

**UTILIZACIÓN DE ESCOMBROS O DESPERDICIOS DE OBRA PARA LA
ELABORACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. CASO: EDIFICIO
CATTLEYA**

**WILSON ESTEBAN HURTADO ORTÍZ
SILVIA FERNANDA SAENZ CORZO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA DE INGENIERÍAS
BUCARAMANGA**

2017

**UTILIZACIÓN DE ESCOMBROS O DESPERDICIOS DE OBRA PARA LA
ELABORACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. CASO: EDIFICIO
CATTLEYA**

**WILSON ESTEBAN HURTADO ORTÍZ
SILVIA FERNANDA SAENZ CORZO**

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR: Ing. Msc. LUZ MARINA TORRADO G.

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA DE INGENIERÍAS
BUCARAMANGA**

2017

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, 14 de julio de 2017

A Dios por alzarme e iluminarme en cada aspecto de mi vida, a mis padres Verónica y Wilson que con su apoyo, paciencia y guía me han hecho un mejor hombre cada día. A mis hermanas Johana, Luisa y Alexandra por siempre acompañarme, con su amor incondicional.

Wilson Esteban Hurtado Ortiz

Dedico este proyecto primeramente a Dios quien es el guía en el camino correcto de mi vida, a mi madre por ser la luz y mi ejemplo a seguir, la que me inspira a ser mejor cada día. A mi padre por estar pendiente de mi bienestar todos los días y por apoyarme en cada una de mis ideas, a mi hermano por estar presente tanto en dificultades como en las adversidades, a los demás miembros de mi familia que me ayudaron en este proceso de alguna manera. A mi Directora de Proyecto, la ingeniera Luz Marina Torrado por invertir su tiempo y darme su conocimiento para sacar adelante los propósitos planteados al inicio de este proceso.

Silvia Fernanda Sáenz Corzo

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Dios por guiar nuestros pasos para poder llegar a la meta y cumplir nuestro sueño, por darnos unos padres que nos dan su apoyo incondicional y nos inspiran a ser cada día mejores personas. Por poner en nuestro camino a nuestra Directora Ing. Msc. Luz Marina Torrado Gómez quien nos compartió sus ideas, tiempo, conocimientos y enseñanzas para realizar este proyecto.

A nuestra compañera y amiga Silvia Medina por estar ahí siempre apoyándonos y dándonos aliento para culminar la meta. Así como también a quienes hicieron parte de este proceso como el personal de laboratorio con su colaboración y ayuda en cada día que debíamos trabajar en ello. A toda la familia UPB por ser ese motor que nos permitió llegar hasta aquí para poder culminar este gran paso en nuestras vidas.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	21
2. OBJETIVOS.....	22
2.1. OBJETIVO GENERAL	22
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	23
3.2. JUSTIFICACIÓN	24
3.3. ALCANCE	24
4. ESTADO DEL ARTE	26
5. MARCO TEÓRICO	31
5.1. RESIDUOS.....	31
5.1.1. Residuos sólidos	32
5.1.2. Residuo sólido aprovechable	32
5.1.3. Escombros	32
5.1.4. Composición física de residuos.....	33
5.1.5. Composición química de residuos.....	33
5.2. MATERIALES DE CONSTRUCCION	33
5.2.1. Mampostería	34
5.2.2. Metales.....	34
5.2.3. Madera	34
5.2.4. Mortero.....	35
5.2.5. Cerámica.....	35
5.2.6. Concreto.....	35
5.3. MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO Y MORTERO	36
5.3.1. Cemento.....	36
5.3.2. Agua.....	36
5.3.3. Agregados.....	36
5.4. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS.....	37
5.4.1. Granulometría de agregados gruesos y finos	37
5.4.2. Peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados compactados o sueltos	37
5.4.3. Gravedad específica y absorción de agregados finos.....	38
5.4.4. Gravedad específica Bulk con superficie seca saturada (s.s.s)	39
5.4.5. Gravedad específica y absorción de agregados gruesos.....	39

5.4.6.	Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto.....	41
5.4.7.	Densidad del cemento hidráulico	41
5.4.8.	Curado del concreto	41
5.5.	ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO.....	42
5.5.1.	Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto	42
5.6.	ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO.....	42
5.6.1.	Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.....	42
5.6.2.	Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico	43
6.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	44
6.1.	MATERIALES	44
6.2.	METODOLOGÍA.....	44
7.	DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO.....	46
7.1.	SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO	46
7.2.	ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE	47
7.3.	ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO	48
7.4.	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DISEÑO.....	51
7.5.	SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO	52
7.6.	CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO.....	53
7.7.	ESTIMACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LOS AGREGADOS	53
7.8.	TABLA DE DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO	55
8.	DOSIFICACIÓN DEL MORTERO.....	58
8.1.	DETERMINACIÓN DEL TIPO DE ARENA	58
8.2.	DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO.....	58
8.3.	SELECCIÓN DE LA CONSISTENCIA	59
8.4.	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONTENIDO DE AGUA	60
8.5.	DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN 1:N.....	61
8.6.	CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO.....	62
8.7.	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA	62
8.8.	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ARENA	63
9.	PREPARACIÓN DE LA MEZCLA	64
10.	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	65
10.1.	Recolección de escombros	65
10.2.	Clasificación de escombros	66
10.3.	Caracterización de los agregados	68

10.3.1. Análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos.....	68
10.3.2. Peso específico y absorción de los agregados	72
10.3.3. Materia orgánica.....	76
10.3.4. Masa Suelta Y Compacta agregados finos y gruesos.....	77
10.3.5. Humedad natural de los agregados	79
10.3.6. Densidad del cemento.....	80
10.4. DOSIFICACIÓN DE LAS CUATRO MEZCLAS DE CONCRETO Y MORTERO	81
10.4.1. Selección del asentamiento	82
10.4.2. Selección del tamaño máximo del agregado.....	82
10.4.3. Estimación del contenido de aire	82
10.4.4. Estimación del contenido de agua de mezclado	83
10.4.5. Determinación de la resistencia de diseño.....	83
10.4.6. Selección de la relación agua-cemento.....	83
10.4.7. Cálculo del contenido de cemento	84
10.4.8. Estimación de las proporciones de los agregados	84
10.5. TABLA DOSIFICADORA DE MORTERO.....	87
10.5.1. Determinación del tipo de arena	87
10.5.2. Determinación de la relación agua-cemento	87
10.5.3. Selección de la consistencia	87
10.5.4. Factores que influyen en el contenido de agua.....	88
10.5.5. Determinación de la proporción 1:n.....	88
10.5.6. Cálculo del contenido de cemento	88
10.5.7. Determinación del contenido de agua	89
10.5.8. Determinación del contenido de arena.....	89
10.6. PREPARACIÓN DE LA MEZCLA	91
10.6.1. Mezcla de concreto	92
10.6.2. MEZCLA DE MORTERO	95
10.7. ENSAYOS DE COMPRESIÓN.....	97
10.7.1. Resultados preliminares de ensayos a compresión del concreto.....	98
10.7.2. Resultados preliminares de ensayos a compresión del mortero	101
10.7.3. Resultados de la segunda fundida del concreto con 10% de escombro	
104	
11. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	106
11.1. RESULTADOS PRELIMINARES.....	106
11.2. RESULTADOS FINALES.....	110
12. CONCLUSIONES	112

13. RECOMENDACIONES.....114
14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....115
15. ANEXOS.....118

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Gravedad específica Bulk para agregado fino.....	38
Ecuación 2. Gravedad específica Bulk s.s.s. para agregado fino.....	38
Ecuación 3. Gravedad específica aparente para agregado fino.....	39
Ecuación 4. Porcentaje de absorción para agregado fino.....	39
Ecuación 5. Gravedad específica Bulk para agregado grueso.....	40
Ecuación 6. Gravedad específica Bulk s.s.s. para agregado grueso.....	40
Ecuación 7. Gravedad específica aparente para agregado grueso.....	40
Ecuación 8. Porcentaje de absorción para agregado grueso.....	40
Ecuación 9. Densidad del Cemento.....	41
Ecuación 10. Resistencia de diseño para resistencia menor a 21 Mpa.....	52
Ecuación 11. Resistencia de diseño para resistencia entre 21 y 35 Mpa...	52
Ecuación 12. Resistencia de diseño para resistencia mayor a 35 Mpa.....	52
Ecuación 13. Contenido de Cemento para concreto.....	54
Ecuación 14. Calculo para b/bo.....	54
Ecuación 15. Peso del agregado grueso.....	55
Ecuación 16. Volumen de agregado fino para mezcla normal de concreto.	57
Ecuación 17. Volumen de escombro para mezcla de concreto.....	57
Ecuación 18. Volumen de agregado fino para mezcla de concreto con escombro.....	57
Ecuación 19. Relación agua-cemento.....	60
Ecuación 20. Determinación de la proporción 1:n.....	62
Ecuación 21. Contenido de cemento para mezcla normal de mortero.....	62
Ecuación 22. Determinación del contenido de agua para mezcla de mortero.....	62
Ecuación 23. Determinación del contenido de arena para mezcla de mortero.....	63
Ecuación 24. Porcentaje de humedad.....	79
Ecuación 25. Densidad del cemento.....	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Asentamiento según la consistencia deseada.....	46
Tabla 2. Contenido de aire dependiendo del Tamaño máximo nominal del agregado.....	47
Tabla 3. Contenido de agua para partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto sin aire incluido.....	48
Tabla 4. Contenido de agua para partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto sin aire incluido.....	49
Tabla 5. Contenido de agua para partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto con aire incluido.....	50
Tabla 6. Contenido de agua para partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto con aire incluido.....	51
Tabla 7. Relación agua cemento sin aire incluido dependiendo de la resistencia a la compresión de diseño.....	52
Tabla 8. Relación agua cemento con aire incluido dependiendo de la resistencia a la compresión de diseño.....	53
Tabla 9. Proporciones de los agregados dependiendo del tamaño máximo nominal del mismo.....	54
Tabla 10. Tabla de dosificación del concreto sin escombros.....	55
Tabla 11. Tabla de dosificación del concreto con porcentaje de escombros	56
Tabla 12. Consistencia del mortero.....	59
Tabla 13. Valores de b según la consistencia y el tipo de granos de arena.	61
Tabla 14. Clasificación de escombros.....	67
Tabla 15. Análisis granulométrico del agregado fino.....	69
Tabla 16. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	70
Tabla 17. Análisis granulométrico del escombros.....	71
Tabla 18. Resultados del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.....	73

Tabla 19.	Resultados del ensayo de peso específico y absorción del escombros.....	73
Tabla 20	Resultados del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso	75
Tabla 21.	Datos de Masa Unitaria Suelta del agregado fino.....	77
Tabla 22.	Datos de Masa Unitaria Compacta del agregado fino.....	78
Tabla 23.	Datos de Masa Unitaria Suelta del agregado grueso.....	78
Tabla 24.	Datos de Masa Unitaria Compacta del agregado grueso.....	79
Tabla 25.	Datos de Densidad del Cemento.....	80
Tabla 26.	Tabla de dosificación del concreto normal.....	85
Tabla 27.	Tabla de dosificación del concreto con 5% de escombros.....	85
Tabla 28.	Tabla de dosificación del concreto con 10% de escombros.....	86
Tabla 29.	Tabla de dosificación del concreto con 15% de escombros.....	86
Tabla 30.	Tabla de dosificación del Mortero normal.....	89
Tabla 31.	Tabla de dosificación del mortero con 5% de escombros.....	90
Tabla 32.	Tabla de dosificación del mortero con 10% de escombros.....	90
Tabla 33.	Tabla de dosificación del mortero con 15% de escombros.....	91
Tabla 34.	Resultados de los ensayos a compresión del concreto a los 7 días.....	98
Tabla 35.	Resultados de los ensayos a compresión del concreto a los 14 días.....	99
Tabla 36.	Resultados de los ensayos a compresión del concreto a los 28 días.....	100
Tabla 37.	Resultados de los ensayos a compresión del mortero a los 7 días.....	101
Tabla 38.	Resultados de los ensayos a compresión del mortero a los 14 días.....	102
Tabla 39.	Resultados de los ensayos a compresión del mortero a los 28 días.....	103

Tabla 40.	Resultados Finales de los ensayos a compresión del concreto a los 7 días.....	104
Tabla 41.	Resultados Finales de los ensayos a compresión del concreto a los 28 días.....	105
Tabla 42.	Resultados Finales de los ensayos a tensión del concreto.....	105
Tabla 43.	Resultados de la resistencia a la compresión del concreto promedio.....	106
Tabla 44.	Resultados de la resistencia a la compresión del mortero promedio.....	108
Tabla 45.	Resultados Finales de la resistencia a la compresión del concreto promedio.....	111

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Valores de relación agua-cemento para morteros con arena de forma redondeada y textura lisa.....	58
Gráfica 2. Valores de relación agua-cemento para morteros con arena de forma angular y textura rugosa.....	59
Gráfica 3. Relación agua-cemento según el porcentaje de flujo.....	60
Gráfica 4. Porcentajes para cada tipo de escombros.....	68
Gráfica 5. Comportamiento del concreto según el porcentaje de escombros.....	107
Gráfica 6. Comportamiento del concreto según los días de curado.....	108
Gráfica 7. Comportamiento del mortero según el porcentaje de escombros.....	109
Gráfica 8. Comportamiento del mortero según días de curado.....	110
Gráfica 9. Comparación de la mezcla preliminar frente a la mezcla final de concreto con 10% de escombros.....	111

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Recolección de escombros.....	65
Figura 2. Clasificación de escombros.....	66
Figura 3. Granulometría del agregado fino.....	70
Figura 4. Granulometría del agregado grueso.....	71
Figura 5. Granulometría del escombros.....	72
Figura 6. Proceso de secado para conseguir el estado del material saturado superficialmente seco para el ensayo de absorción	74
Figura 7. Picnómetro para realizar el ensayo de absorción.....	74
Figura 8. Resultado del contenido de materia orgánica de la arena.....	76
Figura 9. Resultado del contenido de materia orgánica del escombros...	76
Figura 10. Picnómetro de Densidad del Cemento.....	81
Figura 11. Preparación de la mezcla de Concreto.....	92
Figura 12. Consistencia de la mezcla de Concreto.....	93
Figura 13. Proceso para fundir el cilindro de concreto.....	93
Figura 14. Cilindros de Concreto fresco.....	94
Figura 15. Cilindros de Concreto endurecido.....	94
Figura 16. Preparación de la mezcla de mortero.....	95
Figura 17. Proceso para fundir el cubo de mortero.....	96
Figura 18. Cubos de Mortero endurecido.....	96
Figura 19. Ensayo a compresión del concreto.....	97
Figura 20. Ensayo a compresión del mortero.....	97

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A Memorias de cálculo.
- Anexo B Manual , “Utilizacion de escombros en mezclas de
concreto”.

GLOSARIO

CONCRETO: Es la unión de cemento, agua, aditivos, grava y arena lo que nos da una mezcla llamada concreto. El cemento representa sólo el 15% en la mezcla del concreto por lo que es el que ocupa menor cantidad en volumen; sin embargo su presencia en la mezcla es esencial.

Al concreto se le agrega un aditivo el cual tiene diferentes funciones tales como reducir el agua, acelerar la resistencia e incrementar su trabajabilidad.

MORTERO: El mortero, es toda materia plástica que está compuesto por la mezcla de conglomerante inorgánicos como son: agua, aglutinante, y arena, los cuales se utilizan para obra de albañilería como material de agarre, aplanados y repellados, revestimiento de pared, bloques para formar muros, hechura de registros, emboquillados y resanes.

RESIDUO: Residuos producidos en el curso de la construcción de viviendas, oficinas, presas, plantas industriales, escuelas y otras estructuras. Los materiales normalmente están formados por madera usada, piezas metálicas diversas, materiales de embalajes, latas, cajas, alambre, placas metálicas, hormigón sobrante y ladrillos rotos, y otros materiales.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: UTILIZACIÓN DE ESCOMBROS O DESPERDICIOS DE OBRA PARA LA ELABORACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. CASO: EDIFICIO CATTLEYA.

AUTOR(ES): Wilson Esteban Hurtado Ortíz - Silvia Fernanda Sáenz Corzo

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Luz Marina Torrado Gómez

RESUMEN

La construcción de cualquier obra trae consigo una cantidad significativa de escombros que muy pocas veces son aprovechados, lo cual hace que se pasen a ser un factor negativo para el medio ambiente y para área de presupuesto de dicha obra, pues la empresa constructora debe disponer recursos para el transporte y deshecho de dicho material. Esta investigación estudia la posibilidad de la creación de nuevos materiales de construcción a partir de residuos previamente escogidos y clasificados; de esta manera se permite el aprovechamiento de materiales que por muchos se consideran inutilizables. Los residuos utilizados fueron materiales finos y a partir de estos se crearon 4 mezclas de concreto y mortero, cada una con un porcentaje correspondiente al 5%, 10% y 15% del material de residuo, además de la mezcla de referencia. Seguido de los ensayos pertinentes se puede concluir que todas las mezclas cumplen con las condiciones establecidas para su utilización en la construcción de obras civiles, sin embargo, la mezcla más óptima para la creación de concreto y mortero es la mezcla correspondiente al 10% de residuo ya que su resistencia fue mayor a las otras, obteniendo alrededor de 4031,92 PSI.

PALABRAS CLAVES:

Residuos, Escombros, Mezcla, Concreto, Mortero.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: USE OF WASTE OR WORK WASTE FOR THE PREPARATION OF CONSTRUCTION MATERIALS. CASE:CATTLEYA BULDING.

