticas. Estas son:

- Para la fabricación del concreto se necesitan materias primas no renovables, principalmente agregados, los cuales ocupan más del 70 % del total de la masa.
- En el caso colombiano la extracción de las materias primas deterioran el medio ambiente al afectar la flora y la fauna de los lugares en los cuales se extrae la materia prima, causando daños irreversibles en el paisaje y los suelos.
- La extracción de estos agregados también produce contaminación en el aire que puede causar infecciones de respiración aguda a las personas que afecta el área de extracción eólica.
- Emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente.

Por las razones anteriores es necesario el diseño de nuevos materiales o de nuevas formas de obtener los materiales que sea acorde con la construcción sostenible. [11]

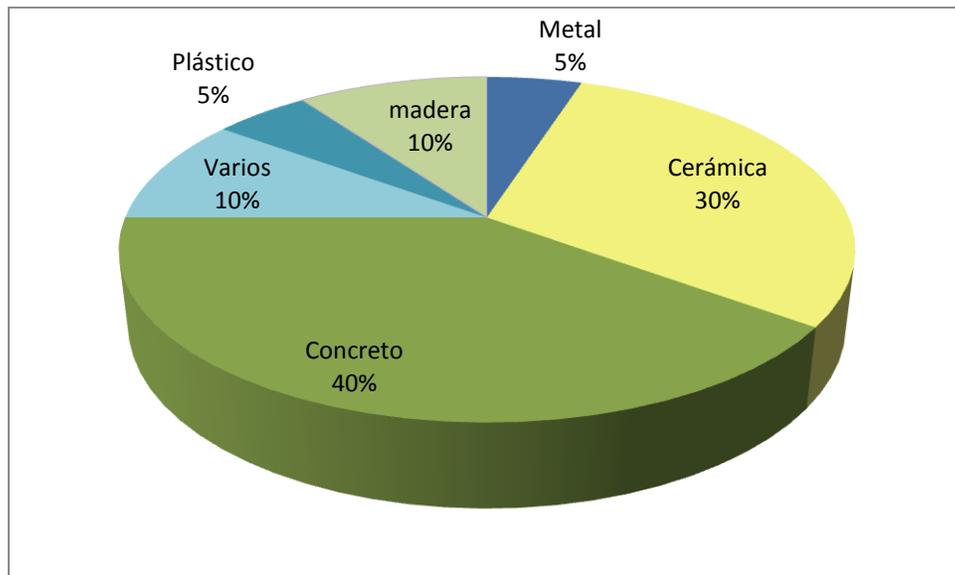
## **2.2. EL CONCRETO RECICLADO**

El concreto reciclado es aquel concreto fabricado con agregados reciclados o una mezcla de agregado reciclado y agregado natural, es decir es el concreto cuyo agregado provenga parcial o completamente de granulados de concreto.

Hoy en día producción y el uso de concreto reciclado es una necesidad. Las condiciones adecuadas para la construcción de grandes infraestructuras que demandan grandes cantidades de materia prima no renovable. Se puede mencionar algunos puntos que favorecen la producción y el uso de agregados de concreto reciclado:

- La protección de las fuentes naturales del país, que son finitas y costosas.
- Disminución de los altos volúmenes de residuos de concreto, que terminan ilegalmente en zonas no controladas.
- El objetivo del desarrollo sostenible que implicar una relación equilibrada entre el hombre y la naturaleza.

Según Oikonomou el porcentaje aproximado de diversos materiales de construcción en los residuos de demolición se presenta en la figura 1, donde los valores fueron estimados. [8]



**Figura 1. Composición básica de los residuos de demolición.**

Fuente: OIKONOMOU, Nik, et al. Recycled concrete aggregates. [8]

### 2.3. Generación de residuos de construcción y demolición

Las ciudades del mundo, sin distinción alguno de su grado de desarrollo, experimentan dos problemas que además de crecientes, ocasionan presiones y coyunturas ambientales de alta significación para su óptimo desenvolvimiento. Ellos son: la contaminación del aire por el transporte urbano y la generación de residuos a todo nivel. Dentro del segundo aspecto, la generación de residuos a todo nivel, se encuentran cobijadas las actividades de la construcción y la demolición.

Al ejecutar un puente, una vía o un edificio, se llevan a cabo actividades de movimiento de tierra y excavaciones. En estas actividades se generan los primeros residuos de la obra. Luego se producen otro tipo de residuos que son catalogados como inertes y pétreos, Bedoya identifica las siguientes tipologías [11]:

- Restos de concreto.
- Restos de ladrillo y mortero de pega.
- Restos de material cerámico.
- Restos de tuberías plásticas.
- Madera.
- Empaques de materiales.

Debido a que Colombia y parte de América Latina utiliza técnicas similares de construcción los residuos de concreto y de ladrillo y mortero de pega son comunes.

En la demolición de obras antiguas o que han sufrido daños irreparables por causas externas, se generan obviamente cantidades de residuos que suelen ser más variados. Residuos como el manto asfáltico, fibro-cemento, aluminio y morteros de revoque son más difíciles de tratar que los producidos en la construcción no se demuele selectivamente, sino que se vierten a un mismo sitio, contaminando los susceptibles de ser aprovechados y disminuyendo así la posibilidad de su reciclaje o reutilización. [11]

## **2.4. CEMENTO**

El cemento es indispensable en la construcción, se caracteriza por su economía y versatilidad, por ello el cemento está presente en gran cantidad de aplicaciones.

El cemento Portland que reacciona con la presencia de agua mediante reacciones químicas que permiten que fragüe y endurezca, de esta forma convirtiéndolo en un material con óptimas propiedades aglutinantes.

Para lograr un concreto de calidad no sólo es necesario poseer un adecuado cemento, sino para efectos de su durabilidad, lograr un buen diseño del concreto (dosificación apropiado, relación agua-cemento apropiado, granulometría de los agregados) y una correcta ejecución del mismo (transporte, mezclado, vertido, compactación, curado, protección) que garanticen una suficiente densidad, compacidad e impermeabilidad.

Para la fabricación de cemento es posible utilizar tanto minerales de origen natural como productos industrializados. Como materiales de base sirven sustancias minerales, que contienen los componentes principales del cemento: cal ( $\text{CaO}$ ), sílice ( $\text{SiO}_2$ ), alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y óxidos de hierro para controlar su composición. Éstos componentes generalmente son mezclados y encontrados entre sí por elementos que lo contengan considerablemente como la caliza y la arcilla o la caliza y la marga. [10]

### 2.4.1. Tipos de cemento

Existen gran variedad de tipos de cemento teniendo diferentes composiciones químicas y características entre sí, es importante al momento de diseñar una mezcla especificar cuál es el tipo de cemento que se usa.

**Tabla 1. Tipos de cemento.**

<b>TIPOS DE CEMENTO PORTLAND</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Portland tipo 1	Cemento normal, de uso general en cualquier obra de ingeniería.
Portland tipo 2	Cemento modificado resistente a la acción de los sulfatos y moderador de hidratación.
Portland tipo 3	Cemento recomendado cuando se necesita una temprana resistencia en cualquier situación de una construcción.
Portland tipo 4	Cemento que posee calor de hidratación relativamente bajo.
Portland tipo 5	Cemento usado cuando existe exposición alta a los sulfatos.
Blanco	Cemento igual al portland normal pero de color blanco
Portland tipo 1A	Cemento igual al portland tipo 1 pero con resistencia al deshielo
Portland tipo 2A – 3A	Cementos iguales al portland tipo 2 y 3 pero con resistencia a deshielo

Fuente: DE GUZMÁN DIEGO, Sánchez. Tecnología del concreto y del mortero [10]

## 2.4.2. Agua

Es el ingrediente indispensable para la producción de concreto, el cual no debe estar contaminada y libre de contaminantes, sedimentos o sustancias nocivas. En el diseño de una mezcla es fundamental calcular la cantidad de agua para obtener una relación agua/cemento acorde a las especificaciones.

### Agua de mezclado

Se mide la cantidad de agua por volumen de concreto adicionándose junto con el cemento y los agregados produciendo un gel hidratado y evaporable.

Agua de hidratación: es la parte que químicamente sufre la alteración de la fase solida del gel.

Agua evaporable: cuando el gel atrae el agua evaporable por medio de fuerzas causadas por las partículas del cemento.

- **Agua de absorción:** es la capa de moléculas de agua débilmente sujetadas al gel.
- **Agua libre:** se evapora fácilmente.
- **Agua de curado:** su función es hidratar el gel.

## 2.5. Propiedades físicas de los agregados

### Agregados

Para un diseño de mezcla es fundamental hacer todos los ensayos requeridos ya que los agregados poseen una resistencia propia y una forma granular garantizado adherencia con la pasta de cemento.

Estas propiedades dependen del lugar de procedencia o de la roca madre de la cual se han generado. Para conocer las propiedades se requieren los siguientes ensayos:

- **Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos:** determina los tamaños de las partículas de agregados de un material por medio de tamices. Mediante la curva granulométrica se puede analizar qué tan grueso o fino es el material.

- **Forma de las partículas:** la forma más utilizada para establecer la forma de las partículas es por medio de los ensayos de alargamiento, aplanamiento y caras fracturadas.
- **Densidad o peso específico:** es una propiedad física de la roca madre y se define como la relación de peso y volumen de una masa determinada dependiendo directamente de las características de las partículas del agregado. A la hora del diseño de mezclas este es un factor muy importante ya que determina la cantidad de agregado para un volumen unitario de concreto.
- **Densidad nominal.** Relación existente entre la masa en el aire de un volumen establecido de agregado incluyendo los poros no saturables.
- **Densidad aparente.** Relación existente entre la masa en el aire de un volumen establecido de agregado incluyendo sus poros saturables y no saturables y excluyendo los vacíos entre partículas.
- **Densidad aparente (sss).** Relación existente entre la masa en el aire de un volumen establecido de agregado incluyendo la masa del agua de los poros saturables.
- **Absorción:** Es la masa de agua que abarca los poros de las partículas de agregado y se expresa como porcentaje de la masa seca al horno.

#### **Ecuación 1.Fórmula de la densidad.**

##### **Densidad aparente**

$$D=A/(B-C)$$

##### **Densidad aparente (sss)**

$$D=B/(B-C)$$

##### **Densidad nominal**

$$D=A/(A-C)$$

## **Absorción**

### **Ecuación 2. Fórmula de la absorción.**

$$\text{Absorción} = [(B-A)/A] * 100$$

A= masa en el aire de la muestra de ensayo seca

B= masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca

C= masa en el agua de la muestra de ensayo saturada

## **Resistencia al desgaste de los agregados (máquina de los ángeles)**

En este ensayo se debe tener en cuenta el tamaño del agregado que esta entre 37.5 mm y (1 ½”), se usa conocer la resistencia a la abrasión o desgaste de los agregados ya que estos datos son fundamentales para el diseño de la mezcla.

Con el desgaste se puede conocer la durabilidad y la resistencia que tendrá el concreto para la fabricación y demás estructuras que requieran la resistencia del concreto.