AUTHOR(S): Wilson Esteban Hurtado Ortíz - Silvia Fernanda Sáenz Corzo

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Luz Marina Torrado Gómez

ABSTRACT

The construction of any work brings with it the significant amount of debris that very seldom is taken advantage of, which causes that they pass a being a negative factor for the environment and for the area of budget of said work, For the transport and waste of Said materialThis research studies the possibility of the creation of new construction materials from previously selected wastes and states; This allows the use of materials that by many are considered unusable.The materials used were fine materials and from these they created 4 mixtures of concrete and mortar, each with a percentage corresponding to 5%, 10% and 15% of the waste material, in addition to the reference mixture.Following the relevant tests it can be concluded that all mixtures meet the conditions established for use in the construction of civil works, however, the most optimal mix for the creation of concrete and mortar is the mixture corresponds to 10% That their resistance was greater than the others, obtaining around 4031,92 PSI.

KEYWORDS:

Waste, Debris, Mixture, Concrete, Mortar.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo se enfoca en la utilización de escombros o desperdicios de obra para la elaboración de materiales de construcción; en este caso se hace en base al Edificio Cattleya, y tiene como objetivo evaluar la viabilidad de crear material de construcción a partir de los residuos de esta obra ubicada en la ciudad de Bucaramanga.

Para efectuar lo anteriormente descrito se identificó el tipo de escombros pertinente, producido por el edificio Cattleya, para la elaboración de material que se podría utilizar en la construcción de futuros proyectos; también se adecuaron las diferentes mezclas con el escombros elegido verificando su cumplimiento con las normas técnicas colombianas correspondientes, y por último se elaboró un documento base con las especificaciones requeridas para la elaboración de un material, para futuras construcciones, a partir de los escombros similares a los seleccionados del Edificio Cattleya, permitiéndole a otras personas hacer práctica esta investigación aprovechando cada uno de los beneficios que esta trae, tanto en el aspecto económico como ambiental.

Con esta investigación se pretende entonces hacer del ejercicio de la construcción una actividad más sostenible en las diferentes dimensiones que son contempladas antes de su ejecución, como lo es la parte presupuestal y la disminución al impacto medioambiental al que todos debemos contribuir.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la viabilidad de crear material de construcción a partir de los residuos de la obra que se está desarrollando en el Edificio Cattleya, en la ciudad de Bucaramanga, para su utilización en futuros proyectos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el tipo de escombros pertinentes, producido por el edificio Cattleya, para la elaboración de material que se pueda utilizar en la construcción de futuros proyectos.
- Adecuar las diferentes mezclas con el escombros elegido verificando su cumplimiento con las normas técnicas colombianas correspondientes.
- Elaborar un documento base con las especificaciones requeridas para la elaboración de un material, para futuras construcciones, a partir de los escombros similares a los seleccionados del Edificio Cattleya.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Con el pasar de los años la construcción ha tenido un gran avance gracias a estudios e investigaciones, identificando nuevos procedimientos que brinden mayor resistencia, economía y durabilidad.

En la ciudad de Bucaramanga es muy común encontrar grandes cantidades de escombros en las diferentes obras que se están llevando a cabo, desde obras públicas como el tercer carril hasta obras privadas, como el edificio Cattleya, que actualmente se está desarrollando en el barrio San Alonso.

Debido a la alta cantidad de escombros que se producen en una obra se generan grandes costos que afectan a la productividad y presupuesto de un proyecto. Por este motivo, a través de este proyecto de investigación, se pretende hacer uso de éstos para mitigar el impacto generado, reducir gastos innecesarios y en especial, lograr implementarlos en materiales e insumos para la realización de nuevas obras, y de esta manera lograr que se promueva el reciclaje y la reutilización de materiales para un desarrollo sostenible de la construcción.

Cabe resaltar que esta investigación se desarrolló en base a un estudio de caso en el cual se estudió la viabilidad de crear material de construcción a partir de los residuos de la obra que se desarrolló en el Edificio Cattleya; además se verificó si este producto obtenido cumple con las Normas Técnicas Colombianas y las Normas Invias para la construcción de futuros proyectos o utilización en otros ya existentes.

3.2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años en el área metropolitana de Bucaramanga se han incrementado el número de obras civiles. Según el III Censo trimestral del 2016 realizado por el DANE, en nuestra ciudad existen aproximadamente 2'323.817 m² en proceso de construcción, lo cual influye directamente sobre la cantidad de escombros generados, la afectación ambiental de la ciudad y las problemáticas generadas sobre población cercana a los destinos donde llega este material.

Esta problemática persiste por la falta de clasificación y reutilización de los escombros, lo cual puede provenir por la falta de conocimientos sobre esta situación y sobre cómo realizar dichos procesos, o por falta de cultura respecto al tema.

El reciclaje de los distintos desperdicios generados en obra es de suma importancia en cuestiones de economía y de problemas ambientales; por esta razón, a través de este proyecto, se busca evaluar la viabilidad de crear material de construcción a partir de los residuos de una obra, desde un estudio de caso, para reutilizar estos materiales, que son continuamente desechados, y convertirlos en insumos útiles para el desarrollo de otras obras, y así mitigar en parte las consecuencias negativas que traen para la población el no realizar dichos procedimientos.

3.3. ALCANCE

Proponer un material para la fabricación de elementos de construcción obtenido a partir del adecuado proceso de reciclaje de residuos de obra, que ayude a reducir el impacto ambiental y presupuestal que produce el crecimiento de residuos.

Para llegar al cumplimiento de este objetivo general fue necesario identificar en un primer momento la clase de residuos obtenidos en la obra objeto de estudio y elegir el tipo de escombros pertinentes para la elaboración de material que se pudiera utilizar en la construcción de futuros proyectos.

En seguida, se procedió a adecuar diferentes mezclas para la realización de muestras para luego poder proceder al ensayo de los resultados obtenidos.

Al obtener los prototipos de materiales obtenidos de los diferentes ensayos realizados previamente, se procedió a comprobar que cumplan con las diferentes Normas Técnicas Colombianas que rigen actualmente al Sector de la construcción, y de esta manera poder permitirse su uso para futuros proyectos de obras civiles que quieran implementarlo.

El alcance de este proyecto de investigación fue la realización de una muestra patrón que sirva para la comparación de los resultados y dos muestras de material con porcentajes de escombros, las cuales sirven para definir criterios de aceptabilidad de este tipo de material en construcción.

Esta muestra patrón será de aproximadamente 30 especímenes con los cuales se pretende determinar el porcentaje óptimo, una vez determinado este porcentaje se procederá a elaborar 24 especímenes de mortero para probar a 7, 14 y 28 días y 48 especímenes de concreto para ser probados a 7, 14 y 28 días tanto a compresión como a flexión.

4. ESTADO DEL ARTE

Según investigaciones registradas en años anteriores donde se han implementado desperdicios de obra en materiales de construcción, se ha encontrado que se extraen materiales como plástico, acero y madera para así poder proceder a una fase de trituración de los distintos desperdicios que en su mayoría son yesos, estucos, frisos, mampuestos, cerámica, mortero, cementos y concreto.

Para la realización de esta investigación se tuvo en cuenta las siguientes investigaciones relacionadas en el tema objeto de estudio, las cuales se tomaron como punto referencia para el desarrollo de este tema.

En 1997, En Cuba, Jorge Álvarez Cabrera, Ingeniero del Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de construcción; en compañía de Francisco Urrutia, Arquitecto; Deborah Lecusay, Arquitecta; y Adela Fernández, Arquitecta; publican una Investigación denominada “Morteros de albañilería con escombros de demolición”.

Este proyecto surge desde el deseo del reciclaje de escombros, su efectividad técnica, económica, y el impacto social y ecológico positivo que puede proporcionar a la sociedad. El trabajo consistió en la preparación y estudio de morteros de albañilería a partir de la utilización de productos de demolición como agregado.

Para el muestreo y realización de las pruebas correspondientes se prepararon 4 dosificaciones volumétricas, las cuales fueron posteriormente sometidas a ensayos físico-mecánicos, resistencia a la adherencia, y absorción capilar. Sus resultados fueron comparados posteriormente con los índices respectivos de los morteros tradicionales utilizados en las construcciones.

Como conclusión se obtuvo que el material proveniente del reciclaje de escombros provenientes de obras civiles, es apropiado para la producción de morteros, ya que su comportamiento y funcionalidad es similar a las características de los materiales utilizados comúnmente. Además de esto se indica también su efectividad a nivel económico respecto al presupuesto de la obra y al efecto ecológico en el entorno medioambiental. [1]

En el año 2009 se registra la publicación de otra investigación con objeto de estudio similar al presenta, la cual se registra como “Aprovechamiento de escombros como agregados no convencionales en mezclas de concreto.” Este trabajo investigativo fue realizado por Juan Sebastián Ferreira Díaz, en la ciudad de Bucaramanga, Colombia.

Su objetivo principal fue proponer una alternativa para el aprovechamiento de los residuos provenientes de las actividades de la construcción para Bucaramanga y su área metropolitana.

Para la realización de este estudio realizó una clasificación de los materiales residuales que se iban a trabajar, entre los cuales estaba incluidos por Arena recolectada del río Pescadero, triturado, escombros gruesos, escombros finos, muestras de ladrillos trituradas y tamizadas. Con estos materiales se realizaron 4 tipos de muestras las cuales fueron probadas y comparadas.

Para el diseño de las diferentes mezclas se adoptó el concepto de utilizar la combinación de materiales que proporcionaran el menor porcentaje de vacíos y los pasos generales fueron; Selección del asentamiento, Selección del TMN, Estimación del contenido de agua de mezclado, Cálculo del contenido de cemento, Estimación del volumen de agregados, Selección del porcentaje adecuado de

mezcla, Ajuste por humedad, Ajuste por asentamiento y Cálculo de concreto para preparar los cilindros y vigas.

A partir de las pruebas realizadas posteriormente, se concluyó que las mezclas elaboradas cumplen las características mecánicas para ser utilizados como agregados en mezclas.

Katty Milena Parra y María Alejandra Bautista realizaron en el 2010 un proyecto de investigación denominado “Diseño de una mezcla de concreto utilizando residuos industriales y escombros”, desarrollada en la ciudad de Bucaramanga.

Su principal objetivo es el diseño de una mezcla de concreto aprovechando residuos industriales y escombros. Para el cumplimiento de esto se dosificaron cuatro mezclas con diferentes proporciones de material residual y tres relaciones agua/cemento.

El procedimiento para las pruebas correspondientes estuvo determinado por un análisis granulométrico de agregados gruesos y finos; y Resistencia al desgaste de los agregados gruesos por medio de la máquina de los ángeles. Como conclusión se obtuvo que los materiales preparados tienen un porcentaje menor de absorción, gravedad específica mayor que la gravedad de los agregados naturales y se comportan como agregado fino; sin embargo, cumplen, en general, con las normas establecidas para selección de materiales granulares en mezclas de concreto.

Para el año 2012, se realizó una investigación llamada “Determinación de propiedades físico – químicas de los materiales agregados en muestra de escombros en la ciudad de Bogotá D.C.” y estuvo bajo el direccionamiento de Álvaro Chávez Porras, Nataly Lorena Guarín y María Carolina Cortes.

Bajo la necesidad de adoptar estrategias de reducción, reúso y reciclaje de los escombros en la ciudad de Bogotá se decidió llevar a cabo esta investigación. Con una muestra local se pudo identificar características detalladas como la granulometría, absorción, porosidad, resistencia a la compresión, pH, carbono orgánico total, metales pesados y elementos menores. Gracias a estos resultados se pudieron comparar con los componentes obtenidos de forma natural, y se concluyó que los componentes de desechos agregados tienen semejanza con los mencionados anteriormente, ya que poseen alto potencial para ser utilizados y cumplen con las especificaciones requeridas por las Normas Técnicas Colombianas.[2]

Por último, está como referencia el trabajo investigativo realizado por Yimmy Silva, Rafael Robayo, Pedro Mattey y Silvio Delvasto, denominado “Obtención de concretos autocompactantes empleando residuos de demolición”; desarrollado en Cali Colombia.

Su objetivo principal a cumplir con la realización de este trabajo fue la utilización de los residuos de mampostería molida en la producción de concretos autocompactantes (CAC) como reemplazo del cemento en porcentajes entre el 10% y el 50%. Las propiedades en estado fresco se evaluaron mediante los ensayos de flujo de asentamiento con cono de Abrams, Caja en L y embudo en V. Igualmente se evaluaron también las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y a la tracción directa.

Los resultados obtenidos aseguran que si es posible la sustitución del 10% y 20% del cemento; sin embargo, en sustitución del 30% y 50% la resistencia fue inferior, pero a pesar de esto sigue siendo viable la sustitución. [3]

En conclusión, se pudo determinar en referencia a estos 5 proyectos, que la viabilidad de este trabajo de grado objeto de estudio corresponde a una temática interesante y actual, ya que este tema ha sido de interés para muchas personas desde décadas pasadas y han sido positivos los resultados.

5. MARCO TEÓRICO

La idea de reutilización de escombros en materiales de construcción surge de la creciente en la demanda de estos para la construcción o reparación de obras civiles, el reciclar estos escombros es una alternativa para mitigar el impacto ambiental que se puede provocar al no tener un buen manejo de ellos, aunque es por ley depositar estos escombros es un botadero legal el cual tiene un costo por metro cuadrado, en muchas de las obras del país no lo hacen y recurren a disponerlos en cualquier terreno baldío.

En lugares donde existen derrumbes o demoliciones de materiales como ladrillos, concreto, maderas y algunos finos, de la idea de reciclar dichos materiales se genera la idea de la reutilización como parte de los agregados para otros materiales como nuevos concretos, mampuestos, y morteros.

Con esos materiales reciclados se obtiene una fuente se puede decir que natural de materia prima la cual al utilizarla se puede reducir el costo en la elaboración de los materiales para la construcción y teniendo también un ahorro en combustible al no tener que transportar tanta cantidad de escombros hasta el botadero.

En la mayoría de proyectos se producen escombros y es necesario saber cómo se pueden aprovechar y que métodos utilizar para su análisis, construcción y colocación.

5.1. RESIDUOS

A medida que el nivel de vida de una comunidad aumenta, la generación de escombros se incrementa proporcionalmente, por lo tanto, el impacto que estos

producen también será mayor, entonces se hace necesario adoptar nuevos comportamientos de mitigación en diversas poblaciones.

5.1.1. Residuos sólidos

El residuo sólido es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. [4] Los residuos sólidos se dividen en aprovechables y no aprovechables. Igualmente, se consideran como residuos sólidos aquellos provenientes del barrido de áreas públicas.

5.1.2. Residuo sólido aprovechable

Es aquel que no tiene valor para quien lo generó, pero es susceptible en la incorporación en un proceso productivo, estos residuos es la fuente de trabajo de los recicladores y los escombros pueden ser parte de estos.

5.1.3. Escombros

En diferentes actividades como demolición, remodelación y construcción se genera un material residual el cual se conoce como escombros. Hoy en día la tendencia es la construcción sostenible por lo que es importante buscar la eficiencia y lograr reducir al máximo el impacto ambiental negativo generado en las distintas labores de la ingeniería.

En diversos estudios se han aprovechado el concreto como residuo sólido producto de las demoliciones, aunque esto puede afectar las propiedades físico-mecánicas

disminuyendo la calidad, resistencia y durabilidad y es necesario comprobar la cantidad de arcilla y la densidad de compactación de estos materiales reciclados hasta saber las variedades que puede tener a la hora de realizar la mezcla.

Para comenzar se hace necesario conocer qué tipo de escombros se pueden generar en una obra y qué características tiene cada uno de ellos.

5.1.4. Composición física de residuos

Las características físicas de residuos definen el potencial de recuperación de varios productos y la mejor manera para tratarlos. La mayoría de residuos generados en las ciudades son de papel y cartón, vidrio y cerámica, metales, plásticos, textiles, madera, ladrillos, entre otros.

Los residuos como los escombros dependerán del tipo de actividad donde se puede encontrar concreto, ladrillo, tejas, madera, vidrios, papel, cartón, plástico, yeso, asfalto, hormigón, suelo, áridos y metales.

5.1.5. Composición química de residuos

La composición química es el indicador para conocer el material y sus diferentes características. Los escombros tienen un índice de peligrosidad bajo, pero si generan un mayor impacto visual por la gran cantidad de espacio que ocupan.

5.2. MATERIALES DE CONSTRUCCION

Los materiales de construcción son la serie de materias primas que se utilizan para la elaboración de cualquier tipo de construcción; y entre estas, las más comunes son:

5.2.1. Mampostería

Es el sistema tradicional para la construcción de muros mediante la colocación de los elementos o materiales denominados mampuestos que pueden ser Prefabricadas como ladrillos y Naturales que son consistentes de piedra o cantería. La mampostería como parte de los escombros es generado en la fase de demolición y obra negra.

5.2.2. Metales

Poseen propiedades intrínsecas, son bastante utilizados en la construcción. Es usado sobre todo para estructuras, refuerzos, revestimientos, tejados, marcos de ventanas, fontanería, equipos de calefacción y entre otras. Este tipo de material metálico se convierte en escombros en actividades de la construcción como demolición, construcción de la infraestructura y acabados.

5.2.3. Madera

Es un material resistente que se producto de la transformación del árbol. Es un recurso forestal utilizado como material de construcción. Es el más antiguo elemento de construcción utilizado por el hombre. En Colombia es muy común usar este tipo de material como formaleta y acabados, y en estas actividades es donde se puede generar la madera como escombros.