## **Masa unitaria**

Es la relación entre el peso de la muestra de agregado y el volumen de las partículas ubicadas dentro de un recipiente anteriormente medido para hallar su volumen.

Existen dos tipos de masas unitarias, sueltas y compactas

- Masa unitaria suelta. La masa unitaria suelta es cuando el material que se arroja al recipiente bajo el efecto de la gravedad ocupando un volumen mayor por lo tanto su masa unitaria es menor.
- Masa unitaria compacta. La masa unitaria compacta es cuando el material arrojado al recipiente es sometido a vibración mejorando así el acomodo entre partículas y de esta forma se aumenta el valor de la masa unitaria. Es importante este ensayo ya que se puede determinar el volumen absoluto del agregado.

## **Materia orgánica**

Se genera por la descomposición de residuos orgánicos, como material vegetal, hojas, tallos, raíces manifestadas en forma de humus y este afecta la resistencia del concreto y también causa retrasos en el tiempo normal de fraguado.

Este ensayo se realiza para estimar la sanidad de los agregados que se usaran en el diseño de la mezcla, generalmente se usa una solución de sulfato de sodio y si se requiere mayor rigidez en este ensayo se usa el sulfato de magnesio por lo tanto los porcentajes de pérdida son mayores con el sulfato de sodio. [10]

## **Aire**

El aire puede quedar atrapado en la masa durante el proceso de mezcla del concreto que posteriormente es liberado por la vibración cuando está siendo fundido, aunque es normal que quede un porcentaje en la masa endurecida sin causar mayor alteraciones en ella.

## **2.6. Propiedades del concreto endurecido**

El concreto endurecido tiene habilidad para resistir esfuerzos altos a compresión y bajos a flexión, en este estado presenta muchas características en sus propiedades mecánicas gobernadas por la resistencia la cual fue diseñada.

### **Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión depende del diseño a la que fue creada la mezcla de concreto y al tiempo de fraguado de la muestra ya que su resistencia máxima es alcanzada a los 28 días. Las normas NTC 550, NTC 673 y la norma INV E-402 especifican los métodos adecuados para el ensayo de las muestras.

En resistencia a la compresión se ubican los cilindros de concreto en la máquina de compresión calculando así la carga de fallo por el área donde es aplicada.

### **Resistencia a la flexión**

La resistencia a la flexión se expresada como el módulo de rotura en Mpa y es cuando se mide la resistencia de falla de una viga o losa sin refuerzo mediante la aplicación de cargas de sección transversal, siendo así una extensión de la resistencia a tracción del concreto y se determina como lo establecen las normas ASTM C293, NTC2871 y INV E-402.

## **Escombros**

Se conocen como escombros a volúmenes significativos de residuos generados en obras de ingeniería, pueden ser materiales sobrantes en obra o demoliciones existentes, también clasificados como residuos urbanos aun teniendo más relación en la actividad industrial.

En la actualidad se busca la sostenibilidad en cualquier tipo de construcción, y haciendo uso adecuado de los escombros ayuda a mitigar los impactos causados en obra al medio ambiente. Se han realizado diferentes estudios y clasificaciones a los escombros encontrando que en algunos casos existen materiales que pueden presentar propiedades físico-químicas que afectan directamente la resistencia del concreto.

En Colombia existen nuevas políticas ambientales que exigen el reciclaje, orden y limpieza para disminuir costos e impactos ambientales en las obras y sus alrededores.

### **Agregados obtenidos mediante el reciclaje de concreto.**

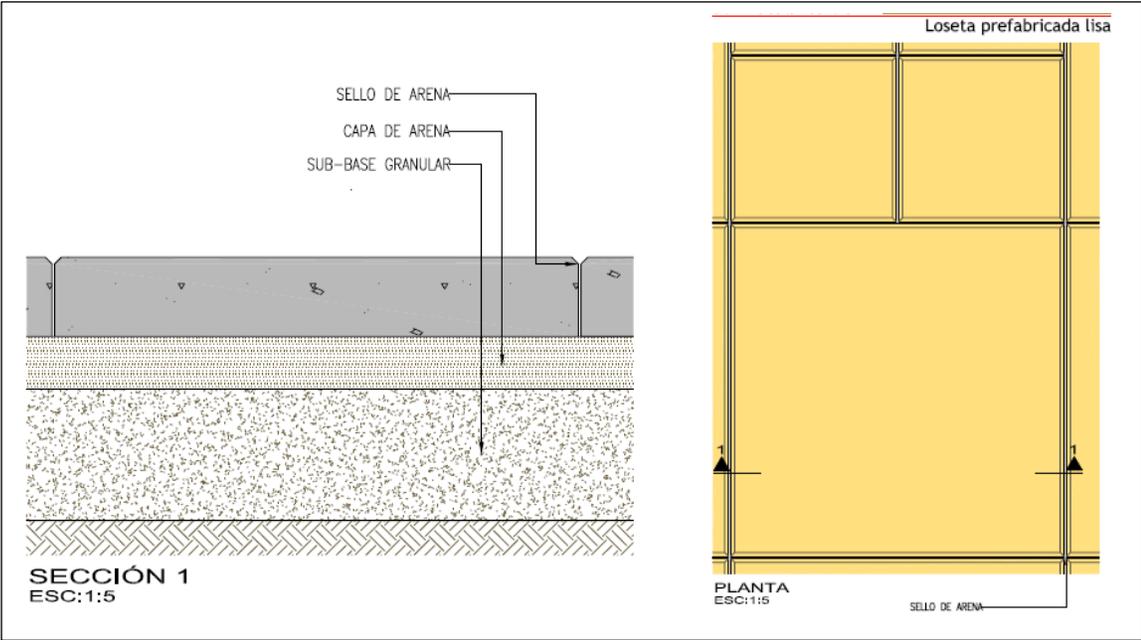
Actualmente se viene implementando y trabajando el concepto de concreto reciclado y ha sido usado en varias obras de ingeniería dando resultados tanto positivos como negativos en los diferentes campos en los que se ha aplicado.

A diferencia de un agregado tradicional este agregado reciclado posee una masa específica menor y mayor capacidad de absorción aumentado así la cantidad de agua a agregar en la mezcla, por consiguiente se deben realizar pruebas a las mezclas determinado las proporciones adecuadas a utilizar. El concreto reciclado tiende a afectar las propiedades del nuevo concreto por eso es necesario llevar el control en la mezcla.

### **2.7. Losetas prefabricadas de acuerdo al Manual para el diseño y construcción del espacio público en Bucaramanga.**

Las losetas prefabricadas utilizadas en la construcción del espacio público en Bucaramanga son producto de una mezcla cuyos agregados son de origen virgen. Según el MEPB la loseta es un elemento prefabricado, no aligerado en su masa, con forma de prisma recto, cuyas bases son polígonos (por lo general rectángulos), que en conjunto conforman una superficie que se utiliza como rodadura, en pisos y pavimentos. Su construcción puede hacerse en arcilla, concreto, o piedra, y el acabado ser bicapa o monocapa. El diseño del elemento prefabricado será loseta tipo lisa, que es una pieza para cavado de pisos en el espacio público. La dimensión base de las piezas es 40x40 cms. Como se ve en la

figura 2, sin embargo se pueden utilizar otros tamaños. Las normas aplicables para fabricación son NTC 121, NTC 174, NTC 231. [13]



**Figura 2. Manual para el diseño y construcción del espacio público en Bucaramanga. [13]**

Fuente: Manual para el diseño y construcción del espacio público en Bucaramanga.

### **3. CARACTERIZACIÓN DE LOS ESCOMBROS GENERADOS POR LA CONSTRUCCIÓN EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.**

Para el diseño de los elementos prefabricados con agregados de residuos de construcción, se requiere de una mezcla de concreto, cuyos agregados estén previamente caracterizados y seleccionados, sin embargo se debe conocer los residuos generados en las construcciones y preliminarmente caracterizarlos, procediendo con la siguiente metodología:

#### **3.1. Identificación de los residuos.**

La regulación del ciclo de los materiales de construcción incluye la identificación de la cadena de reciclaje, para proceder a la caracterización del material. En la caracterización se cualificó los volúmenes de escombros de tres constructoras y se determinaron el escombros apto para reciclar. En la figura 3 se observa escombros provenientes de la construcción de un edificio del Área Metropolitana de Bucaramanga se encuentran mezclados, así que para la identificación de los volúmenes, los materiales tienen que ser separados de otros residuos de demolición antes de su uso.



**Figura 3. Escombros generados de una edificación**

Fuente: Autores.

### 3.2. Separación y reciclaje primario.

La selección permite separar tres tipos de materiales: el apto para reciclar, el útil para reconfiguración morfológica y ambiental (tierra, capa vegetal) y el no apto para reciclar. Se procura no demoler sin un proceso apropiado de separación de materiales que no pueden integrarse al proceso de reciclaje (vidrios, plásticos, asfaltos).

Por razones de logística y optimización del proceso de aprovechamiento del material de construcción e inconvenientes como la insuficiencia del volumen de escombros de las constructoras en las que se le realizó seguimiento, debido a la continua implementación de la construcción sin pérdidas y la contaminación de los escombros al momento de su separación y disposición, debido a estas razones se recurrió al reciclaje de solo concreto, específicamente cilindros de concreto de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura como se puede apreciar en la figura 4, suministrados por Prevesa S.A.S., cuyos cilindros poseen estándares de calidad similares a los concretos encontrados en obra.



**Figura 4. Material reciclado y utilizado como agregado.**

Fuente: Autores.

### 3.3. Trituración del material reciclado.

El material fue conducido a una planta trituradora que está diseñada para triturar materiales pétreos. En la figura 5 se observa el proceso de trituración, el material es inicialmente introducido en las mandíbulas, donde disminuye su tamaño.

La trituración se empleó para obtener la distribución de tamaños de partículas deseadas, en este caso se requería un tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " y como sobrante un tamaño que pasara por tamiz N° 4.



**Figura 5. Trituración del material reciclado.**

Fuente: Autores.

### 3.4. Cargue y transporte del triturado.

Como se aprecia en la figura 6 el material es transportado por la banda transportadora por un pendiente suave y llevado para su recolección, este material fue cargado y transportado al laboratorio en sacos adecuadamente protegidos para someterlos a proceso de tamizado y estudios granulométricos para dosificarlo en el diseño de la mezcla de concreto que será debidamente ensayada para determinar sus propiedades.