5.2.4. Mortero

Son mezclas plásticas las cuales contienen un porcentaje de aglomerante el cual puede ser cemento, cal o yeso, un porcentaje de arena y un porcentaje de agua, este se usa para unir los bloques o ladrillos en una construcción o como revestimiento con enlucidos o revoques. El mortero se puede dividir según su composición de cemento y arena, arena y cal, cemento y cal, y a partir de esto ser empleado en bastantes aplicaciones en una edificación. El mortero como escombros puede ser producto de actividades de obra negra, obra gris y acabados donde normalmente se usa el mortero como mortero de pega y frisos.

5.2.5. Cerámica

Son piezas que se usan como recubrimiento en interiores y exteriores tanto en elementos verticales que normalmente son los pisos como horizontales que son los enchapes y por lo general son usados en ambientes expuestos a humedad constante. En la fase de acabados la cerámica al tener alguna irregularidad o quebrarse se convierte en escombros.

5.2.6. Concreto

Es la mezcla de diversos elementos utilizada en la construcción que con una dosificación adecuada es posible preparar un concreto de calidad de acuerdo a las normas. Es una unión de cemento, agua, aditivos, grava y arena. El Concreto como escombros es producto principalmente de actividades como demoliciones y la construcción de infraestructura, donde se puede generar arenas de las mezclas de concreto, sobrantes de mezclas y residuos de placas, vigas y columnas de concreto.

5.3. MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO Y MORTERO

Los escombros se pueden aprovechar como parte de varios tipos de materiales de construcción, algunos de estos son el concreto y el mortero ya definidos anteriormente, para la fabricación de estos se requieren elementos los cuales son:

5.3.1. Cemento

Material de construcción compuesto de una sustancia en polvo que, mezclada con agua u otra sustancia, forma una pasta blanda que se endurece en contacto con el agua o el aire; se emplea para tapar o rellenar huecos y como componente aglutinante en bloques de hormigón y en argamasas. [5]

5.3.2. Agua

Sustancia líquida sin olor, color ni sabor que se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro formando ríos, lagos y mares, ocupa las tres cuartas partes del planeta Tierra y forma parte de los seres vivos; está constituida por hidrógeno y oxígeno ($H_2 O$). [6]

5.3.3. Agregados

Los agregados, compuestos de materiales geológicos tales como la piedra, la arena y la grava, se utilizan virtualmente en todas las formas de construcción. Se pueden aprovechar en su estado natural o bien triturarse y convertirse en fragmentos más pequeños. [7]

5.4. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

Es indispensable hacerle ensayos a los agregados ya que se hace necesario conocer las propiedades de ellos, las cuales son primordiales para un buen diseño de mezcla de concreto.

5.4.1. Granulometría de agregados gruesos y finos

Este método de ensayo tiene por objeto determinar la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. En los laboratorios se aplica usando mallas de abertura redonda, y no se emplea para agregados de mezclas asfálticas. Este ensayo nos sirve para hallar el tamaño máximo nominal y el módulo de finura. [8]

5.4.2. Peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados compactados o sueltos

Este ensayo es aplicable a los materiales que sean de tamaño máximo nominal menor o igual a 125mm (5"). La densidad Bulk es usada para determinar la relación ente masa y para conversiones en acuerdos de compra. Sin embargo, la relación entre el grado de compactación de los agregados en una unidad de transporte o en una pila de acopio se desconoce. Además, los agregados en las unidades transportadoras y en las pilas de acopio generalmente contienen humedad absorbida o de superficie (esta última afecta el abultamiento), en cambio este método de prueba determina la densidad Bulk basada en condiciones en seco.[9]

5.4.3. Gravedad específica y absorción de agregados finos

Esta norma no pretende considerar los problemas de seguridad asociados con su uso. Quien emplee esta norma deberá establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y el determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo. [10]

Se calcula la gravedad específica Bulk, 23/23°C, (G_{sb} 23/23°C) de la siguiente forma:

$$\text{Gravedad específica Bulk} = \frac{A}{B + S - C} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Dónde:

A = masa al aire de la muestra de seca al horno, g;

B = masa del picnómetro aforado lleno de agua, g;

C = masa total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua, g; y

S = masa de la muestra saturada y superficialmente seca, g.

Se calcula la gravedad específica Bulk saturada y superficialmente seca, de la siguiente forma:

$$\text{Gravedad específica Bulk. s. s. s} = \frac{S}{B + S - C} \quad \text{Ecuación 2.}$$

5.4.4. Gravedad específica Bulk con superficie seca saturada (s.s.s)

Se calcula la gravedad específica aparente, de la siguiente forma:[11]

$$\text{Gravedad específica aparente} = \frac{A}{B + A - C} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Se calcula absorción definida en la norma I.N.V.E-223, de la siguiente forma:

$$\% \text{Absorción} = \frac{S - A}{A} * 100 \quad \text{Ecuación 4.}$$

5.4.5. Gravedad específica y absorción de agregados gruesos

Gravedad específica Bulk: Es la relación entre el peso en el aire del volumen de agregado (incluyendo los vacíos permeables e impermeables de sus partículas pero no los vacíos entre partículas) a una determinada temperatura y el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada, libre de gas, a la misma temperatura.[11]

Gravedad específica Bulk aparente: Es la relación entre el peso en el aire del volumen de la porción impermeable del agregado a una determinada temperatura y el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada, libre de gas, a la misma temperatura. [11]

Gravedad específica Bulk en condición saturada y superficialmente seca (SSS)

Es la relación entre el peso en el aire en condición saturada y superficialmente seca, incluyendo el peso del agua que ocupa los vacíos de las partículas luego inmersión durante 15 horas (pero sin incluir los vacíos entre partículas) y el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada, libre de gas, a la misma temperatura.[11]

Absorción: Es la masa del agua que llena los poros permeables de las partículas de agregado sin incluir el agua adherida a la superficie de las mismas, expresada como porcentaje de la masa seca del agregado, después de secado a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Se calculan las gravedades específicas bulk, bulk saturada con superficie seca y aparente, así como la absorción, mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Gravedad específica Bulk} = \frac{A}{A - C} \quad \text{Ecuación 5.}$$

$$\text{Gravedad específica Bulk. s. s. s} = \frac{B}{B - C} \quad \text{Ecuación 6.}$$

$$\text{Gravedad específica aparente} = \frac{A}{A - C} \quad \text{Ecuación 7.}$$

$$\% \text{Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100 \quad \text{Ecuación 8.}$$

Dónde:

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

B = masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca, en gramos.

C = masa sumergida en agua de la muestra saturada, en gramos.

5.4.6. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto

Mediante este método se determina aproximadamente de la presencia de impurezas orgánicas perjudiciales en agregados finos que serán utilizados en cemento hidráulico o concreto. El principal valor de este ensayo es proporcionar un aviso de que pueden estar presentes, cantidades perjudiciales de materia orgánica. Cuando una muestra sometida a este ensayo produce un color más oscuro que el color estándar es recomendable realizar el ensayo para determinar los efectos de la materia orgánica sobre la resistencia del mortero, de acuerdo con el método de ensayo . [12]

5.4.7. Densidad del cemento hidráulico

Este método de ensayo se establece para determinar la densidad del cemento hidráulico. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de concreto. La diferencia entre las lecturas inicial y final representa el volumen líquido desplazado por el peso de cemento usado en el ensayo. La densidad debe calcularse de la siguiente manera [13]:

$$Densidad = \frac{masa\ del\ cemento\ (Kg)}{Volumen\ desplazado\ (cm^3)} \quad \text{Ecuación 9.}$$

5.4.8. Curado del concreto

El curado es la exposición de los especímenes de concreto a condiciones estándar de humedad y temperatura antes de someter las muestras a ensayo. El control en estas condiciones es fundamental para garantizar la calidad de los resultados en los ensayos. Estudios han demostrado que aun en condiciones de temperatura

adecuadas (16 a 27°C) la resistencia puede bajar hasta un 8% si las condiciones de humedad no son las recomendadas.

Un curado eficaz es necesario para reducir o evitar el secado prematuro y permitir la evolución adecuada de la hidratación del cemento. Por su parte un curado defectuoso puede comprometer la calidad del concreto de recubrimiento, reduciendo su resistencia al desgaste y su durabilidad. [14]

5.5. ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO

5.5.1. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto

Una muestra de concreto fresco se coloca en un molde tronco cónico y se compacta mediante una varilla. El molde se levanta permitiendo que el concreto se asiente. El asentamiento corresponde a la diferencia entre la posición inicial y la desplazada de la superficie superior del concreto. Las mediciones se deben tomar en el centro de la cara superior. El valor resultante debe incluirse en el informe como el asentamiento del concreto. [15]

5.6. ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO

5.6.1. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto

Las mezclas de concreto se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades Mecánicas y de durabilidad que cumplan con los

requerimientos de diseño. La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para el diseño de estructuras.[16]

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del espécimen.[17]

5.6.2. Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico

La compresión se medirá sobre dos (2) cubos de 50mm o (2") compactados en dos (2) capas. Los cubos serán curados un día en los moldes y se desmoldarán y sumergirán en agua-cal hasta su ensayo. Las proporciones en masa para formar el mortero usado están compuestas de 1 parte de cemento y 2.75 partes de arena normalizada. Los cementos Portland o los cementos Portland con incorporadores de aire son mezclados con una relación agua/cemento especificada para los demás cementos la cantidad de agua de amasado debe ser aquella que produzca una fluidez de 110 ± 5 en 25 golpes en la mesa de flujo. [18]

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. MATERIALES

Los materiales que usaron en el desarrollo del proyecto, estos pueden ser materiales físicos como también software, encuestas, etc.

6.2. METODOLOGÍA

Esta investigación estuvo basada en un estudio de caso que fue el Edificio Cattleya, ubicado en el Barrio San Alonso de Bucaramanga, el cual se encontraba en proceso de construcción. La metodología utilizada fue de tipo experimental; por medio de la cual se pudo tener con exactitud la clasificación, obtención y comprobación de nuevos insumos de la construcción que surgen a partir de residuos de obras civiles.

Por una parte, para el diseño de la mezcla de concreto fue necesario realizar diferentes ensayos de laboratorio utilizando distintos porcentajes de escombros como agregado grueso. Con los resultados obtenidos se conocieron las propiedades mecánicas para así llegar a determinar la utilidad de cada mezcla realizada y su respectiva dosificación.

Para la elaboración de los materiales de construcción fue necesario identificar el lugar donde se obtuvieron los escombros, posteriormente se procedió a empacarlos en sacos para poder transportarlos hasta las instalaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana.

Finalmente, teniendo el material a la mano se buscó la herramienta con la que se trituró el material hasta adquirir un tamaño ideal para la mezcla, determinando sus propiedades físicas y mecánicas mediante ensayos de laboratorio como:

- 1) Asentamiento: NTC396
- 2) Densidad del cemento NTC 221-INV-E 307
- 3) Tiempos de fraguado INV-E 305-NTC 118
- 4) Determinación del tamaño de los agregados (Finos y gruesos) INV-E 213
- 5) Peso específico y absorción de los agregados NTC 176-237
- 6) Masa Suelta y Compacta NTC 92- INV-E 217
- 7) Materia orgánica NTC127
- 8) Resistencia Compresión mortero INV-E 323
- 9) Compresión del concreto NTC 673
- 10) Ensayo flexión concreto NTC-287

Una vez listo el material se realizaron las dosificaciones a utilizar, con estas se pudo elaborar las mezclas de concreto, dar una hipótesis en la que se indique para qué puede servir y así tomar el muestreo necesario para los ensayos como de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto NTC 673, resistencia del concreto a la flexión NTC 2871 y al desgaste.

Los resultados que arrojaron estos ensayos ayudaron a identificar las propiedades mecánicas del concreto, deducir para qué puede servir y por último confirmar cuál de las hipótesis es la más adecuada para poder realizar conclusiones.

7. DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO

Como primer paso para empezar a diseñar una mezcla de concreto es necesario conocer las especificaciones, entre ellas está el $f'c$ que él la carga que resiste por unidad de área o resistencia a la compresión y el Asentamiento de preferencia.

7.1. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

La selección del asentamiento depende de la consistencia que se requiera para la mezcla de concreto y a partir de esta existe un rango para el asentamiento como se muestra en la siguiente tabla [19]:

ASENTAMIENTO			
CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (MM)		
Muy seca	0	-	20
Seca	20	-	35
Semi-seca	35	-	50
Media	50	-	100
Húmeda	100	-	150
Muy húmeda	150	-	más

Tabla 1: Asentamiento según la consistencia deseada

Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.

Tecnología del concreto y del mortero. 2001.

Ya seleccionado el asentamiento deseado se procede a sacar el promedio entre el límite inferior y el límite superior.

7.2. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

El contenido de aire tiene ciertas características dependiendo del tipo de concreto que se vaya a realizar, normalmente el contenido de aire puede ser el que normalmente queda atrapado como el que ya es expuesto.

La estimación del contenido de aire se obtiene de la siguiente tabla:

CONTENIDO DE AIRE					
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		Naturalmente atrapado	Exposición ligera	Exposición moderada	Exposición severa
mm	in				
9,51	3/8"	3,0	4,5	6,0	7,5
12,7	1/2"	2,5	4,0	5,5	7,0
19	3/4"	2,0	3,5	5,0	6,0
25,4	1"	1,5	3,0	4,5	6,0
38,1	1 1/2"	1,0	2,5	4,5	5,5
50,8	2"	0,5	2,0	4,0	5,0
76,1	3"	0,3	1,5	3,5	4,5
152	6"	0,2	1,0	3,0	4,0

Tabla 2: Contenido de aire dependiendo del Tamaño máximo nominal del agregado

Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.

Tecnología del concreto y del mortero. 2001

7.3. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO

El contenido de agua de mezclado del concreto depende de la forma de las partículas del agregado, estas pueden ser redondeadas y textura lisa como irregulares y de textura rugosa, también se requiere conocer el asentamiento promedio y el tamaño máximo nominal del agregado grueso como se muestra en las siguientes tablas:

CONTENIDO DE AGUA									
PARTÍCULAS DE FORMA REDONDEADA Y TEXTURA LISA, EN CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO									
ASENTA- MIENTO		TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (IN)							
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	in	AGUA DE MEZCLADO, EN Kg/M ³ DE CONCRETO							
0	0	213	185	171	154	144	136	129	123
25	1	218	192	177	161	150	142	134	128
50	2	222	197	183	167	155	146	138	132
75	3	226	202	187	172	160	150	141	136
100	4	229	205	191	176	164	154	144	139
125	5	231	208	194	179	168	156	146	141
150	6	233	212	195	182	172	159	150	143
175	7	237	216	200	187	176	165	156	148
200	8	244	222	206	195	182	171	162	154

Tabla 3: Contenido de agua para partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto sin aire incluido

*Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.
Tecnología del concreto y del mortero. 2001*

CONTENIDO DE AGUA									
PARTÍCULAS DE FORMA ANGULAR Y TEXTURA RUGOSA, EN CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO									
ASENTA- MIENTO		TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (IN)							
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	in	AGUA DE MEZCLADO, EN KG/M3 DE CONCRETO							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Tabla 4: Contenido de agua para partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto sin aire incluido

*Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.
Tecnología del concreto y del mortero. 2001*

CONTENIDO DE AGUA									
PARTÍCULAS DE FORMA REDONDEADA Y TEXTURA LISA, EN CONCRETO CON AIRE INCLUIDO									
ASENTA- MIENTO		TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (IN)							
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	in	AGUA DE MEZCLADO, EN KG/M3 DE CONCRETO							
0	0	188	161	151	134	129	121	119	113
25	1	193	167	157	141	135	127	124	117
50	2	197	172	163	147	140	131	128	122
75	3	200	176	167	152	145	135	132	125
100	4	203	179	169	155	148	137	134	128
125	5	205	183	172	158	151	140	137	130
150	6	208	188	176	162	155	144	141	134
175	7	213	194	181	167	161	150	146	139
200	8	219	201	186	174	167	156	152	144

Tabla 5: Contenido de agua para partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto con aire incluido

*Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.
Tecnología del concreto y del mortero. 2001*

CONTENIDO DE AGUA									
PARTÍCULAS DE FORMA ANGULAR Y TEXTURA RUGOSA, EN CONCRETO CON AIRE INCLUIDO									
ASENTA- MIENTO		TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (IN)							
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	in	AGUA DE MEZCLADO, EN KG/M3 DE CONCRETO							
0	0	198	176	166	152	143	132	130	122
25	1	206	183	174	158	149	138	136	128
50	2	211	189	179	164	155	144	142	134
75	3	216	193	183	169	159	149	146	138
100	4	219	196	186	172	163	152	150	141
125	5	222	200	190	176	167	156	153	144
150	6	226	205	194	180	171	161	157	148
175	7	230	210	199	185	177	166	162	153
200	8	235	215	204	190	182	171	168	158

Tabla 6: Contenido de agua para partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto con aire incluido

Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.