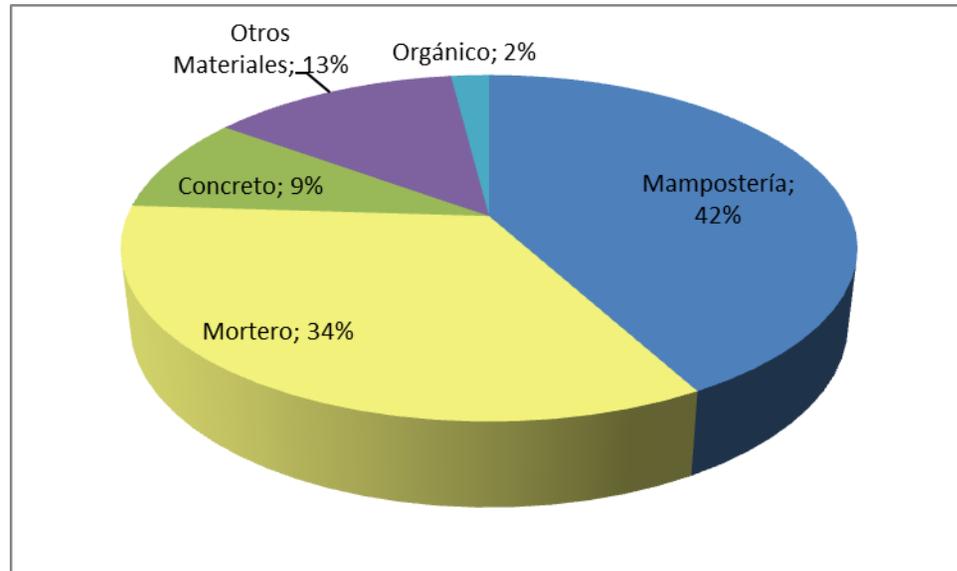
**Figura 6. Recolección del triturado.**

Fuente: Autores-

### 3.5. Caracterización de los escombros

Para la determinación de aquellos residuos que posiblemente pudiesen ser usados como agregados se cuantificaron los volúmenes y se determinó la composición de los mismos realizando su debido reconocimiento.

Se visitaron cinco proyectos de las tres constructoras de la ciudad de Bucaramanga, en los que se analizó los residuos, se encontró que los escombros generados como se evidencia en la figura 7 están compuestos principalmente de mampostería (ladrillos, bloques) en un 42%, de mortero en un 34%, 9% de concreto, 13% de otros materiales (arena, madera, piedra, metal, cerámica rotos y plásticos), y 2% orgánico.



**Figura 7. Composición de los residuos provenientes de los proyectos de construcción estudiados.**

Fuente: Autores.

La mezcla de todo tipo de escombros y residuos ordinarios impide actividades de reciclaje o reutilización y crea problemas técnicos para su disposición final, y como no hay una diferenciación en la disposición de los escombros no es posible reutilizarlos. Por consiguiente los agregados reciclados utilizados en este trabajo son provenientes de la empresa Prevesa S.A.S., que corresponden a cilindros de concreto.

En la figura 8 se evidencia que los escombros generados por esta obra civil son principalmente de mampostería. Se aprecia fragmentos de ladrillos, su disposición no se da en un lugar específico de almacenamiento de escombros. Esto dificulta el reciclaje de los escombros, pues al no haber un lugar específico de almacenamiento, existe dispersión de los escombros al momento de su separación y reciclaje primario.



**Figura 8. Escombros de mampostería**

Fuente: Autores.

En la figura 9 se evidencia que los escombros generados por esta obra civil son principalmente de mampostería. Se aprecia que los escombros están compuestos por fragmentos pequeños de ladrillos que podrían usarse como agregado fino, al momento de ser reciclados, su disposición no se da en un lugar específico de almacenamiento de escombros, sino por el contrario en el espacio de trabajo. Esto dificulta el reciclaje de los escombros, pues al no haber un lugar específico de almacenamiento, existe dispersión de los escombros al momento de su separación y reciclaje primario. Por ello es importante que en las obras haya una disposición adecuada de los escombros generados.



**Figura 9. Escombros generados en la obra.**

Fuente: Autores.

En la figura 10 se aprecia que los escombros generados por esta obra civil están compuestos de mortero, mampostería y madera. Se aprecia que los escombros no se encuentran clasificados sino que están mezclados entre sí, debido a estas condiciones el reciclaje de estos escombros se torna dispendioso y los materiales aptos para usar como agregado tienden a contaminarse y perder las características adecuadas, además su disposición no se da en un lugar específico de almacenamiento de escombros, sino por el contrario en el espacio de trabajo. Esto dificulta el reciclaje de los escombros, pues al no haber un lugar específico de almacenamiento, existe dispersión de los escombros al momento de su separación y reciclaje primario. Por ello para que existan condiciones propicias para el reciclaje en las obras es indispensable que la disposición de los escombros generados sea adecuada y diferenciada. Sin embargo para que se den estas condiciones se necesita gestión en los residuos y una regulación de los entes de control.



**Figura 10. Escombros compuestos de mampostería, mortero y madera**

Fuente: Autores.

En la figura 11 se observa que los escombros generados por esta obra civil están compuestos de concreto, mortero y mampostería. Se evidencia que los escombros no se encuentran clasificados sino que están mezclados entre sí y dispersos sobre el campo de trabajo.



**Figura 11. Residuos generados por la construcción de una edificación.**

Fuente: Autores.

En la figura 12 el volumen de escombros generados por esta obra civil no es significativo. Se evidencia que su disposición no es la adecuada, puesto que está junto a materiales que serán utilizados en las actividades de mampostería.

El volumen de escombros está conformado de mampostería quebrada y residuos de mortero, aunque el volumen que se aprecia en la figura 12, no se significativo, en el seguimiento de la generación de escombros de esta obra, se constató de que la generación de bajo volúmenes de escombros es frecuente, y si tomamos esos insignificantes volúmenes y lo proyectásemos en la construcción de la obra se convierten en volúmenes considerables de escombros.



**Figura 12.Volumen insignificante de escombros.**

Fuente: Autores

En la figura 13 se percibe que los escombros generados por esta obra civil son útiles para reconfiguración morfológica y ambiental. Éste tipo de materiales que no cumple las condiciones para reciclarse es utilizado en el proceso de reconfiguración morfológica y ambiental o de relleno, que podrían ser utilizados para proyectos ambientales o urbanísticos.



**Figura 13. Escombros útiles para reconfiguración morfológica.**

Fuente: Autores.

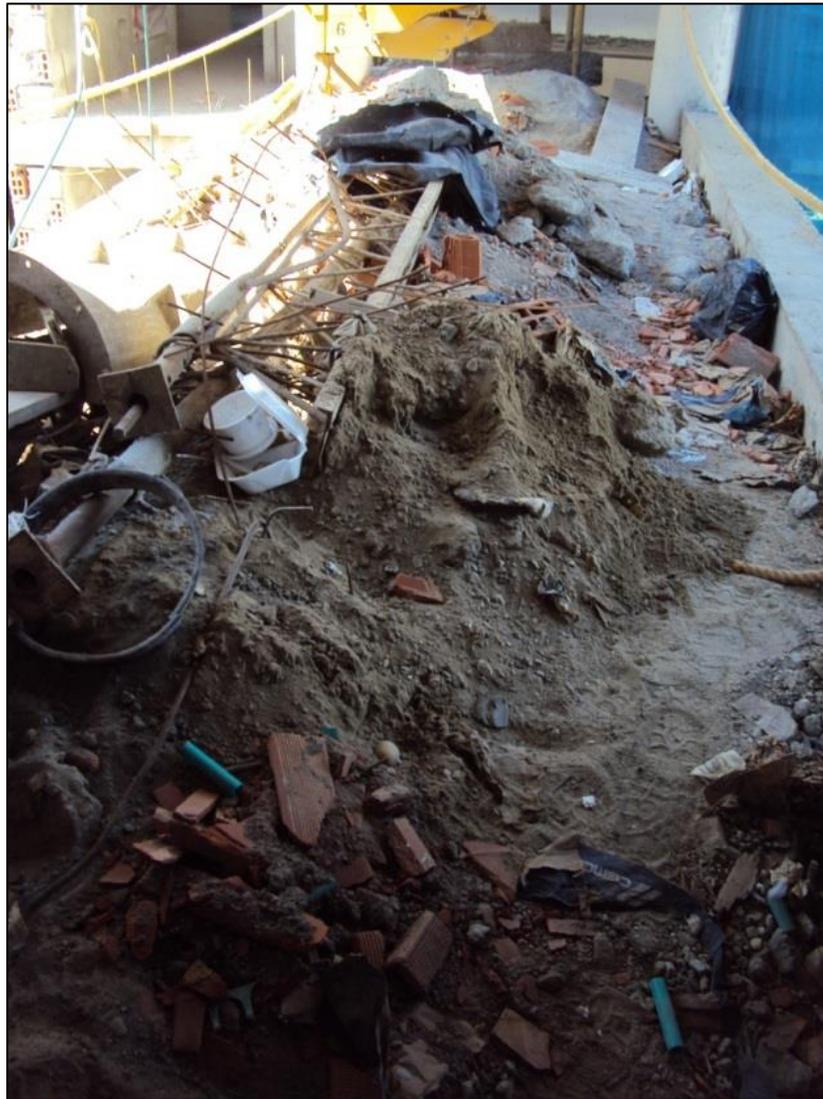
En la figura 14 a pesar de que exista un lugar de almacenamiento de los escombros generados de las actividades de construcción, no hay diferenciación en el momento de almacenar, no se tiene en cuenta el reciclaje. Así que materiales como concreto, mortero, mampostería, cartón, como se aprecia en la figura 14 se dispone sin ningún tipo de control, sin identificación de la cantidad de material de obra que se convierte en escombros.



**Figura 14. Lugar de almacenamiento de escombros.**

Fuente: Autores.

En la figura 15 se aprecia que los escombros generados por esta obra civil están compuestos de mortero, mampostería, materia orgánica y otros escombros como madera, plástico y metal. Los escombros no se encuentran diferenciados sino que están mezclados entre sí, estas condiciones afectan el reciclaje de los escombros, pues éstos escombros tienen que ser separados de otros residuos de demolición antes de su uso, se debe dar relevancia a este proceso, pues es necesaria para garantizar que no estén contaminados los escombros.



**Figura 15. Mezcla de escombros generados.**

Fuente: Autores.

## **4. COMPROBACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL PREFABRICADO.**

### **4.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS**

Las propiedades físicas de los agregados reciclados abarcadas por medio de ensayos fueron: granulometría, masas unitarias sueltas y compactas, pesos específicos y absorción. Estos ensayos se basaron de acuerdo a los métodos planteados en la norma Icontec NTC 129. Se mide las propiedades mecánicas de los agregados por desgaste en la máquina de los ángeles, también fueron sometidos al ensayo de equivalente de arena y se realizó el ensayo de peso específico al cemento. Seguidamente se describe los procedimientos de los ensayos anteriormente mencionados.

#### **4.1.1. Granulometría de agregados gruesos y finos.**

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de una determinada muestra con el fin de utilizar los agregados convenientes en el diseño de mezcla de concreto.

Inicialmente se tomó una muestra representativa del material, el cual fue llevado al horno durante 24 horas a una temperatura de aproximadamente 110°C para ser debidamente pesado; posteriormente se lavó y se pasó por el tamiz N° 200; al ser secado nuevamente se determina su masa que representa la cantidad de material fino que pasó a través del tamiz.

Según la norma técnica Icontec-32 se colocan los tamices en orden descendiente y con tamices intermedios para evitar intervalos muy grandes entre tamices consecutivos. De acuerdo a la norma NTC-77 se procedió a realizar el tamizado y pesar el material retenido en los correspondientes tamices para su posterior análisis como se muestra figura 16.



**Figura 16. Granulometría.**

Fuente: Autores.