Tecnología del concreto y del mortero. 2001

7.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DISEÑO

Ya con el valor de la carga por unidad de área que describe las especificaciones en Mpa (Mega pascales) se procede a calcular el f'_c de diseño:

✓ Si la resistencia del concreto es menos de 21 Mpa:

$$f'_{c_{Diseño}} = f'_{c_{Especificación}} + 7 \text{ Mpa} \quad \text{Ecuación 10.}$$

✓ Si la resistencia del concreto está en un rango de 21 Mpa a 35 Mpa:

$$f'_{c_{Diseño}} = f'_{c_{Especificación}} + 8.5 \text{ Mpa} \quad \text{Ecuación 11.}$$

✓ Si la resistencia del concreto es de más de 35 Mpa:

$$f'_{c_{Diseño}} = f'_{c_{Especificación}} + 10 \text{ Mpa} \quad \text{Ecuación 12.}$$

7.5. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO

Como el contenido de agua, la relación agua-cemento también depende si el contenido de aire es atrapado naturalmente o es incluido donde a partir de la resistencia de diseño se obtiene un rango y un promedio del mismo como se ve reflejado en las siguientes tablas:

RELACIÓN AGUA CEMENTO			
SIN AIRE INCLUIDO			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Kg/cm2	LÍMITE SUPERIOR	LÍNEA MEDIA	LÍMITE INFERIOR
140	-	0,72	0,65
175	-	0,65	0,58
210	0,7	0,58	0,53
245	0,64	0,53	0,49
280	0,59	0,48	0,45
315	0,54	0,44	0,42
350	0,49	0,4	0,38

Tabla 7: Relación agua cemento sin aire incluido dependiendo de la resistencia a la compresión de diseño

Tomada de: Sánchez Diego. Tecnología del concreto y del mortero. 2001

RELACIÓN AGUA CEMENTO			
CON AIRE INCLUIDO			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Kg/cm ²	LÍMITE SUPERIOR	LÍNEA MEDIA	LÍMITE INFERIOR
140	-	0,65	0,58
175	-	0,59	0,52
210	0,65	0,54	0,49
245	0,61	0,5	0,46
280	0,55	0,44	0,41
315	0,51	0,41	0,39
350	0,46	0,37	0,36

Tabla 8: Relación agua cemento con aire incluido dependiendo de la resistencia a la compresión de diseño

Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.

Tecnología del concreto y del mortero. 2001

7.6. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

El contenido de cemento se determina con la siguiente fórmula:

$$Cemento(Kg/m^3) = \frac{Agua\ de\ mezclado}{Relación\ agua-cemento} \quad Ecuación\ 13.$$

7.7. ESTIMACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LOS AGREGADOS

La estimación de las proporciones de los agregados se busca a partir de los resultados arrojados por los ensayos en los que se calcula el MUC (Masa Unitaria Compacta) para el agregado grueso y el módulo de finura para el agregado fino y

con estos datos buscar el b_o (Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto) como se muestra en la tabla:

PROPORCIONES DE LOS AGREGADOS					
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO					
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		MÓDULO DE FINURA			
		2,40	2,60	2,80	3,00
mm	in				
9,51	3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
12,7	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
25,4	1"	0,71	0,69	0,67	0,65
38,1	1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
50,8	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
76,1	3"	0,82	0,80	0,78	0,76
152	6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Tabla 9: Proporciones de los agregados dependiendo del tamaño máximo nominal del mismo

Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.

Tecnología del concreto y del mortero. 2001

Luego se requiere calcular b/b_o

$$b/b_o = MUC * 1000$$

Ecuación 14.

Posteriormente se procede a calcular el peso de la graba o agregado grueso (P_g) con la siguiente formula:

$$Pg = bo * \frac{b}{bo}$$

Ecuación 15.

7.8. TABLA DE DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO

La siguiente tabla explica claramente de donde se obtiene cada valor para poder completarla, importante agregar un porcentaje de desperdicio significativo para evitar problemas a la hora de fundir la mezcla de concreto.

CONCRETO NORMAL			
MATERIAL	MASA KG	DENSIDAD KG/M3	VOLUMEN M3
Cemento	Contenido de Cemento según la formula mostrada en el numeral 4.6.	Resultado obtenido del ensayo de densidad del cemento	$Vol_{cemento} = \frac{Masa}{Densidad}$
Agua	$P_{agua} = Densidad * Volumen$	Densidad del agua= 1000,00	Contenido de agua calculado anteriormente en el numeral 4.3.
Aire	-	-	Contenido de Aire obtenido de la tabla del numeral 4.2.
Ag grueso	Pg. (peso de la grava) usando la fórmula del numeral 4.7.	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción multiplicado por 1000.	$Vol_{Ag\ grueso} = \frac{Masa}{Densidad}$
Ag fino	$P_{Ag\ fino} = Densidad * Volumen$	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción multiplicado por 1000.	Ver fórmula 4.8.2
			1,00

Tabla 10: Tabla de dosificación del concreto sin escombros

CONCRETO CON % DE ESCOMBRO			
MATERIAL	MASA KG	DENSIDAD KG/M3	VOLUMEN M3
Cemento	Contenido de Cemento según la fórmula mostrada en el numeral 4.6.	Resultado obtenido del ensayo de densidad del cemento	$Vol_{cemento} = \frac{Masa}{Densidad}$
Agua	$P_{agua} = Densidad * Volumen$	Densidad del agua= 1000,00	Contenido de agua calculado anteriormente en el numeral 4.3.
Aire	-	-	Contenido de Aire obtenido de la tabla del numeral 4.2.
Ag Grueso	Pg. (peso de la grava) usando la fórmula del numeral 4.7.	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción multiplicado por 1000.	$Vol_{Ag grueso} = \frac{Masa}{Densidad}$
Ag fino	$P_{Ag fino} = Densidad * Volumen$	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción multiplicado por 1000.	Ver fórmula 4.8.4
Escombros	$P_{escombros} = Densidad * Volumen$	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción multiplicado por 1000.	Ver fórmula 4.8.3
			1,00

Tabla 11: Tabla de dosificación del concreto con porcentaje de escombros

$$\begin{aligned} & \text{Vol de agregado fino para mezcla normal} = & \text{Ecuación} \\ & 1 - (\text{Vol}_{\text{cemento}} + \text{Vol}_{\text{agua}} + \text{Vol}_{\text{aire}} + \text{Vol}_{\text{Ag grueso}}) & 16. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Vol de escombros} = & \text{Ecuación} \\ & 1 - (\text{Vol}_{\text{cemento}} + \text{Vol}_{\text{agua}} + \text{Vol}_{\text{aire}} + \text{Vol}_{\text{Ag grueso}}) * \% \text{ de escombros} & 17. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Vol de agregado fino para mezcla con escombros} = & \text{Ecuación} \\ & 1 - (\text{Vol}_{\text{cemento}} + \text{Vol}_{\text{agua}} + \text{Vol}_{\text{aire}} + \text{Vol}_{\text{Ag grueso}} + \text{Vol}_{\text{escombros}}) & 18. \end{aligned}$$

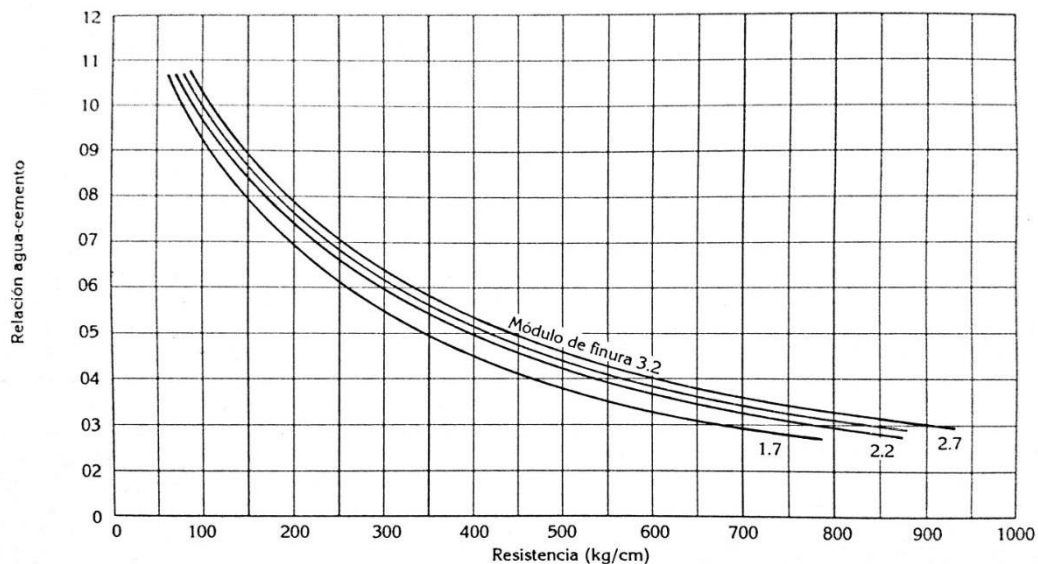
8. DOSIFICACIÓN DEL MORTERO

8.1. DETERMINACIÓN DEL TIPO DE ARENA

Para la selección del tipo de arena es importante que esta sea limpia y bien gradada, también depende de la disponibilidad de la zona y su costo tanto de explotación y transporte, el comportamiento del mortero también tiene que ver en la selección de la arena, su consistencia, resistencia y el módulo de finura.

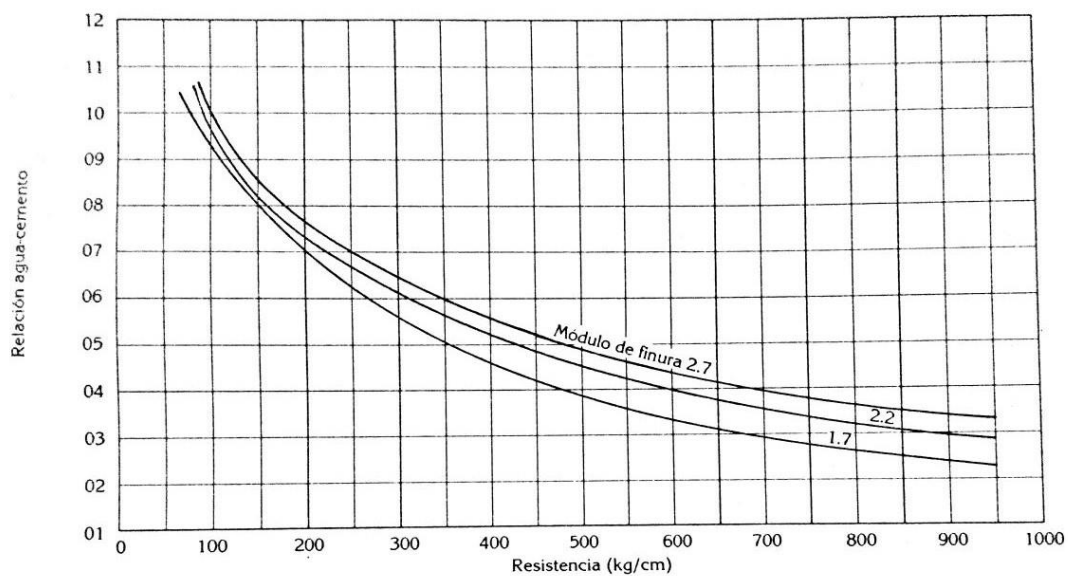
8.2. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO

En la determinación de la relación agua-cemento es necesario conocer la resistencia deseada y el módulo de finura para poder usar las siguientes gráficas y así tener un valor aproximado de la relación agua-cemento.



Grafica 1. Valores de relación agua-cemento para morteros con arena de forma redondeada y textura lisa

Tomada de: Sánchez Diego. Tecnología del concreto y del mortero. 2001



Gráfica 2. Valores de relación agua-cemento para morteros con arena de forma angular y textura rugosa

Tomada de: Sánchez Diego. Tecnología del concreto y del mortero. 2001

8.3. SELECCIÓN DE LA CONSISTENCIA

Esta selección de la consistencia depende de las especificaciones de la obra y se encoge según la siguiente tabla:

CONSISTENCIA FLUIDEZ %		
Seca	80	- 100
Plástica	100	- 120
Fluida	120	- 150

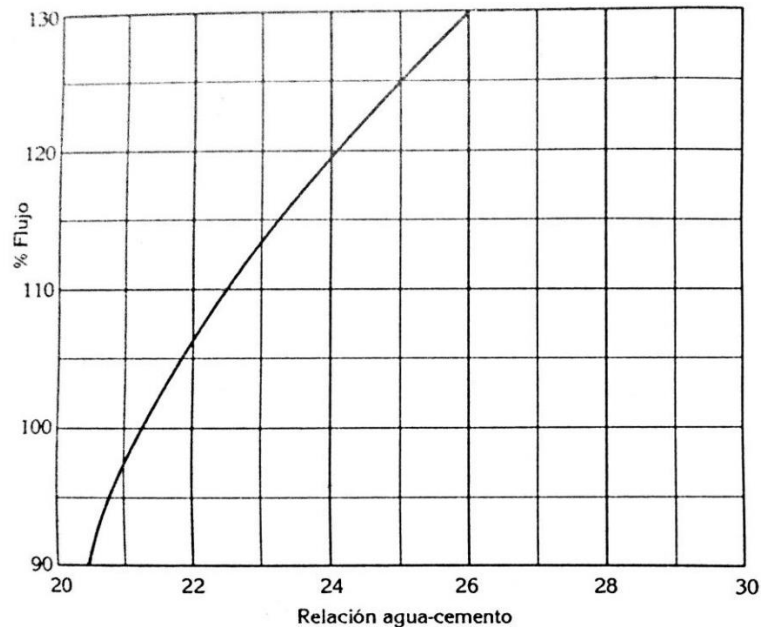
*Tabla 12. Consistencia del mortero
Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.
Tecnología del concreto y del mortero. 2001*

8.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONTENIDO DE AGUA

La relación agua cemento se puede reflejar en una ecuación exponencial como la siguiente:

$$\frac{A}{C} = Ke^{bn} \quad \text{Ecuación 19.}$$

En esta ecuación n es la proporcional de la mezcla, es decir el número de partes de arena por una parte de cemento; b está relacionada a la consistencia y al tipo de granos de arena y K es el valor es la relación agua cemento para la consistencia en términos de fluidez de la pasta de cemento. Es interesante observar que cuando $n=0$ el valor de $K=A/C$.



*Gráfica 3: Relación agua-cemento según el porcentaje de flujo
Tomada de: Sánchez Diego. Tecnología del concreto y del mortero. 2001*

El valor b ya mencionado está representado en la siguiente tabla y para valores de módulo de finura diferentes a los de la tabla es necesario interpolar.

Valores de b			
Consistencia	Módulo de finura	Arena de granos redondos y lisos	Arena de granos angulares y rugosos
Seca (90%).	1,70	0,3293	0,3215
	2,20	0,3110	0,3028
	2,70	0,2772	0,2930
	3,20	0,2394	0,2494
Plástica (110%).	1,70	0,3242	0,3238
	2,20	0,3033	0,2947
	2,70	0,2734	0,2879
	3,20	0,2368	0,2477
Fluida (130%).	1,70	0,3172	0,3216
	2,20	0,2927	0,3003
	2,70	0,2687	0,2949
	3,20	0,2340	0,2629

Tabla 13. Valores de b según la consistencia y el tipo de granos de arena

Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.

Tecnología del concreto y del mortero. 2001

8.5. DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN 1:N

Ya conociendo los valores de A/C , K y b se puede hallar el valor de n despejando la ecuación anterior donde:

$$n = \frac{\ln(A/C) - \ln(K)}{b} \quad \text{Ecuación 20.}$$

8.6. CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

Usando la siguiente formula es posible conocer el contenido de cemento:

$$C = \frac{1.000}{\frac{1}{G_c} + \frac{n}{G_a} + A/C} \quad \text{Ecuación 21.}$$

Dónde:

$C =$ *Cemento en Kg*

$G_c =$ *Peso específico del cemento*

$G_a =$ *Densidad aparente seca de la arena*

$n =$ *partes de arena por una parte de cemento*

$A/C =$ *Relación agua – Cemento*

8.7. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA

La determinación del contenido de agua es el mismo valor de la relación agua-cemento multiplicado por el contenido de cemento hallado en el numeral 7.6. Como se muestra en la siguiente formula.

$$A = A/C * C \quad \text{Ecuación 22.}$$

8.8. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ARENA

Como ya conocemos el valor de n que son la partes de arena por una parte de cemento, este valor de n multiplicado por el contenido de cemento nos da el valor del contenido de arena como se ilustra en la siguiente formula:

$$a = n * C$$

Ecuación 23.

9. PREPARACIÓN DE LA MEZCLA

Como paso final está la elaboración de la mezcla la cual se realiza igual que una mezcla normal de concreto agregándole un porcentaje de desperdicio, es decir, en primera instancia se mezcla el agregado fino con el escombro, luego se le agrega el contenido de cemento, al ver que la mezcla se ve uniforme se adiciona el agregado grueso y por último se le adiciona agua poco a poco hasta conseguir la consistencia deseada la cual se comprueba con el ensayo del asentamiento y si este coincide con el asentamiento esperado se procede a fundir.

10. DESARROLLO DEL PROYECTO

10.1. Recolección de escombros

Se hace contacto con la constructora Cimec y Conespro Ltda, la cual construía el Edificio Cattleya. Se hace una primera visita a la obra, en la cual se dispone de los residuos de la etapa de mampostería y friso de la obra. Se obtiene un total de 21 bultos, los cuales son dispuestos a traslado para el Laboratorio de Materiales de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.



Figura 1. Recolección de escombros

10.2. Clasificación de escombros

En un primer momento se dispone a la identificación de los diferentes tipos de residuo que contenía cada bulto; para esto se toma cada uno de los bultos, se pesan, se depositan en una superficie plana, por separado, y se procede con su caracterización; posteriormente se procede a pesar cada uno de los residuos y se determina que los componentes más comunes son mampostería, yeso, grava y mortero y finos.

Seguido a esto se procede a determinar el porcentaje de cada material en relación al peso y se establece cuál es el material que predomina entre los otros según esta característica, y por lo cual va a ser el utilizado en las diferentes mezclas y ensayos.