#### **4.1.2. Densidad y absorción de los agregados.**

La densidad es la relación entre la masa y el volumen unitario de material a una temperatura determinada. Como generalmente entre las partículas existe la presencia de poros, el peso depende de la permeabilidad o humedad de los materiales; es por ello que se debe tener en cuenta la masa de la muestra saturada interiormente y seca superficialmente, la masa de la muestra tanto seca como sumergida en agua, y el volumen ocupado por la masa.

##### **4.1.2.1 Peso específico y absorción de agregados gruesos.**

Según la norma NTC-176, el agregado grueso fue lavado y se dejó sumergido en agua durante 24 horas, pasado este tiempo se secó superficialmente y se pesó la muestra que corresponde a la superficie saturada interiormente y seca superficialmente.

Luego la muestra es sumergida en agua y se tomó su masa, finalmente se seca la muestra en el horno a una temperatura de 110°C y se toma su peso seco.

Finalmente con estos datos calculamos la densidad aparente del material y el porcentaje de absorción.

#### **4.1.2.2 Peso específico y absorción de agregados finos.**

En concordancia a lo establecido en la NTC-237 se tomó una muestra, la cual se sumerge en agua durante 24 horas, para luego ser secada.

Este material seco se utilizó para realizar la prueba del cono, que consiste en llenar molde cónico y apisonándolo con el pistón 25 veces dejándolo caer, de tal forma que si la arena se derrumba parcialmente está en condiciones de saturada y superficialmente seca.

Se procedió a pesar 500 gramos de arena en condiciones saturado superficialmente seca, introduciéndola en el picnómetro por medio de un embudo para luego añadirle agua, evitando la presencia de burbujas de aire, para poder determinar el peso total. Después se remueve el agregado fino del picnómetro y seca para determinar la masa de la muestra.

#### **4.1.3. Masa Unitaria.**

Existen dos tipos de masa unitaria, suelta y compacta. Cuando las partículas se exponen a movimiento se denomina masa unitaria compacta. En cuanto a la masa unitaria suelta las partículas se encuentran en estado de reposo.

Inicialmente se escogió una muestra de los agregados para ser secada en el horno, se calculó el volumen y el peso del recipiente donde se realizó el ensayo. En primer lugar se determinó la masa unitaria suelta y luego la masa unitaria compacta golpeando 25 veces por cada tres capas de material, al enzararlo se determina su peso.

#### **4.1.4. Desgaste en la máquina de los ángeles.**

Por medio de este ensayo se determina la dureza y la resistencia al desgaste de los agregados, por medio de un tambor giratorio, que consta de determinado número de esferas. La muestra se tomó por cuarteo, se lavó y se secó en el horno a una temperatura de 110°C, de acuerdo con la granulometría se determinó la carga abrasiva a utilizar y la cantidad de material.

**Tabla 2. Granulometrías de la muestra de agregado para ensayo**

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Masa de la muestra para ensayo (g) Granulometrías			
mm	(alt.)	mm	(alt.)	A	B	C	D
37.5	(1½")	25.0	(1")	1250 ± 25	...	...	...
25.0	(1")	19.0	(¾")	1250 ± 25	...	...	...
19.0	(¾")	12.5	(½")	1250 ± 10	2500 ± 10	...	...
12.5	(½")	9.5	(⅜")	1250 ± 10	2500 ± 10	...	...
9.5	(⅜")	6.3	(¼")	...	...	2500 ± 10	...
6.3	(¼")	4.75	(No.4)	...	...	2500 ± 10	...
4.75	(No.4)	2.36	(No.8)	...	...	...	5000 ± 10
TOTALES				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: Norma I.N.V. E – 218 – 07

Se escogió el tipo de abrasión B, previamente limpia la Maquina de los Ángeles, se introduce la muestra y la carga abrasiva correspondiente, y se puso a girar la maquina hasta completar 500 giros.

**Tabla 3. Carga abrasiva**

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Masa Total g
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: Norma I.N.V. E – 218 – 07

Finalmente el material resultante es pasado por el tamiz N°12, el material retenido en este tamiz se lavó y se secó en el horno a una temperatura de 110°C, previamente se determinó su masa para su correspondiente análisis.

#### 4.1.5. Contenido de materia orgánica.

Mediante este procedimiento se determina el contenido y presencia de materia orgánica en arenas usadas para la preparación del concreto, según la NTC-127 se preparó una solución de hidróxido de sodio (NaOH) que es introducida en un frasco junto con la muestra, se tapó y agitó para dejarse en reposo durante 24 horas. Finalmente transcurrido el tiempo estipulado se compara el color del agua con la tabla de escala de coloración

De acuerdo a la normatividad una arena una muestra entre mayor proximidad a 1 tenga, menor será el contenido de materia orgánica. El ensayo de contenido de arena para la muestra fue el N°2.de la tabla 4.

**Tabla 4. Contenidos de Materia Orgánica.**

COLOR	Número de color. Normal de Gardner	Número de la referencia orgánica
AMARILLO CLARO	5	1
AMARILLO OSCURO	8	2
AMBAR	11	3
AMBAR OSCURO	14	4
NEGRO	16	5

#### 4.1.6. Peso específico del cemento.

En afinidad con la norma I.N.V.E.-307-07 se realizó este ensayo. Inicialmente se tomó el frasco de Le chatelier el cual se llenó con kerosene (ACPM) hasta un punto entre 0 y 1 ml del frasco, verificando que por encima del nivel la superficie se encuentre seca, se procedió a introducir cuidadosamente 64 gramos de cemento, después se tapó y se giró en posición inclinada para evitar la presencia de aire en el recipiente, el frasco se sumergió en agua y se tomaron las lecturas cada 5 minutos hasta que la lectura sea constante. La diferencia entre la lectura inicial corresponde al volumen de líquido desplazado. Finalmente se halló el peso específico mediante la siguiente fórmula:

### Ecuación 3. Ecuación del peso específico.

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso (gr)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}}$$

#### 4.2. Resultados de la caracterización de los agregados.

Los agregados que constituyen el presente proyecto son arena o agregado fino, escombros gruesos y finos resultado de la trituración de cilindros de concreto, a continuación en la tabla 5 se presentan los resultados obtenidos de la caracterización.

**Tabla 5. Resultados de los ensayos realizados a los agregados y escombros.**

ENSAYOS REALIZADO		MUESTRA DE ENSAYO			NORMA
		AGREGADO FINO	ESCOMBRO FINO	ESCOMBRO GRUESO	
Humedad Natural (%)		7	4,2	3,9	
Contenido de materia orgánica		2	1	-	INV E-212-07 NTC-127
Gravedad Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Aparente	2,59	2,65	2,41	INV E-222-07
	Bulks.s.s.	2,45	2,57	2,36	INV E-223-07
	Bulk	2,53	2,55	2,36	NTC 237
Porcentaje de absorción		3,3	3,5	1,53	NTC 176
Desgaste máquina de los ángeles (%)		-	-	41,7	INV E-218-07 NTC-98
Masa Unitaria (g/cm <sup>3</sup> )	Suelta	1,5	1,35	1,24	INV E-217-07
	Compacta	1,65	1,48	1,75	NTC-92

Fuente: Autores.

#### 4.2.1. Densidad del cemento.

La densidad del cemento se obtuvo del promedio de las densidades calculadas de diferentes muestras de cementos utilizados en el proyecto, mediante la norma I.N.V.E.-307-07. La fórmula con que se calculó la densidad es el cociente entre la masa del cemento en gramos sobre el volumen desplazado en  $\text{cm}^3$ . La densidad obtenida es igual a  $2.9 \text{ g/cm}^3$ .

#### 4.2.2. Análisis de Granulometría.

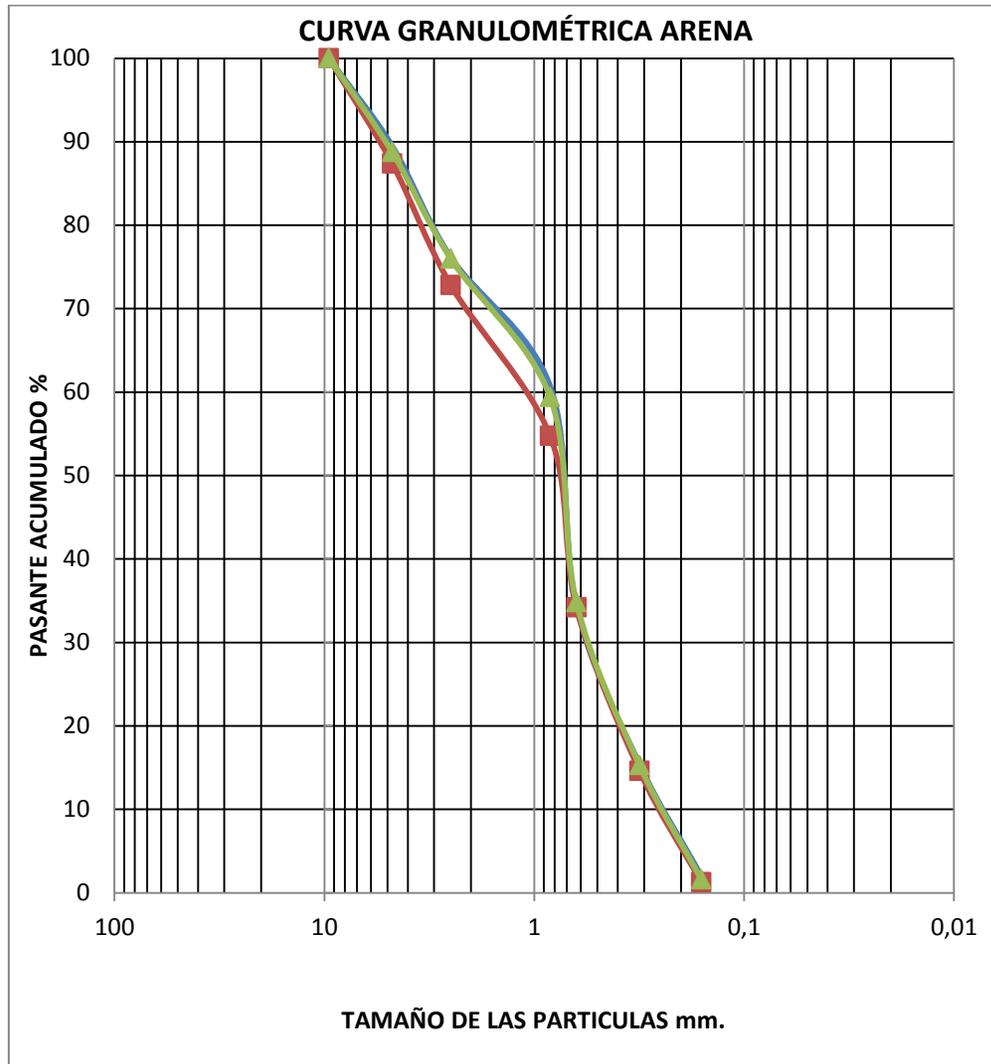
Según lo descrito en el I.N.V.E.-213-07 se realizó el ensayo de análisis de granulometría se obtuvo el tamaño máximo nominal en los agregados gruesos, en este caso del escombros triturado grueso y el módulo de finura de los agregados finos.