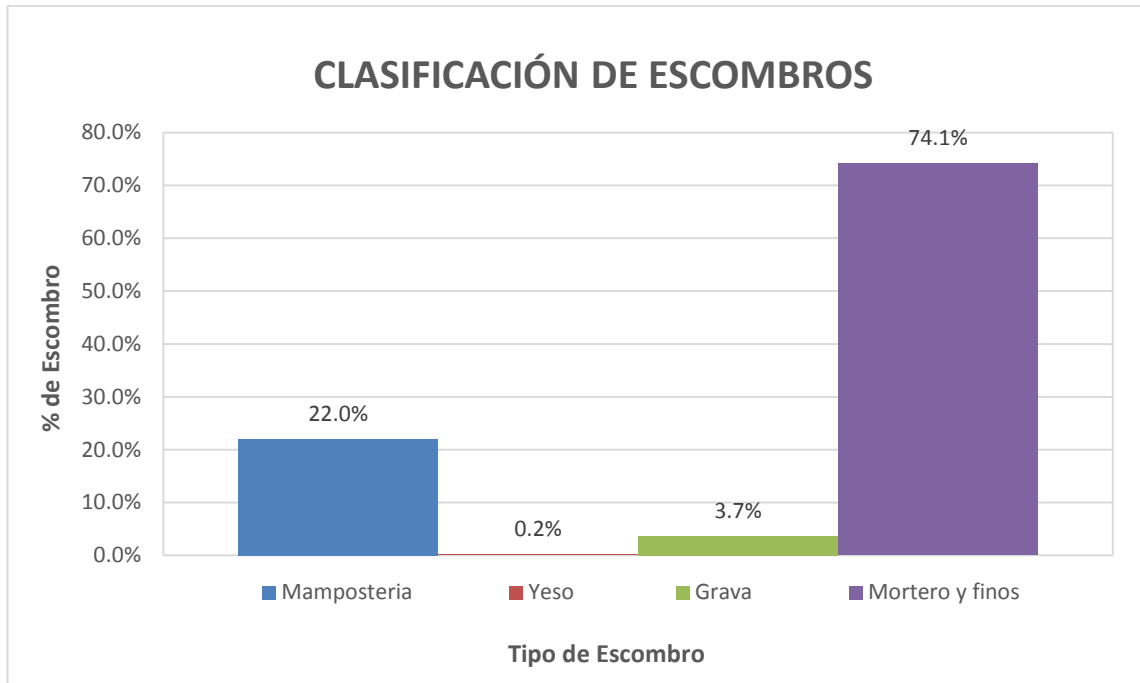


Figura 2. Clasificación de escombros

CLASIFICACIÓN DE ESCOMBROS

Saco No	Peso Saco	Mampostería	Yeso	Grava	Mortero y finos
1	20,9	0,1	1,1	0	19,7
2	25,35	3,85	0	2,25	19,25
3	22,9	12,85	0	0	10,05
4	20,8	2,6	0	0	18,2
5	13,5	8,5	0	0	5,00
6	26,65	2,3	0	0,6	23,75
7	25,6	0,4	0	1,05	24,15
8	28,91	8,16	0	0	20,75
9	19,85	0	0	0	19,85
10	12,6	12,6	0	0	0
11	28,6	7,66	0	0	20,94
12	26,85	0,65	0	0	26,2
13	18,15	1,1	0	0,95	16,1
14	20,6	0,2	0	0	20,4
15	27,25	3,75	0	0	23,5
16	24,45	6,65	0	2,55	15,25
17	21,65	17,32	0	0	4,33
18	34,75	3,15	0	10,53	21,07
19	19,3	6	0	0,1	13,2
20	25,55	0	0	0	25,55
21	26,35	10,07	0	0	16,28
Sumatoria	490,56	107,91	1,10	18,03	363,52
%	100%	22,0%	0,2%	3,7%	74,1%

Tabla 14. Clasificación de escombros



Gráfica 4. Porcentajes para cada tipo de escombros

10.3. Caracterización de los agregados

10.3.1. Análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos

Este análisis se hace con el objetivo de saber si los agregados son adecuados para la realización de la mezcla; para esto se procede con el secado de los agregados finos y gruesos, los cuales son llevados a un horno industrial, con una temperatura de 110° durante 24 horas. Seguido a esto se lavan por el Tamiz n° 200 para obtener las partículas más finas de este material anteriormente procesado. El material obtenido es sometido nuevamente, al secado en el horno industrial por 24 horas y de esta forma se obtiene en condiciones óptimas el material retenido el tamiz.

Una vez se tiene el material seco se pesa y se lleva a la serie de tamices requeridos según la Norma Técnica Colombiana NTC32. Al obtener el material retenido en cada uno de los tamices se pesa y se realizan los cálculos correspondientes donde se obtiene el módulo de finura para los agregados finos y tamaño máximo nominal de los agregados gruesos.

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO				
tamiz	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido Acumulado	% que pasa
No. 4	10,80	0,71	0,71	99,29
No. 8	242,40	15,98	16,70	83,30
No. 16	517,40	34,12	50,81	49,19
No. 30	332,80	21,94	72,75	27,25
No. 50	300,80	19,83	92,59	7,41
No. 100	49,00	3,23	95,82	4,18
Fondo	63,40	4,18	100,00	0,00
Total	1516,60	100,00	429,38	

Tabla 15. Análisis granulométrico del agregado fino

Peso seco= 1516,6

Peso seco lavado x tamiz 200= 1480

MF = 3,294



Figura 3. Granulometría del agregado fino

GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO				
tamiz	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido Acumulado	% que pasa
1"	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	506,00	10,16	10,16	89,84
1/2"	2842,80	57,07	67,22	32,78
3/8"	1018,80	20,45	87,67	12,33
Fondo	614,00	12,33	100,00	0,00
Total	4981,60	100,00	265,06	

Tabla 16. Análisis granulométrico del agregado grueso

Tamaño máximo= 1"
Tamaño máximo nominal= 3/4"



Figura 4. Granulometría del agregado grueso

GRANULOMETRÍA ESCOMBRO				
tamiz	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido Acumulado	% que pasa
No. 4	260,60	17,70	17,70	82,30
No. 8	149,60	10,16	27,87	72,13
No. 16	109,40	7,43	35,30	64,70
No. 30	122,00	8,29	43,59	56,41
No. 50	466,00	31,66	75,24	24,76
No. 100	266,40	18,10	93,34	6,66
Fondo	98,00	6,66	100,00	0,00
Total	1472,00	100,00	293,04	

Tabla 17. Análisis granulométrico del escombros

MF= 2,930



Figura 5. Granulometría del escombros

10.3.2. Peso específico y absorción de los agregados

Peso específico y absorción de los agregados finos

Se toma una muestra del material y se deja sumergida en agua durante 24 a temperatura ambiente, seguido a esto se procede a escurrir el material y a hacer un secado artificial con un secador de cabello hasta que el material quedara suelto. En seguida se tomó un molde cónico y se llenó de arena apasionándola con un pistón por 25 veces, se enrazó, se levantó el molde y al derrumbarse la arena parcialmente se procedió al siguiente paso, ya que esto significa que está en condición saturada superficie seca, y en óptimas condiciones para continuar.

Se pesaron 500gr. De esta muestra y se introdujo en el picnómetro con un embudo, se llenó de agua y se tapó, se tomó este peso, posteriormente se sacó la arena con el agua y se pasó al horno para tomar el peso seco de la muestra. Seguido se toma

el peso del picnómetro completamente lleno de agua y se procede a realizar los cálculos para la determinación de la densidad aparente del material y su porcentaje de absorción.

Absorción agregado fino		
A	493	g
B	689	g
C	500	g
s	996	g

Tabla 18. Resultados del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino

Densidad aparente = 2,554
Densidad aparente SSS = 2,591
Densidad Nominal = 2,651

Absorción Escombro		
A	433	g
B	692	g
C	456	g
s	953	g

Tabla 19. Resultados del ensayo de peso específico y absorción del escombro

Densidad aparente = 2,221
Densidad aparente SSS = 2,338
Densidad Nominal = 2,517



Figura 6. Proceso de secado para conseguir el estado del material saturado superficialmente seco para el ensayo de absorción



Figura 7. Picnómetro para realizar el ensayo de absorción

Peso específico y absorción de los agregados gruesos

La norma por la cual se establece este ensayo es la Norma Técnica Colombiana (NTC176). Se toma el material, se lava y se deja sumergido en agua en un tiempo de 24 horas a una temperatura ambiente, luego ya pasado ese tiempo se escurre, se seca superficialmente con una toalla y se toma el peso de la muestra saturada con superficie seca. Después se coloca una balanza con canastilla y se dispone la muestra, se sumerge en agua y se toma el peso de la muestra. Luego se seca en un horno industrial a una temperatura de 110°C y se toma su peso seco. Ya con los datos que tenemos se calcula la densidad aparente del material y su porcentaje de absorción.

Absorción Agregado Grueso		
A	4956	g
B	5000	g
C	3048	g

Tabla 20. Resultados del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso

Densidad aparente =	2,539
Densidad aparente SSS =	2,561
Densidad Nominal =	2,597
Absorción =	0,888

10.3.3. Materia orgánica

Con el fin de determinar el contenido de materia orgánica que posee un material, los siguientes pasos se rigen bajo la Norma Técnica Colombiana (NTC) 127. Se miden 130 ml de arena en una probeta, siguiente de esto se añade una solución de hidróxido de sodio al 3% (3ml), se agrega la arena y la solución de hidróxido de sodio en un frasco de vidrio, se tapa y se agita. Se deja en reposo durante 24 horas. Ya esperado este tiempo se compara el color del agua con la tabla de escala de coloración.



Figura 8: Resultado del contenido de materia orgánica de la arena



Figura 9: Resultado del contenido de materia orgánica del escombros

10.3.4. Masa Suelta Y Compacta agregados finos y gruesos

Según la norma NTC 92 y la INV-E 217 se realiza este ensayo de la siguiente manera:

Se selecciona una muestra de material para el ensayo de masa unitaria suelta y se introduce en un molde cilíndrico. Se llena el molde con el material, se pesa y se toma registro del peso con el material contenido, se determina el volumen del molde tomando sus medidas y así obtenemos el volumen del material que contiene el molde. De la relación del peso y el volumen se obtiene la masa unitaria suelta.

El ensayo de masa compacta se realiza con el mismo molde, se agregan tres capas de material y en cada capa se le dan 25 golpes con una varilla, se enraza y se pone en una balanza para obtener su peso. De la relación del peso del material compactado y el volumen se obtiene la masa unitaria suelta.

MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO FINO		
Masa unitaria (g/cm³)	Unidades	Datos
Peso del molde	g	3100
Diámetro del molde	cm	8,5
Altura del molde	cm	8,3
Volumen del molde	cm ³	470,98
Peso del molde + agregado suelto	g	11266,67

Tabla 21. Datos de Masa Unitaria Suelta del agregado fino

$$\text{MUS} = 17,3396$$

MASA UNITARIA COMPACTA DEL AGREGADO FINO		
Masa unitaria (g/cm³)	Unidades	Datos
Peso del molde	g	3100
Diámetro del molde	cm	8,5
Altura del molde	cm	8,3
Volumen del molde	cm ³	470,98
Peso del molde + agregado suelto	g	11833,33

Tabla 22. Datos de Masa Unitaria Compacta del agregado fino

$$\text{MUC} = 18,5428$$

MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO GRUESO		
Masa unitaria (g/cm³)	Unidades	Datos
Peso del molde	g	3950
Diámetro del molde	cm	20,5
Altura del molde	cm	30,2
Volumen del molde	cm ³	9967,92
Peso del molde + agregado suelto	g	18916,67

Tabla 23. Datos de Masa Unitaria Suelta del agregado grueso

$$\text{MUS} = 1,5015$$

MASA UNITARIA COMPACTA DEL AGREGADO GRUESO		
Masa unitaria (g/cm³)	Unidades	Datos
Peso del molde	g	3950
Diámetro del molde	cm	20,5
Altura del molde	cm	30,2
Volumen del molde	cm ³	9967,92
Peso del molde + agregado suelto	g	19733,33

Tabla 24. Datos de Masa Unitaria Compacta del agregado grueso

$$MUC = 1,5834$$

10.3.5. Humedad natural de los agregados

Este ensayo se determina siguiendo la Norma INV-E 122.

Consiste en determinar la humedad natural que tiene en el momento los agregados. Se pesa el molde y posterior a esto se le agrega una porción del material en una bandeja extendido. Luego se lleva a una estufa eléctrica secando el material, se deja enfriar, se toma su peso y el del molde. Se calcula la humedad natural con la siguiente ecuación:

$$\%Humedad = \frac{P1 - P2}{P2 - Pm} * 100 \quad \text{Ecuación 24.}$$

Dónde:

Pm: Peso del molde

P1: Peso de la muestra Húmeda

P2: Peso de la muestra seca

10.3.6. Densidad del cemento

Para este ensayo se utiliza la norma NTC 221 en la cual dice que se utiliza el frasco Le Chatelier que se llena de ACPM hasta un punto de 0 y 1ml del frasco asegurándose que el frasco por encima del líquido este totalmente seco. Posterior a esto se sumerge el frasco en agua a una temperatura ambiente durante un tiempo evitando cambios de temperatura por el ACPM. Se le agrega el cemento en este caso fue cemento Cemex, tipo 1, en pequeñas cantidades evitando que se adhiera a las paredes del frasco, se tapa el frasco se gira inclinándolo sobre una superficie lisa, lo suficiente para sacar el aire atrapado en el cemento. Se sumerge de nuevo el frasco en agua y se toman las lecturas finales hasta que sean constantes. La diferencia entre la lectura inicial y la final representa el volumen de líquido desplazando por el peso del cemento.

Así se allá la densidad del cemento mediante la siguiente Ecuación:

$$\text{Densidad del Cemento} = \frac{\text{Peso}(gr)}{\text{Volumen desplazado}(ml)} \quad \text{Ecuación 25.}$$

DENSIDAD DEL CEMENTO		
Masa del cemento		
masa	64	g
vi	0,2	
vf	22,6	

Tabla 25. Datos de Densidad del Cemento

$$\text{Densidad} = 2,857 \quad \text{g/cm}^3$$



Figura 10. Picnómetro de Densidad del Cemento

10.4. DOSIFICACIÓN DE LAS CUATRO MEZCLAS DE CONCRETO Y MORTERO

Ya realizados los ensayos respectivos de laboratorio se procede a calcular la densidad del cemento, el contenido de materia orgánica junto con la humedad natural, el MUS (Masa Unitaria Suelta) y el MUC (Masa Unitaria Compacta) tanto de la arena o agregado fino como de la grava o agregado grueso el cual se obtiene del ensayo de masa suelta y compacta, con la granulometría o determinación del tamaño de los agregados se halla el módulo de finura tanto de la arena como del escombros y el tamaño máximo nominal de la grava, por último con el ensayo de absorción se determina la densidad aparente o peso específico de los agregados y el escombros.

10.4.1. Selección del asentamiento

Para la selección del asentamiento se escogió una consistencia media la cual según la tabla 1 tiene un asentamiento entre 50 y 100 mm.

$$\text{Asentamiento promedio (mm)} = 75 \text{ mm}$$

10.4.2. Selección del tamaño máximo del agregado

En la selección del tamaño máximo del agregado es necesario realizar el ensayo de laboratorio de Granulometría o Determinación del tamaño de los agregados (Finos y gruesos) INV-E 213 y con los resultados obtenidos calcular el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino que para este ejemplo son los siguientes.

Agregado grueso

$$\text{Tamaño máximo} = 1''$$

$$\text{Tamaño máximo nominal} = 3/4''$$

Agregado Fino

$$\text{Módulo de finura} = 3,294$$

10.4.3. Estimación del contenido de aire

Ya conociendo el valor del tamaño máximo nominal del agregado grueso es posible conocer el porcentaje por volumen de aire el cual se encuentra en la Tabla 2 y este depende de la exposición de aire si es naturalmente atrapado, exposición ligera, exposición moderada o exposición severa.

Para una mezcla de concreto con aire naturalmente atrapado:

$$\% \text{ aire por volumen} = 2,0$$

10.4.4. Estimación del contenido de agua de mezclado

Igual que el contenido de aire para la estimación del contenido de agua de mezclado es necesario conocer el tamaño máximo nominal del agregado grueso, pero también se requiere saber el asentamiento promedio, hallado anteriormente.