En la tabla 6 se muestra los resultados del tamaño máximo nominal y el módulo de finura. Siendo el tamaño máximo nominal el tamiz de menor abertura por el cual pasa todo el material; y el módulo de finura la sumatoria de los porcentajes retenidos en los tamices, desde el tamiz N° 100, hasta el máximo presente, y dividiendo la suma por 100. [10]

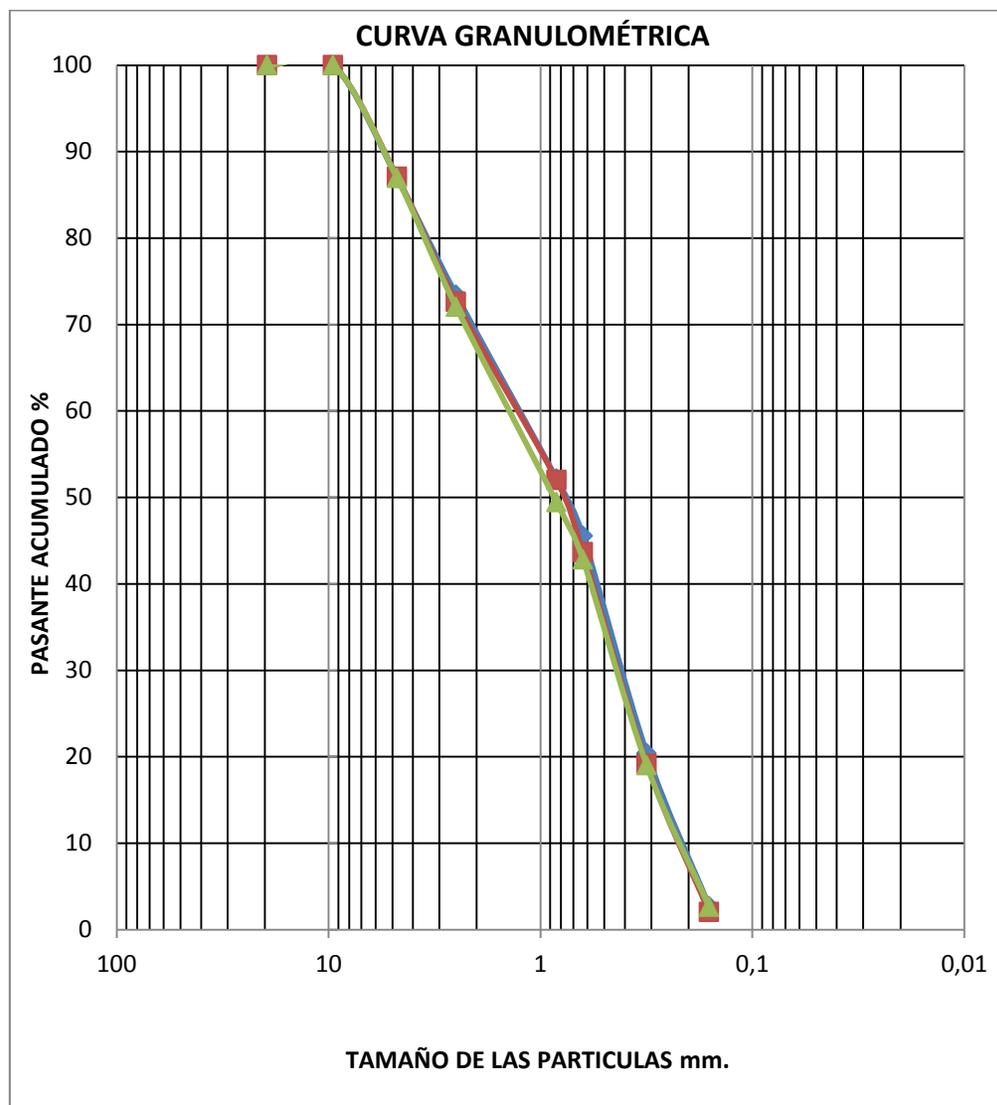
**Tabla 6. Tamaño máximo nominal, módulo de finura de los agregados.**

	AGREGADO GRUESO (ESCOMBRO)	ESCOMBRO FINO	AGREGADO FINO
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	3/4"	-	-
MÓDULO DE FINURA	-	2,5	2,4

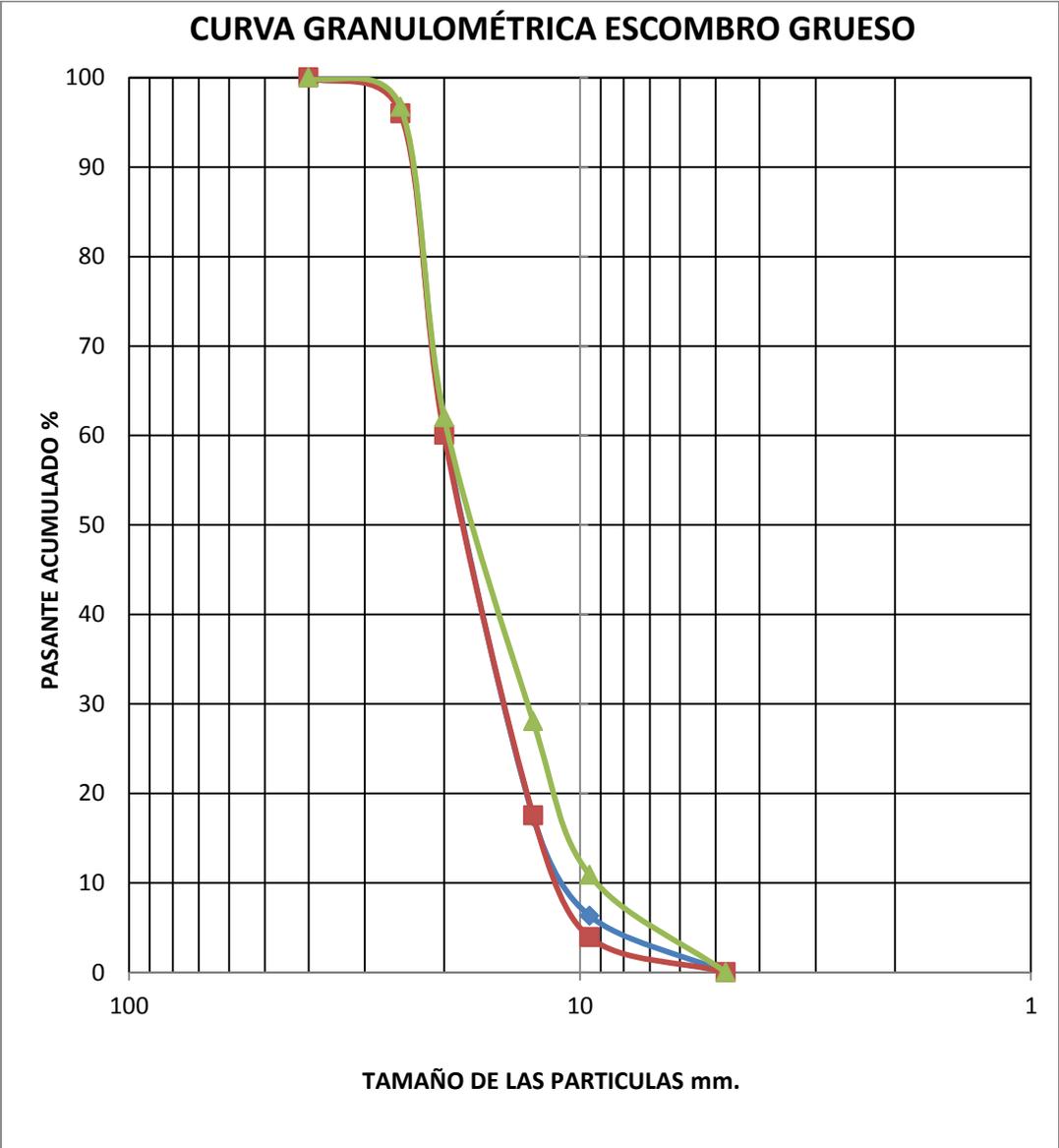
Los resultados obtenidos del análisis granulométrico para los agregados reciclados fino y grueso en la figura 17,18 y 19 cumplen con los establecidos en la norma NTC-174



**Figura 17. Granulometría del agregado fino.**



**Figura 18. Granulometría del escombros fino.**



**Figura 19. Granulometría del escombros grueso.**

### **4.3. DISEÑO DE LA MEZCLA**

Para la determinación de la combinación de agregados a utilizar en el concreto reciclado se utilizó el método práctico para dosificar mezclas de concreto del ICPC basados en los procedimientos comprobados por el Instituto Americano del concreto (ACI).

#### **Selección del asentamiento.**

Los valores del asentamiento se asignan cuando la vibración se utiliza en el concreto. Como criterio para la selección de la consistencia del concreto se tuvo en cuenta el tipo de estructura que en este caso corresponde losas de fundación simple, se contempló una consistencia Semi seca, por tanto se trabajó con un asentamiento de 5 cm que es compatible con la estructura.

#### **Selección del tamaño máximo de agregado.**

El tamaño Máximo Nominal se obtuvo mediante los resultados granulometría de los agregados gruesos (triturado y escombro). Se obtuvo un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ " (19 mm).

#### **Estimación de los contenidos de agua (A) y Aire.**

La relación agua/cemento requerida se determina teniendo en cuenta el asentamiento requerido y el tamaño máximo de agregado. Para un asentamiento de 5 cm y para un tamaño máximo grueso de 19 mm ( $\frac{3}{4}$ " corresponden 185 Kg de agua por cada metro cúbico de mezcla.

#### **Determinación de la resistencia de diseño.**

La resistencia promedio de diseño ( $f_{cr}$ ) está en función de la resistencia estructural ( $f_c$ ) y el coeficiente de variación  $V$ , el cual indica el grado de control de calidad del concreto de obra para la cual se va a dosificar. Se observa que para una resistencia estructural de  $f_c=210 \text{ Kg/cm}^2$  y para un coeficiente de variación de  $V=5\%$  corresponde a una resistencia de diseño de  $f_{cr}=225 \text{ kg/cm}^2$ .

#### **Selección de la relación Agua/Cemento.**

La relación agua/cemento dependen de los requisitos de resistencia de la estructura y de los diferentes materiales que se utilizarán en la mezcla. Para la resistencia de diseño obtenida, corresponde una relación agua/cemento  $A/C=0,55$ .

### **Cálculo del contenido de cemento**

El contenido de cemento es igual a la división entre el contenido de agua en la mezcla y la relación agua/cemento. Se encontró que el contenido de cemento es igual 336 Kgs por metro cúbico.

### **Estimación del contenido de agregado grueso.**

En primer lugar se determina el volumen seco y compactado de por volumen unitario de concreto agregado grueso ( $b/b_0$ ). Para un módulo de finura de 2,40 y un tamaño máximo nominal de 19 mm,  $b/b_0=0,66$ . El volumen de agregado grueso por metro cúbico de hormigón será  $b=0,485 \text{ m}^3$ .

### **Estimación del contenido de agregado fino.**

Se determinó primero el volumen total de agregados mediante la fórmula  $CK=1000-0,318xC-A$ , donde A es el contenido de agua y C el contenido de cemento, con este valor se determina el porcentaje de arenas, que en la presente mezcla es igual a 31,4%.

### **Cálculo de las proporciones iniciales.**

Se indica en forma de relaciones por peso de cemento, agregado fino y agregado grueso, tomando como unidad el cemento. El porcentaje adecuado corresponde al menor porcentaje de vacíos de diferentes proporciones de la mezcla.

### **Ajuste por humedad de los agregados.**

Se tiene en cuenta la humedad de los agregados, generalmente éstos se encuentran húmedos y su peso seco debe adicionar el peso del agua que contienen, tanto absorbida como superficialmente. Al agua que va agregarse a la mezcla se debe restar el contenido de agua igual al contenido por los agregados.

#### 4.3.1. Resultados del concreto en estado plástico.

Se diseñó la mezcla de concreto con un asentamiento de 5 cm, realizando ajuste por humedad para determinar la cantidad de agua necesaria. Los resultados de los ensayos de asentamiento y el peso unitario.

**Tabla 7. Tabla de resultados de asentamiento y peso unitario.**

<b>Mezcla</b>	<b>Asentamiento cm</b>	<b>Peso Unitario Kg/cm<sup>3</sup></b>
60% Finos	5	2150,087
40%Grueso	5,5	2282,305
A/C = 0.55	6,0	2288,360
	5,5	2318,426

#### 4.3.2. Ajuste por asentamiento.

Se debe utilizar la cantidad de agua necesaria para producir el asentamiento correspondiente, por tanto ajustar los contenidos de cemento y arena, y las proporciones de la mezcla.

#### 4.3.3. Determinación de la mezcla de agregados con el menor porcentaje de vacíos.

En la determinación de la mezcla adecuada se tuvo en cuenta la mezcla de agregados que proporcione el menor porcentaje de vacíos que cubriese el punto de inflexión.

Los porcentajes de vacíos obtenidos para cada proporción seleccionada, el menor de cada mezcla representa el punto de inflexión de la mezcla y las proporciones con las que se realizó el diseño de la mezcla.

#### **4.4. ELABORACIÓN DE PROBETAS Y LOSETAS PREFABRICADA.**

Los datos obtenidos de los agregados en los ensayos previos, conlleva a los ensayos con diferentes proporciones entre cemento y agregado reciclados, para reconocer cual es la proporción más óptima. Con esta mezcla de agregados se conduce a la elaboración de probetas con ayuda de la mezcladora, que se procederán a ensayar para identificar las características físico-mecánicas de la mezcla. Para producir las pastas, morteros y concretos (prefabricados, premezclados o elaborados en el sitio), a los que se refiere el Manual, se deben usar agregados que cumplan la NTC 174 Concreto. Especificaciones de los agregados para concreto

Se elaboraron treinta losetas; las losetas se elaboran de acuerdo al Manual para el diseño y construcción del espacio público en Bucaramanga. Estas losetas se someten a ensayos de compresión, flexión, deslizamiento, ya que el concreto para losas debe tener una resistencia a la compresión de 28 Mpa, como mínimo, a los 28 días y cumplir los requisitos de la NTC 4 992, Losetas de concreto para pavimentos, y serán aptas para la construcción de pisos y pavimentos, para tráfico peatonal (en principio sólo acceso a predios).

En la figura 20 se observa la elaboración de los cilindros y las losetas prefabricadas por medio de una mezcla de concreto con agregados reciclados. Las losetas prefabricadas se elaboran según las especificaciones del Manual para el diseño y construcción del espacio público en Bucaramanga.

Para la elaboración del concreto reciclado se empleó la mezcladora del laboratorio de la UPB, que mezcló uniformemente los agregados reciclados y los agregados finos.



**Figura 20. Elaboración de cilindros y losetas con concreto reciclado**

Fuente: Autores.

En la figura 21 se aprecia las losetas prefabricadas con material reciclado elaboradas según las especificaciones del Manual para el diseño y construcción del espacio público en Bucaramanga, inicialmente se contaba con una formaleta metálica que puede verse en la figura 20, pero se presentaron rendimientos bajos en la fabricación de las losetas con este tipo de formaleta, se procedió a utilizar formaleta de madera, en vez de formaleta metálica. Los rendimientos aumentaron, las losetas presentaba una contextura más uniforme y en comparación con los costos la formaleta de madera es más económica, sin embargo no perdura igual que la formaleta metálica.



**Figura 21. Elaboración de losetas prefabricas con molde de madera.**

Fuente: Autores.

En la figura 22 se evidencia el fraguado de los cilindros y las losetas prefabricadas, una vez finalizado el fraguado, continúa las reacciones de hidratación y finalmente entra a la fase de endurecimiento en la que el cemento se solidifica a través del tiempo, hasta alcanzar los 28 días en condiciones saturadas para un resistencia de 28 Mpa.



**Figura 22. Fraguado de cilindros y losetas prefabricadas.**

Fuente: Autores.

## **4.5. ENSAYOS MECÁNICOS DEL CONCRETO RECICLADO.**

### **4.5.1. Resistencia a la compresión.**

De acuerdo a las especificaciones de la norma NT 673 se realizó el ensayo a compresión de los cilindros de edad 28 días y dimensiones de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura elaborados con agregados de concreto reciclado. En la figura 23 se observa una falla transversal del cilindro de concreto.



**Figura 23. Ensayo a compresión.**

Fuente: Autores.

#### 4.5.2. Resistencia a la flexión.

Esta resistencia se determinó ensayando las losetas de acuerdo a lo descrito en la **NTC 4 321-2**, se colocan los especímenes de ensayo tal que el lado más largo este en ángulo recto con los rodillos de soporte, se aplica una carga repartida uniformemente, el esfuerzo máximo de flexión se denomina módulo de rotura y se calcula con la siguiente formula:

#### Ecuación 4. Ecuación del módulo de rotura.

$$R = \frac{3FL}{2bh^2} = \frac{3s}{2h^2}$$

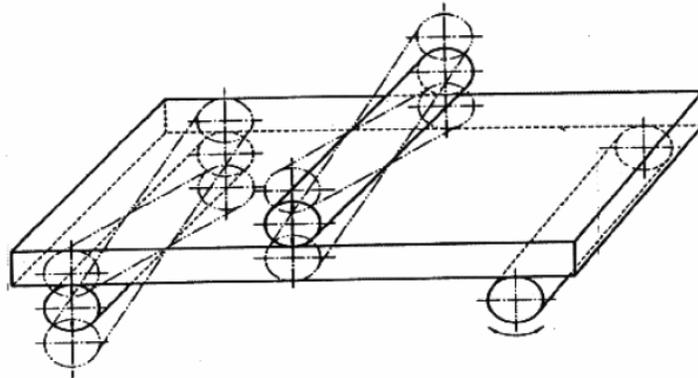
En donde:

F = es la carga de rotura en newton;

L = es la distancia entre los rodillos de apoyo, en milímetros (ver figura);

b = es el ancho de la baldosa, en milímetros;

h = es el espesor mínimo del espécimen de ensayo, en milímetros, medido después del ensayo a lo largo del borde roto.



**Figura 24. Ensayo Flexión.**

**Fuente: NTC 4 321-2,**



**Figura 25. Ensayo de flexión.**

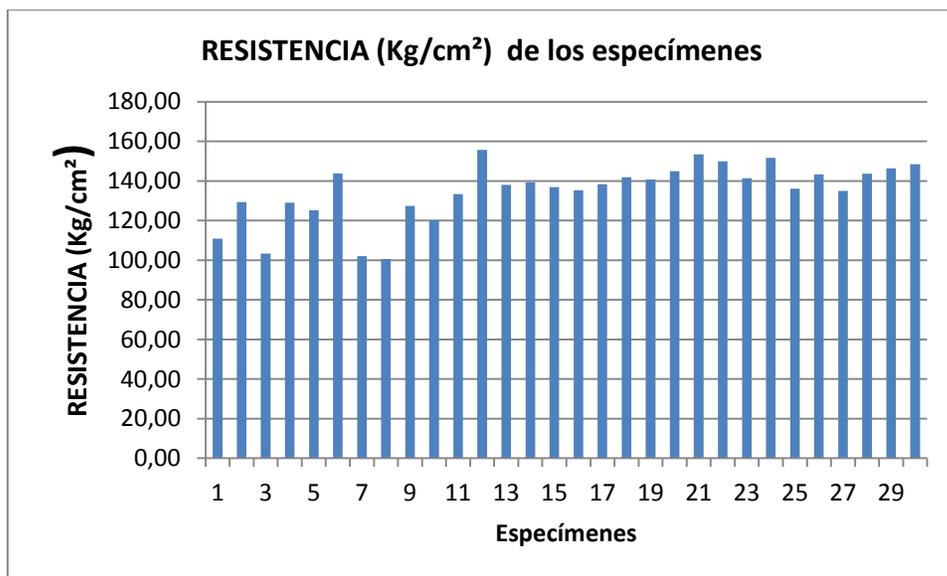
#### **4.5.3. RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.**

A los treinta especímenes fabricados con concreto se les realizó pruebas mecánicas de resistencia a la compresión y las treinta losetas prefabricadas con material reciclado fueron sometidas a pruebas de flexión. En la tabla 8 se presentan los resultados de las resistencias a la compresión de los cilindros y el módulo de rotura de las losetas prefabricadas.

**Tabla 8. Resistencia a compresión a los 28 días.**

<b>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN</b>	
<b>CILINDRO 15 CM DE DIÁMETRO POR 30 CM DE ALTURA</b>	
<b>28 DÍAS DE 3000 PSI (210 Kg/cm<sup>2</sup>).</b>	
<b>CARGA (KN)</b>	<b>RESISTENCIA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
196,02	110,92
228,6	129,36
182,57	103,31
228,07	129,06
221,07	125,10
253,98	143,72
180,34	102,05
177,77	100,60
225,3	127,49
212,26	120,11
235,72	133,39
275,02	155,63
243,88	138,01
246,28	139,37
241,9	136,89
239,08	135,29
244,53	138,38

250,85	141,95
248,7	140,74
256,07	144,91
271,12	153,42
265,03	149,98
249,88	141,40
267,93	151,62
240,5	136,10
253,38	143,38
238,6	135,02
253,8	143,62
258,7	146,39
262,46	148,52

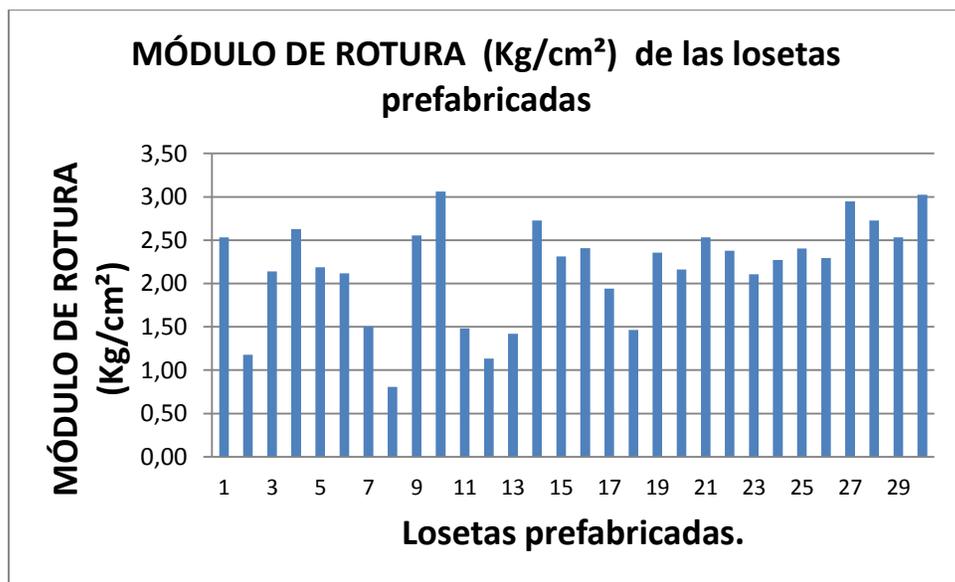


**Figura 26. Resistencia de los especímenes.**

Tabla 9. Resultados de los ensayos módulo de rotura en las losetas prefabricadas.