Para hallar el contenido de agua de mezclado se debe tener en cuenta la inclusión de aire además de la forma y textura de las partículas, para nuestro ejemplo usaremos la tabla 3 para partículas de forma redondeada y textura lisa en concreto sin aire incluido.

$$\textit{Agua de mezclado} = 187 \text{ Kg/m}^3 \textit{ de Concreto}$$

10.4.5. Determinación de la resistencia de diseño

La resistencia a la compresión del concreto deseada para el ejemplo es de 21 Mega pascales por lo que se debe usar la fórmula 11

Para f'_c entre 21 y 28 Mpa

$$f'_{c_{\text{Diseño}}} = 21 \text{ Mpa} + 8.5 \text{ Mpa}$$

$$f'_{c_{\text{Diseño}}} = 30 \text{ Mpa}$$

10.4.6. Selección de la relación agua-cemento

Conociendo la resistencia a la compresión de diseño del concreto es posible determinar la relación agua cemento, esta depende también de si es con aire incluido o no, mencionado anteriormente sabemos que para el ejemplo se está diseñando una mezcla sin aire incluido por lo que es necesario usar la tabla 19

$$\text{Relacion } A/C = 0.46$$

10.4.7. Cálculo del contenido de cemento

Para el cálculo del contenido del cemento de la mezcla de concreto simplemente es usar la fórmula 55.

$$\text{Cemento}(Kg/m^3) = \frac{187 Kg/m^3}{0.46}$$
$$\text{Cemento} = 407,12 Kg/m^3$$

10.4.8. Estimación de las proporciones de los agregados

Por ultimo para la estimación de las proporciones de los agregados ya se conoce el MF (Módulo de Finura) hallado anteriormente en la selección del tamaño máximo del agregado pero también se debe realizar el ensayo de masa suelta y compacta para poder calcular el MUC (Masa Unitaria Compacta) del agregado grueso y así poder usar la tabla 9 para hallar b_o y las formulas 14 para b/b_o y 15 para P_g (peso de agregado grueso).

$$MUC_{Ag\ Grueso} = 1.583$$

$$MF_{Ag\ Fino} = 3.29$$

$$b_o = 0.6$$

$$b/b_o = 1.583 * 1000$$

$$b/b_o = 1583$$

$$P_g = 0.6 * 1583$$

$$P_g = 950.05 Kg/m^3$$

Tabla de dosificación del concreto normal

CONCRETO NORMAL			
MATERIAL	MASA KG	DENSIDAD KG/M3	VOLUMEN M3
Cemento	407,12	2857,14	0,142
Agua	187,00	1000,00	0,187
Aire	-	-	0,020
Ag Grueso	950,05	2538,93	0,374
Ag fino	705,82	2554,40	0,276
			1,00

Tabla 26. Tabla de dosificación del concreto normal

Tabla de dosificación del concreto con 5% de escombros

MEZCLA CONCRETO CON 5% DE ESCOMBRO			
MATERIAL	MASA KG	DENSIDAD KG/M3	VOLUMEN M3
Cemento	407,12	2857,14	0,142
Agua	187,00	1000,00	0,187
Aire	-	-	0,020
Ag Grueso	950,05	2538,93	0,374
Ag fino	670,53	2554,40	0,263
escombros	30,68	2220,51	0,014
			1,00

Tabla 27. Tabla de dosificación del concreto con 5% de escombros

Tabla de dosificación del concreto con 10% de escombros

CONCRETO CON 10% DE ESCOMBRO			
MATERIAL	MASA KG	DENSIDAD KG/M3	VOLUMEN M3
Cemento	407,12	2857,14	0,142
Agua	187,00	1000,00	0,187
Aire	-	-	0,020
Ag Grueso	950,05	2538,93	0,374
Ag fino	635,24	2554,40	0,249
escombros	61,36	2220,51	0,028
			1,00

Tabla 28. Tabla de dosificación del concreto con 10% de escombros

Tabla de dosificación del concreto con 15% de escombros

MEZCLA CONCRETO CON 15% DE ESCOMBRO			
MATERIAL	MASA KG	DENSIDAD	VOLUMEN M3
Cemento	407,12	2857,14	0,142
Agua	187,00	1000,00	0,187
Aire	-	-	0,020
Ag Grueso	950,05	2538,93	0,374
Ag fino	599,95	2554,40	0,235
escombros	92,03	2220,51	0,041
			1,00

Tabla 29. Tabla de dosificación del concreto con 15% de escombros

10.5. TABLA DOSIFICADORA DE MORTERO

10.5.1. Determinación del tipo de arena

Ya seleccionada una arena limpia y bien gradada de una zona cercana a la obra y a un costo razonable, se hace necesario realizar un análisis granulométrico y un ensayo de masa suelta y compacta donde se pueda calcular el módulo de finura y la densidad aparente seca o peso específico.

$$MF = 3,29$$

$$Peso\ específico = 2,55$$

10.5.2. Determinación de la relación agua-cemento

Al conocer la resistencia deseada y el módulo de finura se procede a usar la gráfica indicada para hallar la relación agua-cemento según la forma de las partículas si estas son de forma redondeada y textura lisa o de forma angular y textura rugosa.

$$Resistencia\ deseada = 21\ Mpa$$

$$Resistencia\ de\ diseño = 29\ Mpa = 290,62\ Kg/cm^3$$

$$Densidad\ del\ Cemento = 2,86$$

$$Relacion\ A/C = 0,65$$

10.5.3. Selección de la consistencia

Para la consistencia escogida es necesario sacar un promedio.

$$Consistencia\ del\ mortero \rightarrow Plástica \rightarrow 100\ a\ 120\ \%fluidéz$$

$$Consistencia\ del\ mortero\ promedio = 110\ \% Fluidéz$$

10.5.4. Factores que influyen en el contenido de agua

Ya conociendo el porcentaje de fluidez del mortero se puede usar la gráfica en la que nos indica la relación agua-cemento que en caso de que $n=0$ es el mismo valor de K

$$K = 0,225$$

El valor de b depende si los granos de arena son redondos y lisos o angulares y rugosos, en este caso son redondos y lisos con un módulo de finura de 3,2 y una consistencia plástica.

$$b = 0,2368$$

10.5.5. Determinación de la proporción 1:n

Y al despejar la formula dada en el numeral 8.5 se conoce el valor de n (partes de arena por una parte de cemento)

$$n = \frac{\ln(0,65) - \ln(0,225)}{0,2368}$$
$$n = 4,48$$

10.5.6. Cálculo del contenido de cemento

Usando la siguiente formula es posible conocer el contenido de cemento:

$$C = \frac{1.000}{\frac{1}{2,86} + \frac{4,48}{2,55} + 0,65}$$
$$C = 363,128 \text{ Kg}$$

10.5.7. Determinación del contenido de agua

La determinación del contenido de agua es el mismo valor de la relación agua-cemento que es 0,65 multiplicado por el contenido de cemento que es 363,128 Kg:

$$A = 0,65 * 363,128 \text{ Kg}$$

$$A = 236,033$$

10.5.8. Determinación del contenido de arena

Como ya conocemos el valor de n que es 4,48, este valor de n multiplicado por el contenido de cemento que es 363,128 Kg nos da el valor del contenido de arena:

$$a = 4,48 * 363,128$$

$$a = 1626,827 \text{ Kg}$$

Tabla dosificadora el mortero normal

Mezcla de Mortero Testigo			
Material	Peso Seco Kg	Peso Específico g/cc	Volumen l
Cemento	363,128	2,857	127,095
Arena	1626,827	2,554	636,872
Agua	236,033	1,000	236,033
			1000,000

Tabla 30. Tabla de dosificación del Mortero normal

Tabla dosificadora del mortero con 5% de escombros

Mezcla de Mortero con 5% de escombros			
Material	Peso Seco Kg	Peso Específico g/cc	Volumen l
Cemento	363,128	2,857	127,095
Arena	1545,486	2,554	605,028
Agua	236,033	1,000	236,033
Escombros	70,709	2,221	31,844
			1000,000

Tabla 31. Tabla de dosificación del mortero con 5% de escombros

Tabla dosificadora del mortero con 10% de escombros

Mezcla de Mortero con 10% de escombros			
Material	Peso Seco Kg	Peso Específico g/cc	Volumen l
Cemento	363,128	2,857	127,095
Arena	1464,145	2,554	573,184
Agua	236,033	1,000	236,033
Escombros	141,418	2,221	63,687
			1000,000

Tabla 32. Tabla de dosificación del mortero con 10% de escombros

Tabla dosificadora del mortero con 15% de escombros

Mezcla de Mortero con 15% de escombros			
Material	Peso Seco Kg	Peso Específico g/cc	Volumen l
Cemento	363,128	2,857	127,095
Arena	1382,803	2,554	541,341
Agua	236,033	1,000	236,033
Escombros	212,127	2,221	95,531
			1000,000

Tabla 33. Tabla de dosificación del mortero con 15% de escombros

10.6. PREPARACIÓN DE LA MEZCLA

Como paso final está la elaboración de la mezcla la cual se realiza igual que una mezcla normal de concreto agregándole un porcentaje de desperdicio, es decir, en primera instancia se mezcla el agregado fino con el escombros, luego se le agrega el contenido de cemento, al ver que la mezcla se ve uniforme se adiciona el agregado grueso y por último se le adiciona agua poco a poco hasta conseguir la consistencia deseada la cual se comprueba con el ensayo del asentamiento y si este coincide con el asentamiento esperado se procede a fundir.

10.6.1. Mezcla de concreto

A la hora de realizar la mezcla del concreto fue importante seguir ciertos pasos para que esta quedara con una mejor consistencia y cumpliera con el asentamiento deseado, como primer paso se determinó el peso de cada material según la dosificación realizada para así proceder a mezclar los materiales finos (arena, cemento, escombros, etc.), posteriormente el material grueso (grava) y como último paso se agregó el agua poco a poco mientras fue mezclado.



Figura 11. Preparación de la mezcla de Concreto

Al tener una mezcla aparentemente homogénea se realizó el ensayo de asentamiento, se llenó el cono con tres capas de concreto y 25 golpes por capa y al retirarlo la lectura del asentamiento fue muy exacta cerca de 6cm y dentro del rango de entre 5 y 10 cm.



Figura 12. Consistencia de la mezcla de Concreto

Se procedió a fundir los especímenes con la mezcla, donde dependiendo del tamaño se les dio los golpes y las capas necesarias.



Figura 13. Proceso para fundir el cilindro de concreto



Figura 14. Cilindros de Concreto fresco

Los especímenes duraron aproximadamente 24 horas en el molde para que pasara de estado fresco a estado endurecido, se desencofraron, se marcaron con la especificación de cada uno y se dejaron en el cuarto de curado los días necesarios para ensayarlos a 7,14 y 28 días.



Figura 15. Cilindros de Concreto endurecido

10.6.2. MEZCLA DE MORTERO

Para la mezcla de mortero se realizó casi el mismo procedimiento del concreto, se mezclaron los materiales finos primero (arena, cemento, escombros, etc.) y luego se procedió a agregar el agua poco a poco hasta conseguir la consistencia deseada.



Figura 16. Preparación de la mezcla de mortero

Ya mezclado se fundió los especímenes de mortero, cubos de 5x5x5 cm que se llenaron con 2 capas cada una de 32 golpes, también se dejaron 24 horas aproximadamente en el molde para que igualmente que el concreto, el mortero pase de su estado fresco a su estado endurecido y así meterlos al cuatro de curado ya marcados con su especificación como se muestra en las siguientes figuras:

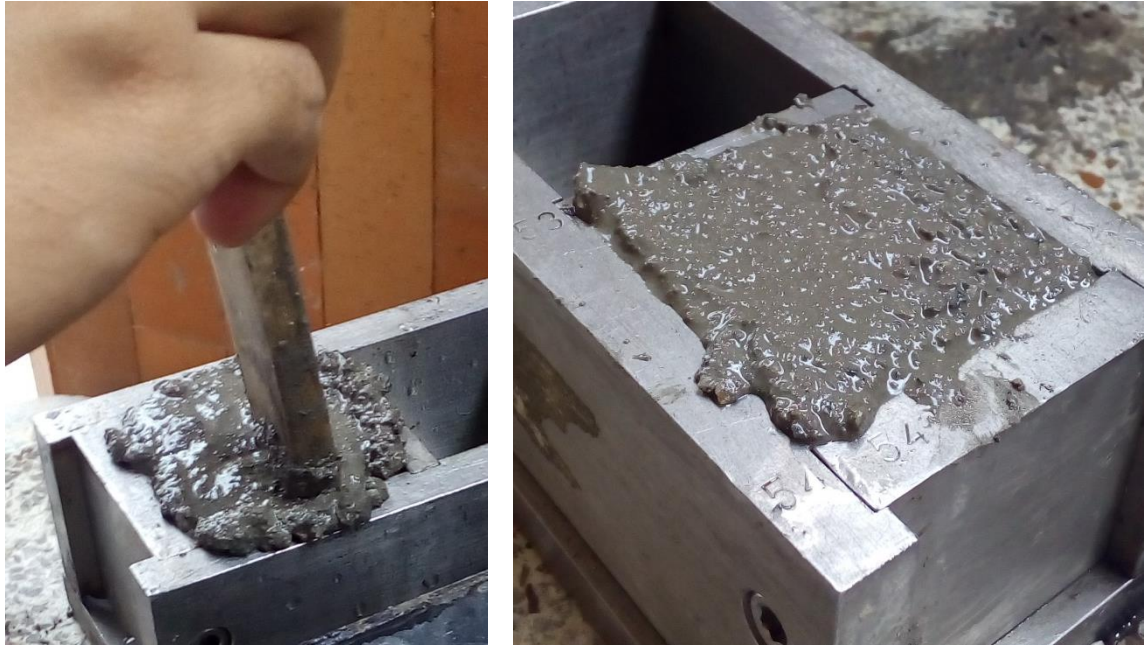


Figura 17. Proceso para fundir el cubo de mortero



Figura 18. Cubos de Mortero endurecido.

10.7. ENSAYOS DE COMPRESIÓN

Por medio de la Norma NTC 673, se realizó el ensayo a compresión en los cilindros a diferentes edades del concreto (7,14, 20 días), de dimensiones de 10 cm de diámetro y de 20 cm de alto. Consistió en la aplicación de una carga axial de compresión a cilindros moldeados. La resistencia a la compresión del espécimen se calcula dividiendo la máxima carga alcanzada durante el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen.



Figura 19. Ensayo a compresión del concreto



Figura 20. Ensayo a compresión del mortero

10.7.1. Resultados preliminares de ensayos a compresión del concreto

Se realizó y se ensayó tres mezclas preliminares de concreto, una de referencia la cual no tiene ningún porcentaje de escombros, y tres con porcentajes de escombros de 5, 10 y 15 por ciento respectivamente.

ENSAYOS A LOS 7 DÍAS

ENSAYO	MEZCLA	ÁREA	CARGA MÁXIMA	ESFUERZO	ESFUERZO
		MM2	KN	MPA	PSI
1	Referencia	7854	165,60	21,08	3058,10
2	Referencia	7854	148,25	18,88	2737,70
3	Referencia	7854	148,27	18,88	2738,07
4	5%	7854	145,40	18,51	2685,07
5	5%	7854	166,59	21,21	3076,39
6	5%	7854	159,26	20,28	2941,02
7	10%	7854	177,15	22,56	3271,40
8	10%	7854	173,31	22,07	3200,48
9	10%	7854	155,15	19,75	2865,13
10	15%	7854	163,69	20,84	3022,83
11	15%	7854	122,13	15,55	2255,35
12	15%	7854	162,92	20,74	3008,61

Tabla 34. Resultados de los ensayos a compresión del concreto a los 7 días

ENSAYOS A LOS 14 DÍAS

ENSAYO	MEZCLA	ÁREA MM2	CARGA MÁXIMA KN	ESFUERZO MPA	ESFUERZO PSI
1	Referencia	7854	179,64	22,87	3317,38
2	Referencia	7854	194,3	24,74	3588,10
3	Referencia	7854	188,49	24,00	3480,81
4	5%	7854	200,41	25,52	3700,93
5	5%	7854	172,55	21,97	3186,45
6	5%	7854	192,06	24,45	3546,74
7	10%	7854	202,89	25,83	3746,73
8	10%	7854	183,91	23,42	3396,23
9	10%	7854	197,7	25,17	3650,89
10	15%	7854	176,14	22,43	3252,74
11	15%	7854	190,95	24,31	3526,24
12	15%	7854	168,67	21,48	3114,80

Tabla 35. Resultados de los ensayos a compresión del concreto a los 14 días

ENSAYOS A LOS 28 DÍAS

ENSAYO	MEZCLA	ÁREA MM2	CARGA MÁXIMA KN	ESFUERZO MPA	ESFUERZO PSI
1	Referencia	7854	204,62	26,05	3778,68
2	Referencia	7854	209,77	26,71	3873,78
3	Referencia	7854	203,55	25,92	3758,92
4	5%	7854	192,72	24,54	3558,92
5	5%	7854	209,6	26,69	3870,64
6	5%	7854	191,17	24,34	3530,30
7	10%	7854	209,53	26,68	3869,35
8	10%	7854	222,63	28,35	4111,27
9	10%	7854	222,84	28,37	4115,14
10	15%	7854	202,45	25,78	3738,61
11	15%	7854	192,05	24,45	3546,55
12	15%	7854	198,98	25,33	3674,53

Tabla 36. Resultados de los ensayos a compresión del concreto a los 28 días

10.7.2. Resultados preliminares de ensayos a compresión del mortero

ENSAYOS A LOS 7 DÍAS

ENSAYO	MEZCLA	ÁREA MM2	CARGA MÁXIMA KN	ESFUERZO MPA	ESFUERZO PSI
1	Referencia	2500	31,626	12,65	1834,79
2	Referencia	2500	22,782	9,11	1321,70
3	Referencia	2500	32,298	12,92	1873,77
4	5%	2500	29,221	11,69	1695,26
5	5%	2500	36,534	14,61	2119,53
6	5%	2500	30,195	12,08	1751,77
7	10%	2500	34,974	13,99	2029,02
8	10%	2500	31,411	12,56	1822,32
9	10%	2500	34,488	13,80	2000,83
10	15%	2500	32,041	12,82	1858,87
11	15%	2500	28,592	11,44	1658,77
12	15%	2500	31,368	12,55	1819,82

Tabla 37. Resultados de los ensayos a compresión del mortero a los 7 días

ENSAYOS A LOS 14 DÍAS

ENSAYO	MEZCLA	ÁREA mm ²	CARGA MÁXIMA KN	ESFUERZO Mpa	ESFUERZO Psi
1	Referencia	2500	37,979	15,19	2203,36
2	Referencia	2500	37,593	15,04	2180,97
3	Referencia	2500	28,678	11,47	1663,76
4	5%	2500	31,039	12,42	1800,73
5	5%	2500	34,531	13,81	2003,32
6	5%	2500	29,665	11,87	1721,02
7	10%	2500	30,438	12,18	1765,87
8	10%	2500	38,037	15,21	2206,72
9	10%	2500	32,413	12,97	1880,45
10	15%	2500	32,942	13,18	1911,14
11	15%	2500	23,912	9,56	1387,26
12	15%	2500	32,098	12,84	1862,17