<b>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MÓDULO DE ROTURA EN LAS LOSETAS PREFABRICADAS</b>		
<b>28 DÍAS DE 3000 PSI (210 Kg/cm<sup>2</sup>).</b>		
<b>LOSETA BASE 40x40 cms ESPESOR:8 cm</b>		
<b>CARGA (KN)</b>	<b>MÓDULO DE ROTURA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>MÓDULO DE ROTURA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
11,6	25,83	2,53
5,4	12,02	1,18
9,8	21,82	2,14
12,03	26,79	2,63
10,02	22,31	2,19
9,7	21,60	2,12
6,9	15,36	1,51
3,7	8,24	0,81
11,7	26,05	2,55
14,02	31,22	3,06
6,8	15,14	1,48
5,2	11,58	1,14
6,5	14,47	1,42
12,5	27,83	2,73
10,6	23,60	2,31
11,03	24,56	2,41
8,9	19,82	1,94

6,7	14,92	1,46
10,8	24,05	2,36
9,9	22,04	2,16
11,6	25,83	2,53
10,9	24,27	2,38
9,65	21,49	2,11
10,4	23,16	2,27
11,02	24,54	2,41
10,5	23,38	2,29
13,5	30,06	2,95
12,5	27,83	2,73
11,6	25,83	2,53
13,85	30,84	3,02



**Figura 27. Módulo de rotura de las losetas prefabricadas.**

## **5. COMPARACIÓN DE COSTOS**

### **5.1. Metodología.**

A pesar de que el concreto reciclado tiende a presentar aspectos ambientales y técnicos positivos, no es usual en la construcción de las obras actuales, puesto que un factor importante de la introducción de materiales no convencionales al mercado es el factor económico. En este sentido es importante analizar económicamente el concreto reciclado desde el punto de vista de su fabricación, de esta manera paralelamente se analiza los costos de la fabricación de losetas prefabricadas.

Con el objetivo de disponer un punto de referencia para evaluar el costo de producción de un concreto reciclado y por consiguiente determinar el análisis de costos, se desarrolló un análisis unitario de la producción de un metro cúbico de concreto normal y reciclado, teniendo en cuenta los costos de administración. Los valores fueron calculados con precios del mercado del año 2013.

### **5.2. Análisis costo y beneficio.**

El beneficio-costo del uso de las losetas prefabricadas guarda relación con la materia prima, en este caso con los agregados, así que se debe comparar los beneficios de los agregados reciclados con los agregados naturales no renovables.

En la práctica los residuos de construcción son dispuestos en rellenos o escombreras en donde los residuos se tornan más complejos de tratar, en comparación a si se contara con programas de recuperación de escombros, en los que se tritura selectivamente, evitando la contaminación de los residuos de ser aprovechados y de este manera aumentando la posibilidad de reciclaje o reutilización. A pesar de que en relación al costo la producción de materiales nuevos no renovables implica mayores recursos energéticos y afectaciones ambientales y sociales; el uso de materiales reciclados presentan inconvenientes evidentes como la escasez de empresas de reciclaje de materiales de construcción y demolición, plantas de reciclaje y escombreras con programas de recuperación de escombros. A esto se le suma que en la práctica la disposición de los escombros no es selectiva lo que implicaría la implementación de una legislación. Para un análisis comparativo más detallado se debe tener en cuenta factores como el precio de combustibles, la explotación de los recursos, mantenimiento de los equipos, el transporte de los materiales, el consumo de energía, mano de obra y los impactos ambientales y sociales. Sin embargo en

este proyecto los autores consideran pertinente realizar el análisis de costos por medio de un análisis unitario para la fabricación de un metro cúbico de concreto reciclado y normal, por el alcance mismo del proyecto.

### 5.3. Costos del concreto reciclado y el concreto normal.

Para el análisis de precio unitario para un metro cúbico de concreto reciclado se tuvo en cuenta los costos de la cantidad de los materiales cemento, arena y agua, además en el costo del triturado que corresponde en este caso al escombros reciclado incluye el transporte y la separación, de igual forma se tuvo en cuenta los costos de trituración de los escombros y la mano de obra. Como se evidencia en la tabla 10.

**Tabla 10. Análisis de precio unitario del reciclado y trituración de escombros.**

RECICLADO Y TRITURACIÓN DE ESCOMBROS UND:m <sup>3</sup>					
ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
1	<b>TRANSPORTE</b>				
	Transporte	GL	1	4000	\$ 4.000,00
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 4.000,00</b>
		<b>UND</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Tarifa/Hora</b>	<b>VR TOTAL</b>
2	<b>EQUIPO</b>				
	Planta trituradora	GL	44	445000	\$ 10.113,64
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 10.113,64</b>
3	<b>MANO DE OBRA</b>	<b>UND</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VR UNITARIO</b>	<b>VR TOTAL</b>
	Cuadrilla	HH	1	12000	\$ 12.000,00
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 12.000,00</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 26113,64</b>

En estudios anteriores se encontró una reducción en los costos del concreto reciclado, respecto al concreto normal [16].

El análisis de precio unitario para un metro cúbico de concreto reciclado se evidencia en la Tabla 11.

**Tabla 11. Análisis de Precio Unitario para un metro cúbico de concreto reciclado.**

<b>COSTO POR METRO CÚBICO DE CONCRETO RECICLADO</b>					
<b>Mezcla de concreto 0,55 : 1,71 : 3,44 - 3000 psi (210 kg/cm<sup>2</sup>)</b>					
<b>ITEM</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>UND</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VR UNITARIO</b>	<b>VR TOTAL</b>
<b>1</b>	<b>Materiales</b>				
	Cemento	KG	336	468	\$ 157.248,00
	Escombros Triturados	m <sup>3</sup>	1,02	26113	\$ 26.635,26
	Arena	m <sup>3</sup>	0,51	23000	\$ 11.730,00
	Agua	m <sup>3</sup>	185	12	\$ 2.220,00
<b>2</b>	<b>EQUIPO</b>				
	Mezcladora	DIA	0,06	36540	\$ 2.192,40
	Herramienta Menor	GL	2,7	1250	\$ 3.375,00
<b>3</b>	<b>MANO DE OBRA</b>				
	Cuadrilla	HH	1	12000	\$ 12.000,00
	<b>TOTAL</b>				\$ 215.400,66
	<b>UTILIDAD</b>				\$ 43.080,13
	<b>TOTAL+UTILIDAD</b>				\$ 258.480,79

En el análisis de precio unitario para un metro cúbico de concreto normal, se tomaron en cuenta los costos de los materiales y la mano de obras y los equipos necesarios para su fabricación. Se puede apreciar en la tabla 11.

**Tabla 12. Análisis de Precio Unitario para un metro cúbico de concreto normal.**

<b>COSTO POR METRO CÚBICO DE CONCRETO NORMAL</b>					
<b>Mezcla de concreto 1 : 2 : 3      3000 psi 21 Mpa</b>					
<b>ITEM</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>UND</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VR UNITARIO</b>	<b>VR TOTAL</b>
<b>1</b>	<b>Materiales</b>				
	Cemento	KG	350	468	\$ 163.800,00
	Triturado	m <sup>3</sup>	0,84	33200	\$ 27.888,00
	Arena	m <sup>3</sup>	0,56	23000	\$ 12.880,00
	Agua	m <sup>3</sup>	190	12	\$ 2.280,00
<b>2</b>	<b>EQUIPO</b>				
	Mezcladora	DIA	0,06	36540	\$ 2.192,40
	Herramienta Menor	GL	2,7	1250	\$ 3.375,00
<b>3</b>	<b>MANO DE OBRA</b>				
	Cuadrilla	HH	1	12000	\$ 12.000,00
	TOTAL				\$ 224.415,40
	<b>UTILIDAD</b>				\$ 44.883,08
	<b>TOTAL+UTILIDAD</b>				\$ 269.298,48

## 6. ANALISIS DE RESULTADOS

### 6.1. Caracterización de los escombros generados por cinco proyectos de construcción en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Aunque exista variación de las proporciones de los escombros, de la información recopilada de las tres constructoras del Área Metropolitana de Bucaramanga sobre los escombros generados, desde el punto de vista técnico se evidencia que las posibilidades de reciclaje de residuos varían de acuerdo con su composición, así que los escombros compuestos predominantemente de concreto pueden ser reciclados como agregados para la producción de concretos estructurales, sin embargo como el volumen generado no es suficiente para usarlo como agregado, por ello se recurre a cilindros de concreto de Prevesa S.A.S. que cumple con las especificaciones técnicas de obra.

Se encontró que los escombros generados están compuestos principalmente de mampostería (ladrillos, bloques) en un 42% , de mortero en un 34%, 9% de concreto, 13% de otros materiales (arena, madera, piedra, metal, cerámica rotos y plásticos), y 2% orgánico.

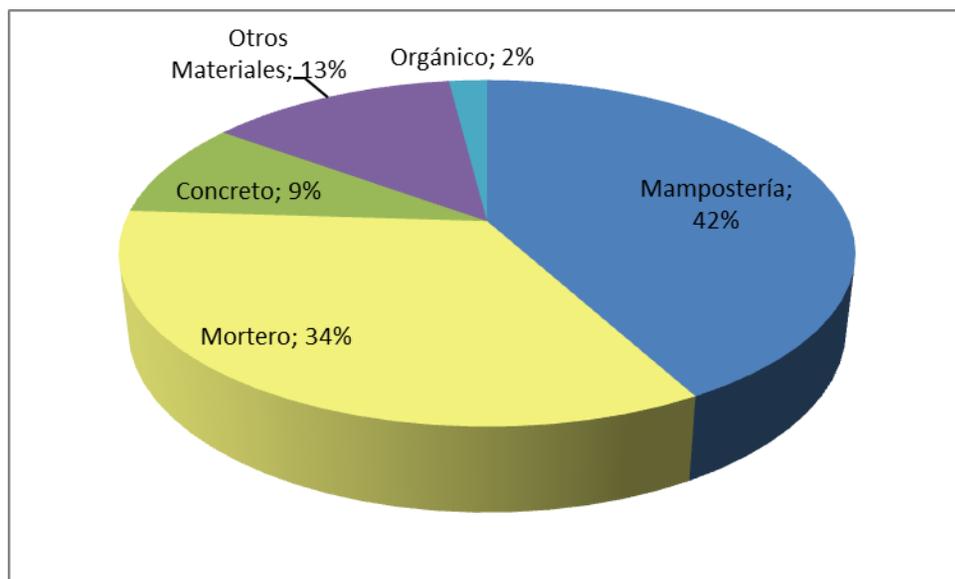


Figura 28. Composición de los residuos provenientes de las constructoras estudiadas.