Tabla 38. Resultados de los ensayos a compresión del mortero a los 14 días

ENSAYOS A LOS 28 DÍAS

ENSAYO	MEZCLA	ÁREA mm ²	CARGA MÁXIMA KN	ESFUERZO Mpa	ESFUERZO Psi
1	Referencia	2500	50,801	20,32	2947,23
2	Referencia	2500	47,124	18,85	2733,91
3	Referencia	2500	52,876	21,15	3067,61
4	5%	2500	51,331	20,53	2977,98
5	5%	2500	37,25	14,90	2161,07
6	5%	2500	40,126	16,05	2327,92
7	10%	2500	43,746	17,50	2537,93
8	10%	2500	36,82	14,73	2136,12
9	10%	2500	41,986	16,79	2435,83
10	15%	2500	30,123	12,05	1747,59
11	15%	2500	33,715	13,49	1955,98
12	15%	2500	36,119	14,45	2095,45

Tabla 39. Resultados de los ensayos a compresión del mortero a los 28 días

10.7.3. Resultados de la segunda fundida del concreto con 10% de escombros

Se realizó una segunda fundida para tener la resistencia a la compresión promedio de un número mayor de especímenes de concreto y poder obtener un dato más acertado, se ensayaron a compresión 10 especímenes a los 7 días y 10 especímenes a los 28 días, también se ensayó especímenes a tensión, 5 a los 7 días y 5 a los 28 días en donde se obtuvo los siguientes resultados:

CILINDROS DE CONCRETO CON 10% DE ESCOMBRO

ENSAYOS A LOS 7 DIAS

ENSAYO	MEZCLA	ÁREA mm ²	CARGA MÁXIMA KN	ESFUERZO Mpa	ESFUERZO Psi
1	10%%	7854	112,00	14,26	2068,28
2	10%%	7854	119,32	15,19	2203,46
3	10%%	7854	121,99	15,53	2252,77
4	10%%	7854	107,46	13,68	1984,44
5	10%%	7854	111,41	14,19	2057,39
6	10%%	7854	126,58	16,12	2337,53
7	10%%	7854	126,58	16,12	2337,53
8	10%%	7854	122,59	15,61	2263,85
9	10%%	7854	113,94	14,51	2104,11
10	10%%	7854	128,87	16,41	2379,82

Tabla 40. Resultados Finales de los ensayos a compresión del concreto a los 7 días

ENSAYOS A LOS 28 DIAS

ENSAYO	MEZCLA	ÁREA mm ²	CARGA MÁXIMA KN	ESFUERZO Mpa	ESFUERZO Psi
1	10%%	7854	160,16	20,39	2957,64
2	10%%	7854	170,63	21,72	3150,95
3	10%%	7854	174,45	22,21	3221,46
4	10%%	7854	153,67	19,57	2837,75
5	10%%	7854	159,32	20,28	2942,06
6	10%%	7854	181,01	23,05	3342,67
7	10%%	7854	181,01	23,05	3342,67
8	10%%	7854	175,30	22,32	3237,30
9	10%%	7854	162,93	20,75	3008,88
10	10%%	7854	184,28	23,46	3403,14

Tabla 41. Resultados Finales de los ensayos a compresión del concreto a los 28 días

VIGAS DE CONCRETO CON 10% DE ESCOMBRO

ENSAYO	MEZCLA	ÁREA mm ²	CARGA MÁXIMA KN	ESFUERZO Mpa	ESFUERZO Psi
1	10%%	0,0225	14510,00	1,93466667	280,600184
2	10%%	0,0225	19261,60	2,56821333	372,488525
3	10%%	0,0225	19819,70	2,64262667	383,281286
4	10%%	0,0225	18746,46	2,499528	362,526542
5	10%%	0,0225	17687,44	2,35832533	342,04679

Tabla 42. Resultados Finales de los ensayos a tensión del concreto

11. ANÁLISIS DE RESULTADOS

11.1. RESULTADOS PRELIMINARES

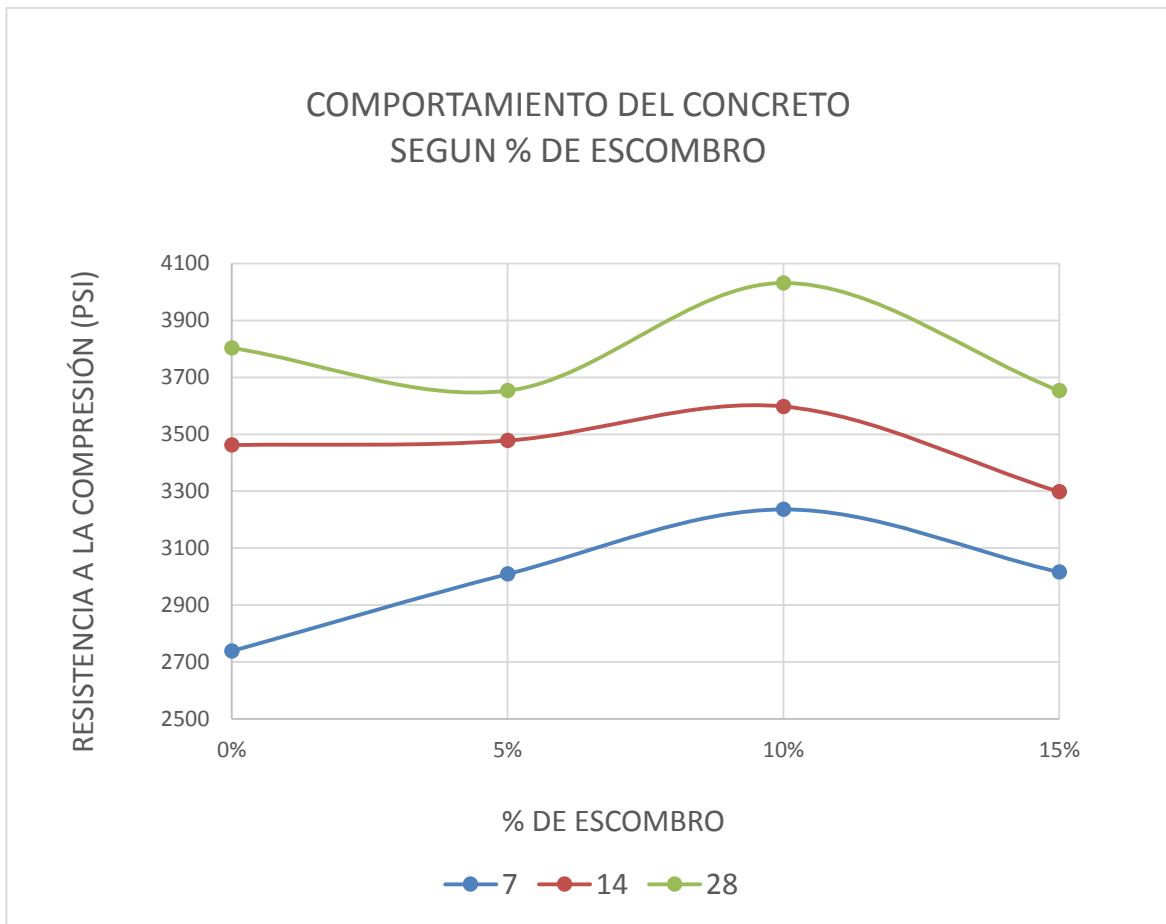
Las muestras preliminares se ensayaron 3 especímenes por día en donde se determinó un promedio de los resultados de cada mezcla por cada día para su análisis y comparación entre las mezclas.

TABLA DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PROMEDIO (PSI)

% de Escombros	DÍAS DE CURADO DEL CONCRETO		
	7	14	28
0%	2737,89	3462,10	3803,79
5%	3008,71	3478,04	3653,29
10%	3235,94	3597,95	4031,92
15%	3015,72	3297,93	3653,23

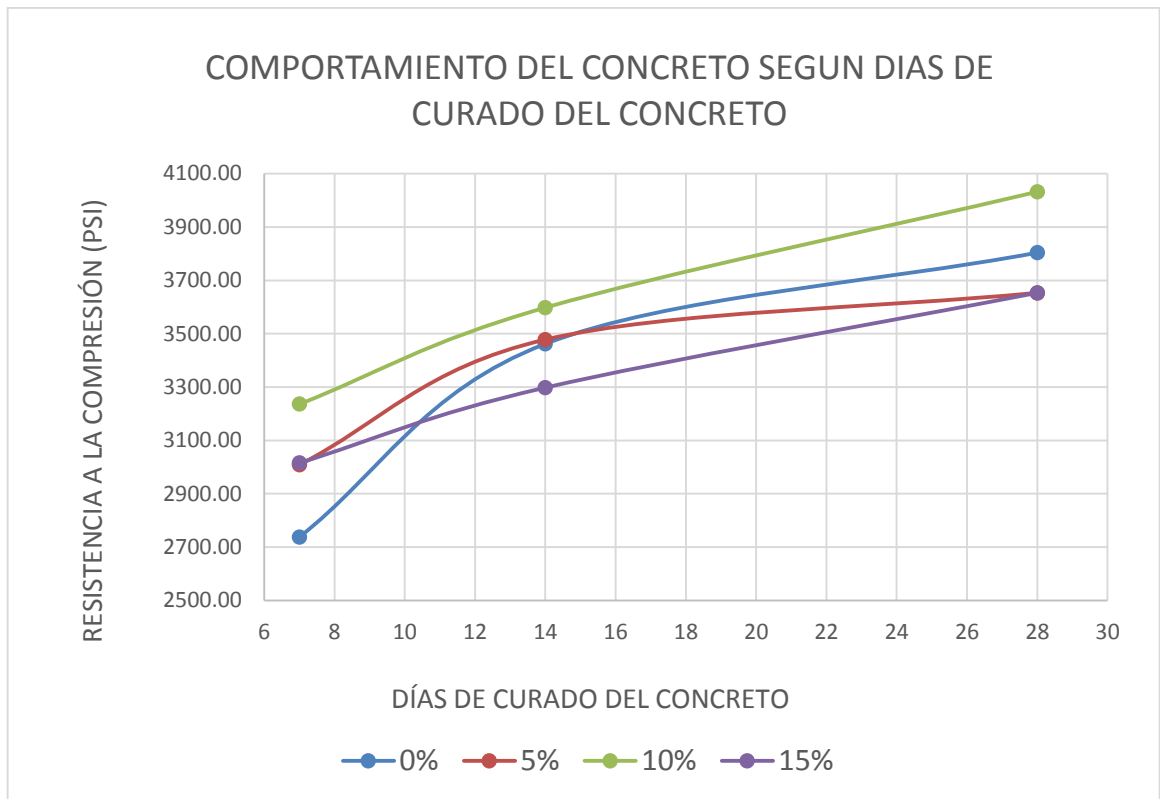
Tabla 43. Resultados de la resistencia a la compresión del concreto promedio

Con un resultado promedio de los valores de la resistencia a la compresión del concreto se puede analizar el comportamiento del concreto según el porcentaje de escombros, donde se puede ver a simple vista cual la mezcla óptima que en este caso es la mezcla con 10 por ciento de escombros.



Gráfica 5. Comportamiento del concreto según el porcentaje de escombros

También es importante analizar el comportamiento de cada mezcla durante los días de curado hasta conseguir su resistencia máxima y si el aumento de esta es lineal o exponencial como se muestra en la siguiente gráfica:



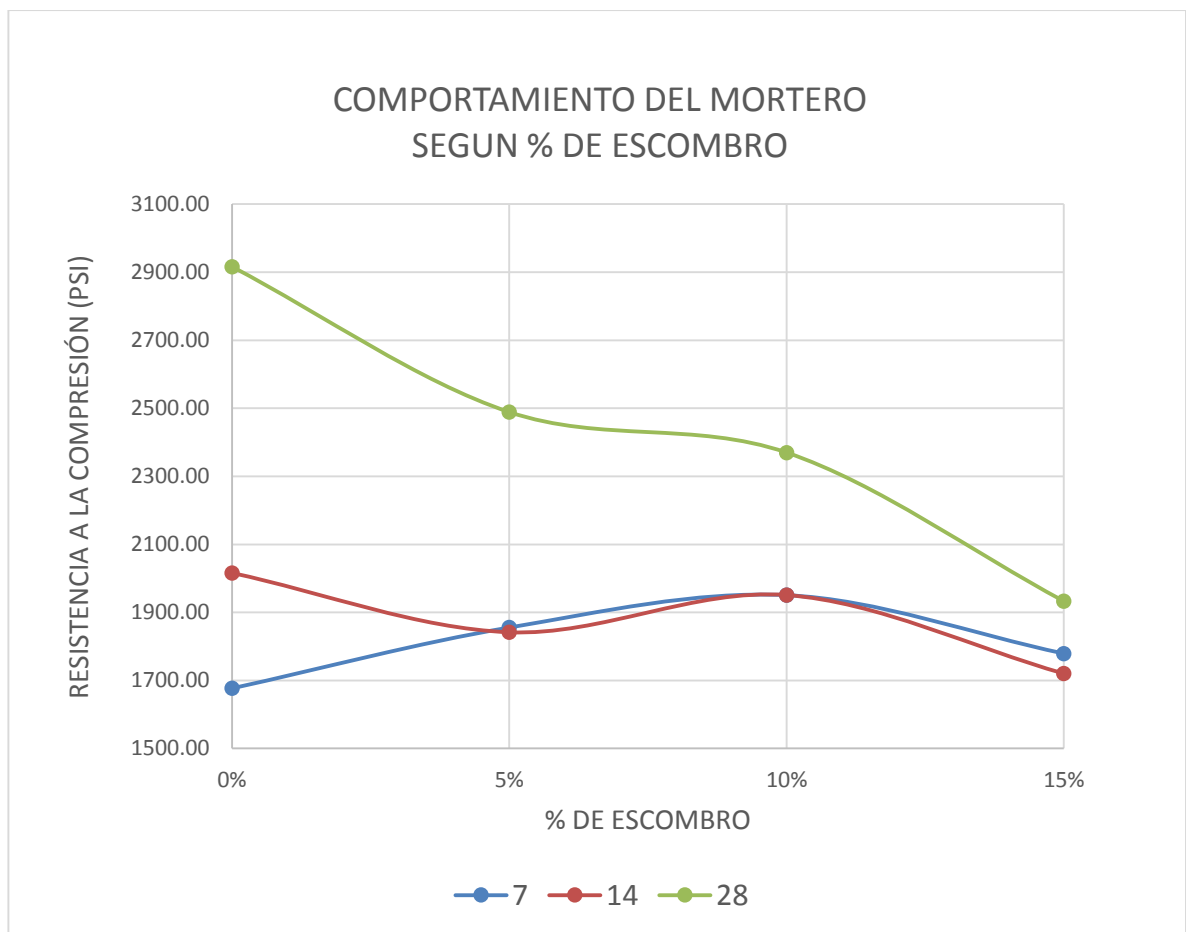
Gráfica 6. Comportamiento del concreto según los días de curado.

TABLA DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO PROMEDIO (PSI)

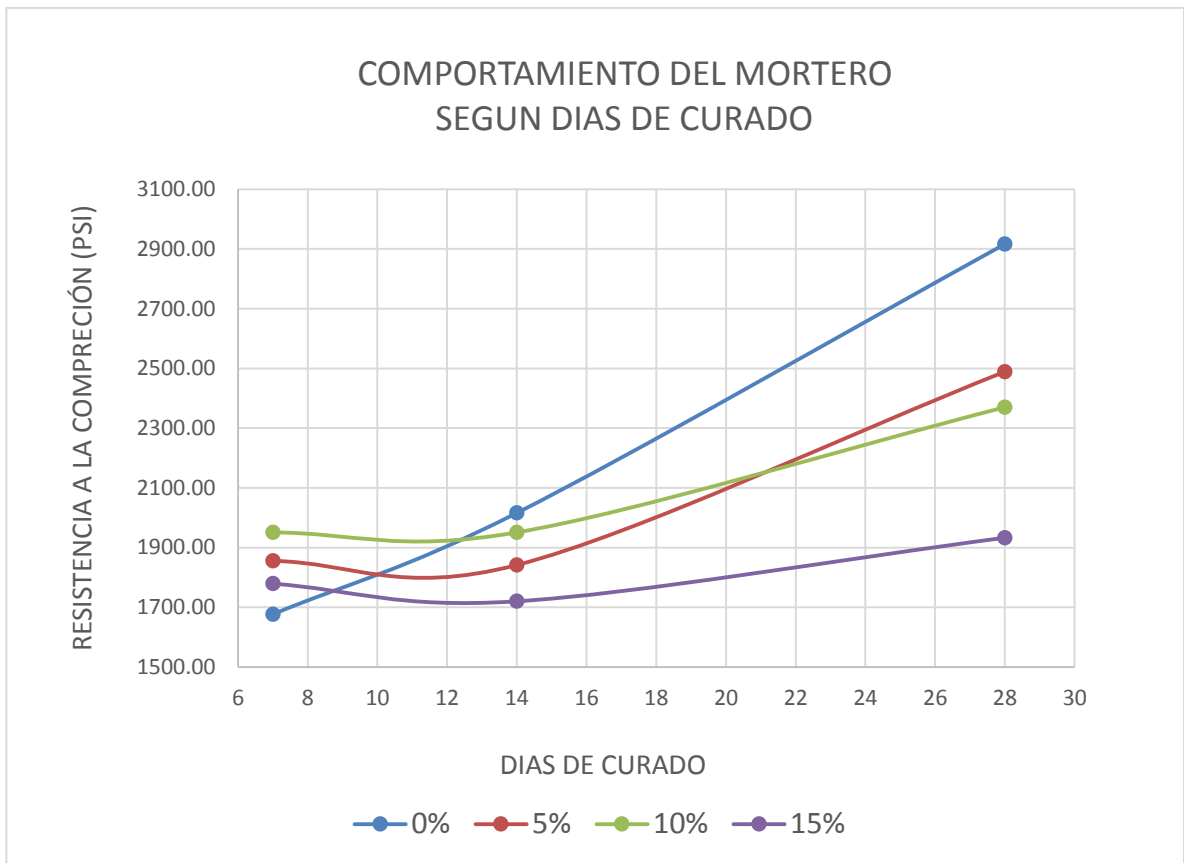
% de Escombro	DÍAS DE CURADO DEL MORTERO		
	7	14	28
0%	1676,76	2016,03	2916,25
5%	1855,52	1841,69	2488,99
10%	1950,72	1951,01	2369,96
15%	1779,15	1720,19	1933,01

Tabla 44. Resultados de la resistencia a la compresión del mortero promedio

Con los resultados de la resistencia a la compresión del mortero promedio se realiza el mismo análisis tanto del comportamiento según el porcentaje de escombros como del aumento de la resistencia con el pasar de los días de curado.