## 6.2. Caracterización de los materiales.

Los resultados obtenidos en la caracterización de los agregados en la tabla 5, se observó que el escombros grueso usado como agregado obtuvo gravedades entre 2,36 y 2,41 g/cm<sup>3</sup>. Además el escombros grueso con un porcentaje de absorción de 1,53% es considerablemente menor al porcentaje de los agregados finos que corresponden entre 3,3% y 3,5 %. El escombros grueso obtuvo un coeficiente de desgaste de 41,7%.

Se encontró que el escombros fino y la arena tienen propiedades en común, evidenciado en los resultados de la gravedad específica, masa unitaria suelta y compacta.

Respecto al contenido de materia orgánica, el escombros fino presentó un nivel 1 en la tabla de colorimetría y la arena un nivel 2, lo cual sugiere que los materiales contenían muy poca cantidad de materia orgánica.

### 6.2.1. Densidad del cemento.

La densidad del cemento se obtuvo del promedio de las densidades calculadas de diferentes muestras de cementos utilizados en el proyecto que varían en un rango de 2,87 g/cm<sup>3</sup> y 3,12 g/cm<sup>3</sup>. La densidad obtenida es igual a 2.9 g/cm<sup>3</sup>.

### 6.2.2. Porcentaje de vacíos.

La determinación de la mezcla con menor porcentaje de vacíos, en los especímenes se obtuvo porcentajes de vacíos que oscilan entre 35% al 40%

**Tabla 13. Porcentaje de vacíos obtenidos en la mezcla**

<b>Mezcla. Especímenes</b>	<b>Porcentaje de Vacíos.</b>
1	35,4
2	36,2
3	37,4
4	35,3

### 6.3. Análisis económico.

Los costos por metro cúbico del concreto con agregados reciclados tienen un ahorro del 4% en comparación con el concreto normal. Este ahorro se ve reflejado en la producción del material de desecho para proceder a reciclarlo. El agregado reciclado a largo plazo es más económico que el agregado natural, sin embargo un factor que afecta la viabilidad de su uso es la disponibilidad de los escombros, ya que existen limitaciones no existe una ley que obligue el reciclaje de los escombros pues es evidente la falta de formación sobre el reciclaje, de igual forma la baja calidad del material reciclado.

### 6.4. Resultado de resistencia a compresión de especímenes de concreto reciclado.

Se prepararon 30 especímenes de concreto reciclado con una proporción de 40% agregado fino (arena y escombro fino) y 60% de escombro grueso, con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>. La media de las resistencias obtenida es 126 Kg/cm<sup>2</sup> y la desviación estándar es de 13,87. En la figura 29 se presentan el histograma de frecuencias.

El concreto reciclado diseñado para una resistencia de 210 kilogramo por centímetro cuadrado alcanza una resistencia máxima promedio a 28 días de 126 kilogramos por centímetro cuadrado, lo que representa un 60% del total de la resistencia deseada. Por tanto no consigue la resistencia deseada, por causa de las características de los agregados y el diseño de la mezcla.

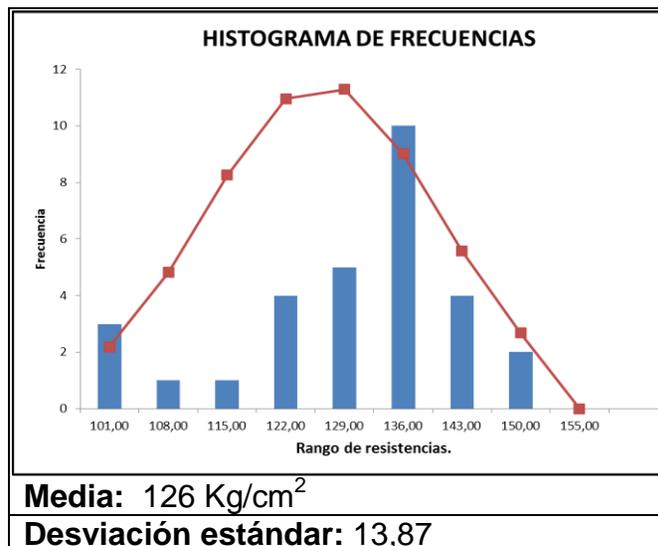


Figura 29. Histogramas de Frecuencias concreto reciclado.

## 7. CONCLUSIONES.

De la caracterización de los escombros generados por los proyectos de construcción analizados en el Área Metropolitana de Bucaramanga, se encontró que los escombros generados están compuestos principalmente de mampostería (ladrillos, bloques) en un 42% , de mortero en un 34%, 9% de concreto, 13% de otros materiales (arena, madera, piedra, metal, cerámica rotos y plásticos), y 2% orgánico. Los porcentajes de mortero y concreto equivalen a 41 %, un porcentaje significativo estos escombros pueden ser dispuestos para el reciclaje, principalmente el concreto y el mortero, que sirven como agregado en la fabricación de concretos estructurales, y en este caso particular en la fabricación de losetas prefabricadas. La mampostería con un porcentaje de 42% es un elemento que podría utilizarse como agregado en la fabricación de elementos estructurales con baja resistencia como agregado fino por sus características.

Respecto a la caracterización de los agregados con las normas establecidas y las propiedades mecánicas para la selección de materiales granulares en mezclas de concreto. Las granulometrías de los escombros gruesos arrojaron valores de tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ " (19 mm), las características del escombro grueso poseen las características técnicas y de calidad de los agregados gruesos

Las granulometrías de los escombros finos y la arena dieron como resultado módulos de finura entre 2,4 y 2,5, por tanto el agregado fino y los escombros finos tienden a tener comportamientos similares.

Desde el punto de vista técnico la resistencia a la compresión con concreto reciclado de mezcla 40% agregado fino (arena y escombro fino) y 60% agregado grueso; se redujo 40% con valores de resistencia promedio a la compresión a los 28 días, de 126 Kg/cm<sup>2</sup> frente a 210 Kg/cm<sup>2</sup>.

A pesar de que el concreto reciclado económicamente representa reducción de impactos ambientales y una reducción de costos del 4%, desde el punto de vista económico es inviable la producción de concreto reciclado, pues las condiciones del mercado no son favorables, ya sea porque el volumen de escombros útiles para reciclaje generado es insuficiente, o no se disponga de una cadena de reciclaje de escombros y producción de agregados reciclados formalizados.

## **8. RECOMENDACIONES.**

- Se recomienda el uso de concreto reciclado como agregado, previniendo la presencia de contaminantes, ya que genera pérdida de las características de los agregados, afectando su utilidad como agregado.
- Se recomienda implementar el proceso de producción de agregado reciclado, con el fin de convertir el reciclaje de escombros en una actividad característica de la construcción acorde a los parámetros desarrollo sostenible.
- Se recomienda el uso de formaleta de madera para la fabricación de las losetas prefabricadas, por su rendimiento y la posibilidad de reciclaje de la misma.
- Se recomienda realizar una serie de ensayos en las losetas, que no se contemplaron en el presente proyecto, como la resistencia química de mortero y la resistencia a la abrasión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1].BEDOYA, Carlos Mauricio; GONZÁLEZ, L. El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles. 2003. Tesis Doctoral. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia.
- [2].VIEIRA, Geilma L.; DAL MOLIN, Denise CC; LIMA, F. B. Resistência e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição. Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho, 2004, vol. 19, p. 5-18.
- [3].KHABALI, Hicham; EL KHALIFI, Kamal Targuisti. EXPLOTACIÓN DE CANTERAS EN LA COSTA DE KENITRA Y SU ÁREA DE INFLUENCIA: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL. QUARRYING IN COASTAL KENIKRA AND ITS AREA OF INFLUENCE: ENVIRONMENTAL IMPACT STUDY. Revista de Estudios Andaluces, 2013, no 30, p. 1-24.
- [4].CADENA, Amparo. Aspectos Técnicos en el manejo de los residuos sólidos. Hacia un Pacto Limpio, Reunión sobre manejo de residuos sólidos y reciclaje, 1995, 237 p.
- [5].Hoffmann, C., Schubert, S., Leemann, A., & Motavalli, M.. Recycled concrete and mixed rubble as aggregates: Influence of variations in composition on the concrete properties and their use as structural material. Construction and Building Materials, 2012, vol. 35, p. 701-709.
- [6].Symonds Group Ltd 46967. Construction and demolition waste management practices, and their economic impacts. Final Report to DGXI, European Commission, February 1996
- [7].POON, C. S. Management of construction and demolition waste. Waste Management, 2007, vol. 27, no 2, p. 159-160
- [8].OIKONOMOU, Nik, et al. Recycled concrete aggregates. Cement and Concrete Composites, 2005, vol. 27, no 2, p. 315-318
- [9].HARMSSEN, Teodoro E. Diseño de estructuras de concreto armado. Fondo editorial PUCP, 2005.
- [10]. DE GUZMAN, DIEGO AUTOR SANCHEZ. Tecnología del concreto y del mortero. Pontificia Universidad Javeriana, 2000.

- [11]. BEDOYA, Carlos. Construcción sostenible. Para volver al camino. Medellín. Biblioteca Jurídica Diké, 2007, p. 146.
- [12]. Ministerio del Medio Ambiente. (1995). "Guía técnica para el manejo de escombros en las obras de construcción", Unidad de Soporte para el control de la contaminación industrial, Bogotá, pp 32.
- [13]. Alcaldía de Bucaramanga .MANUAL PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ESPACIO PÚBLICO DE BUCARAMANGA
- [14]. Domínguez, J., Villanueva, V., & Martínez, E. (2011). Elementos constructivos aplicables a viviendas de interés social fabricados con áridos reciclados. Revista Ingeniería de Construcción, 19(1), 49-58.
- [15]. Torrado Gomez, Luz Marina y Remolina Millan, Aldemar. Evaluación técnico económica del uso del Concreto Reciclado como agregado. UPB, 2007.
- [16]. Serrano M.F., Ferreira J.S., Aprovechamiento de los escombros para producción de concreto, 2009.
- [17]. Invias, Norma INV E-223-07, Gravedad específica y absorción de agregados gruesos.
- [18]. Invias, IBV E-218-07, Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores a 37,5 mm (1½") por medio de la máquina de los ángeles.
- [19]. Invias, Norma INV E-213-07, Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.