Gráfica 7. Comportamiento del mortero según el porcentaje de escombros.



Gráfica 8. Comportamiento del mortero según días de curado.

11.2. RESULTADOS FINALES

Los resultados de la segunda fundida solo se pueden comparar con los resultados preliminares de la mezcla de 10% de escombros ya que todos los especímenes de la segunda fundida tienen el mismo porcentaje de residuos de obra de característica fina.

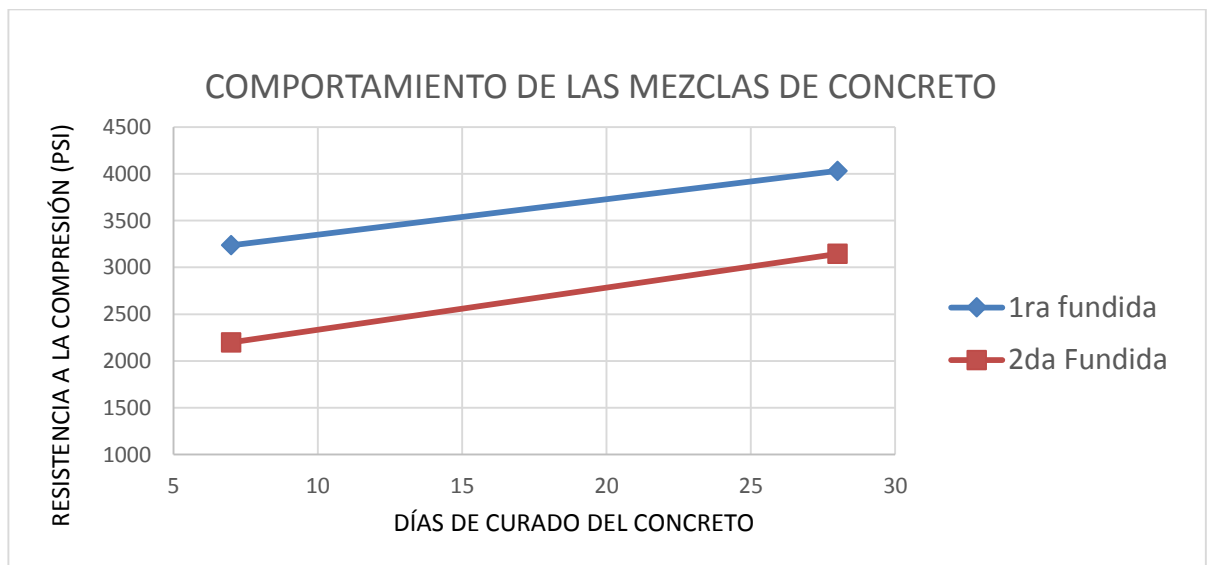
Tanto los resultados a la compresión del concreto de la primera mezcla como de la segunda alcanzaron la resistencia con la cual fue diseñada.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (PSI)

Días de curado	7	28
1ra fundida	3235,93	4031,92
2da fundida	2198,91	3144,45

Tabla 45. Resultados Finales de la resistencia a la compresión del concreto promedio

En la siguiente grafica es notorio que los resultados preliminares están muy por encima de los finales, esto se debe a factores externos que pueden o no ser identificados como lo es la calidad del cemento , el ambiente o la temperatura y el agua. Aunque a pesar de que los resultados entre las dos mezclas fueron diferentes, a los 28 días de edad estas superaron los 3000 psi.



Gráfica 9. Comparación de la mezcla preliminar frente a la mezcla final de concreto con 10% de escombros

12. CONCLUSIONES

- En la clasificación de residuos de obra es notable que el mayor porcentaje de 74% de estos es material fino producto de mezclas de mortero, es decir, arena, cemento, cal, entre otros aditivos, el cual se puede usar como parte del agregado fino de la mezcla de concreto o mortero lo que puede o no afectar la resistencia a la compresión.
- Se realizaron 4 mezclas diferentes de concreto preliminares, 3 con porcentajes de escombros del 5%, 10% y 15% para hacer una comparación frente a una que no lleva residuos de obra, los resultados dieron a conocer que todas los cilindros ensayados a compresión con desperdicios de obra resisten más que los cilindros de la mezcla de referencia.
- Se determinó que la mezcla más óptima fue la del 10% de escombros, Con una resistencia a la compresión promedio de 4031,92 Psi frente a la mezcla normal sin escombros con una resistencia a la compresión promedio de 3803,79 Psi.
- Se realizaron 4 mezclas de mortero preliminares con las mismas características que las mezclas de concreto, 3 con porcentajes de escombros de 5%, 10% y 15% y una mezcla sin escombros donde ninguno de los resultados fueron satisfactorios ya que no alcanzó la resistencia deseada de 3000 psi.

- Se realizaron una segunda mezcla de concreto donde solo se usó un 10 % de escombros que anteriormente se consideró como mezcla óptima en donde se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 3114,45 Psi, este valor está por encima de la resistencia a la compresión mínima deseada, entonces se puede concluir que se puede usar estructuralmente.
- Al hacer la segunda mezcla de concreto con 10% de escombros se presentó un decremento en los resultados de la resistencia a compresión, lo cual puede ser por varios factores externos que pueden o no ser identificados los cuales pueden ser mayor cantidad de agua a la hora de fundir la mezcla, menor calidad del agua utilizada, el almacenamiento del cemento, entre otras, pero hay que tener en cuenta que ambas mezclas superaron los 3000 psi a los 28 días de edad.

13.RECOMENDACIONES

- Es importante realizar adecuadamente los ensayos del laboratorio para obtener resultados acertados
- A la hora de agregar el agua es importante no superar demasiado el contenido de agua calculado solo por conseguir el asentamiento exacto, ya que al usar mucha agua la resistencia del concreto puede disminuir.
- Es importante que para este método el porcentaje de escombros no supere un 15 % de agregado fino, es probable que la resistencia a la compresión del concreto descienda.
- Es recomendable usar un porcentaje de desperdicio de entre 5 y 25 por ciento, esto depende de la cantidad que se desee fundir.
- Para un volumen relativamente pequeño es recomendable mezclar a mano, esto disminuye el desperdicio de mezcla.
- Tener en cuenta que el desarrollo de este proceso, va a ser acertado para casos de este tipo.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ÁLVAREZ C. Jorge. URRUTIA Francisco. LECUSAY Deborah. FERNÁNDEZ Adela. “Morteros de albañilería con escombros de demolición”. 1997. Cuba. Online, disponible en:

<https://onedrive.live.com/?authkey=%21AlcAsVhz9syNPvl&cid=1DD644018BA1A415&id=1DD644018BA1A415%212214&parId=1DD644018BA1A415%212208&o=OneUp>

[2] CHÁVEZ Álvaro. GUARÍN Nataly; CORTÉS María Carolina. “Determinación de propiedades físico-químicas de los materiales agregados en muestra de escombros en la ciudad de Bogotá D.C.” 2012. Bogotá. Online disponible en:

<https://onedrive.live.com/?authkey=%21AOZ%2Dm6Sh82WRd%2DU&cid=1DD644018BA1A415&id=1DD644018BA1A415%212212&parId=1DD644018BA1A415%212208&o=OneUp>

[3] SILVA Yimmy. ROBAYO Rafael. MATTEY Pedro. DELVASTO Silvio. “Obtención de concretos autocompactantes empleando residuos de demolición.” 2014. Universidad del Valle. Cali, Colombia. Online, Disponible en:

<https://onedrive.live.com/?authkey=%21ANErAEfTO3fzNQo&cid=1DD644018BA1A415&id=1DD644018BA1A415%212213&parId=1DD644018BA1A415%212208&o=OneUp>

[4] Alcaldía de Envigado, Guía para el adecuado manejo de los residuos sólidos y peligrosos, 2011. Disponible en:

http://www.ambientalex.info/guias/Guia_manejo_residuos_sp.pdf

[5] Oxford University Press, Oxford Living Dictionaries, 2017. Disponible en:

<https://es.oxforddictionaries.com/definicion/cemento>

[6] Oxford University Press, Oxford Living Dictionaries, 2017. Disponible en:

<https://es.oxforddictionaries.com/definicion/agua>

[7] Productos y servicios, Agregados, CEMEX S.A.B, 2017. Disponible en:

<http://archive.cemex.com/ES/ProductosServicios/Agregados.aspx>

[8] Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos, I.N.V.E-213-07, 2007.

[9] Densidad Bulk (Peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados compactados o sueltos, I.N.V.E-217-07, 2007.

[10] Gravedad específica y absorción de agregados finos, I.N.V.E-222-07, 2007.

[11] Gravedad específica Bulk con superficie seca saturada (s.s.s), I.N.V.E-223-07, 2007.

[12] Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto, NTC-127, 2000-06-21.

[13] Densidad del cemento hidráulico, I.N.V.E-307-07, 2007.

[14] BAUTISTA María Alejandra. PARRA Katty Milena. “Diseño de una mezcla de concreto utilizando residuos industriales y escombros”. 2010. Universidad Pontificia

Bolivariana. Bucaramanga, Colombia. Online. Disponible en:
<https://onedrive.live.com/?authkey=%21AJF1ybIS8jHsHFQ&cid=1DD644018BA1A415&id=1DD644018BA1A415%212211&parId=1DD644018BA1A415%212208&o=OneUp>

[15] Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto, NTC-396, 1992-01-15.

[16] FERREIRA D. Juan Sebastián. “Aprovechamiento de escombros como agregados no convencionales en mezclas de concreto”. 2009. Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, Colombia. Online. Disponible en:
<https://onedrive.live.com/?authkey=%21ABv3Wf2MaU9E4I&cid=1DD644018BA1A415&id=1DD644018BA1A415%212210&parId=1DD644018BA1A415%212208&o=OneUp>

[17] Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, NTC-673, 2010-02-17.

[18] Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, I.N.V.E-323-07, 2007.

[19] D. Sanchez De Guzman, “*Tecnología del concreto y del mortero* “ Quinta edición 2001.

15. ANEXOS

Anexo A

MEMORIAS DE CÁLCULO

Clasificación de Escombros

No	Peso Saco	Mampostería	Yeso	Grava	Mortero y finos
1	20,9	0,1	1,1	0	19,7
2	25,35	3,85	0	2,25	19,25
3	22,9	12,85	0	0	10,05
4	20,8	2,6	0	0	18,2
5	13,5	8,5	0	0	5,00
6	26,65	2,3	0	0,6	23,75
7	25,6	0,4	0	1,05	24,15
8	28,91	8,16	0	0	20,75
9	19,85	0	0	0	19,85
10	12,6	12,6	0	0	0
11	28,6	7,66	0	0	20,94
12	26,85	0,65	0	0	26,2
13	18,15	1,1	0	0,95	16,1
14	20,6	0,2	0	0	20,4
15	27,25	3,75	0	0	23,5
16	24,45	6,65	0	2,55	15,25
17	21,65	17,32	0	0	4,33
18	34,75	3,15	0	10,53	21,07

19	19,3	6	0	0,1	13,2
20	25,55	0	0	0	25,55
21	26,35	10,07	0	0	16,28
Sumatoria	490,56	107,91	1,10	18,03	363,52
%	100%	22,0%	0,2%	3,7%	74,1%

Granulometría Escombros

tamiz	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido Acumulado	% que pasa
No. 4	260,60	17,70	17,70	82,30
No. 8	149,60	10,16	27,87	72,13
No. 16	109,40	7,43	35,30	64,70
No. 30	122,00	8,29	43,59	56,41
No. 50	466,00	31,66	75,24	24,76
No. 100	266,40	18,10	93,34	6,66
Fondo	98,00	6,66	100,00	0,00
Total	1472,00	100,00	293,04	

MF	2,930
-----------	-------

Granulometría Agregado Fino

tamiz	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido Acumulado	% que pasa
No. 4	10,80	0,71	0,71	99,29
No. 8	242,40	15,98	16,70	83,30
No. 16	517,40	34,12	50,81	49,19
No. 30	332,80	21,94	72,75	27,25
No. 50	300,80	19,83	92,59	7,41
No. 100	49,00	3,23	95,82	4,18
Fondo	63,40	4,18	100,00	0,00

Total	1516,60	100,00	429,38	
--------------	---------	--------	--------	--

Peso seco	1516,6
Peso seco lavado x tamiz 200	1480

MF	3,294
-----------	-------

Granulometría Agregado Grueso

tamiz	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido Acumulado	% que pasa
1"	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	506,00	10,16	10,16	89,84
1/2"	2842,80	57,07	67,22	32,78
3/8"	1018,80	20,45	87,67	12,33
Fondo	614,00	12,33	100,00	0,00
Total	4981,60	100,00	265,06	

Tamaño máximo	1"
Tamaño máximo nominal	3/4"

Masa Unitaria Suelta del Agregado Fino

Masa unitaria (g/cm ³)	Unidades	Datos
Peso del molde	g	3100
Diámetro del molde	cm	8,5
Altura del molde	cm	8,3
Volumen del molde	cm ³	470,98
Peso del molde + agregado suelto	g	11266,67

$$\text{MUS} = 17,3396$$

Masa Unitaria Compacta del Agregado Fino

Masa unitaria (g/cm ³)	Unidades	Datos
Peso del molde	g	3100
Diámetro del molde	cm	8,5
Altura del molde	cm	8,3
Volumen del molde	cm ³	470,98
Peso del molde + agregado suelto	g	11833,33

$$\text{MUC} = 18,5428$$

Masa Unitaria Suelta del Agregado Grueso

Masa unitaria (g/cm ³)	Unidades	Datos
Peso del molde	g	3950
Diámetro del molde	cm	20,5
Altura del molde	cm	30,2
Volumen del molde	cm ³	9967,92
Peso del molde + agregado suelto	g	18916,67

$$\text{MUS} = 1,5015$$

Masa Unitaria Compacta del Agregado Grueso

Masa unitaria (g/cm ³)	Unidades	Datos
------------------------------------	----------	-------

Peso del molde	g	3950
Diámetro del molde	cm	20,5
Altura del molde	cm	30,2
Volumen del molde	cm ³	9967,92
Peso del molde + agregado suelto	g	19733,33

MUC= 1,5834

Humedad Natural del Escombro

Peso Húmedo (g)	1500
Peso Seco (g)	1471,2
% agua	1,92

Humedad Natural del agregado Fino

Peso Húmedo (g)	1500
Peso Seco (g)	1462
% agua	2,53

Humedad Natural del agregado Grueso

Peso Húmedo (g)	5000
Peso Seco (g)	4984
% agua	0,32

Absorción agregado fino

A	493	g
B	689	g

C	500	g
s	996	g

Densidad aparente	2,554
Densidad aparente SSS	2,591
Densidad Nominal	2,651

Absorción Escombros

A	433	g
B	692	g
C	456	g
s	953	g

Densidad aparente	2,221
Densidad aparente SSS	2,338
Densidad Nominal	2,517

Absorción Agregado Grueso

A	4956	g
B	5000	g
C	3048	g

Densidad aparente	2,539
Densidad aparente SSS	2,561
Densidad Nominal	2,597
Absorción	0,888

Densidad del cemento

Masa del cemento		
masa	64	g
vi	0,2	
vf	22,6	

Densidad 2,857 g/cm³

Proceso de diseño para la mezcla del Concreto

Especificación

Para F'c entre 21 - 28 Mpa según la NRS-10

F'c	21	Mpa
-----	----	-----

Para diseñar

F'c	30	Mpa
	4278,61	Psi
	300,82	Kg/cm ²

Procedimiento de diseño

- 1 Selección del asentamiento
- 2 Selección del tamaño máximo del agregado
- 3 Estimación del contenido de aire
- 4 Estimación del contenido de agua de mezclado
- 5 Determinación de la resistencia de diseño
- 6 Selección de la relación agua-cemento
- 7 Cálculo del contenido de cemento
- 8 Estimación de las proporciones de los agregados
- 9 Ajuste por humedad de los agregados
- 10 Ajustes a las mezclas de prueba

Selección del asentamiento

Consistencia	de (mm)	a (mm)
Media	50	- 100
Asentamiento promedio (mm)		75

 mm

Selección del tamaño máximo del agregado

Agregado grueso		
Tamaño máximo	=	1"
Tamaño máximo nominal	=	3/4"

Agregado Fino		
Módulo de Finura	=	3,294

Estimación del contenido de aire

Naturalmente atrapado		
% por volumen	=	2

Estimación del contenido de agua de mezclado

Partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto sin aire incluido		
Agua de mezclado	=	187

 Kg/m3 de concreto

Determinación de la resistencia de diseño

Resistencia a la compresión	=	301	Kg/cm ²
-----------------------------	---	-----	--------------------

Selección de la relación agua-cemento

Sin aire incluido			
Relación A/C	=	0,46	

Cálculo del contenido de cemento

Cemento (Kg/m ³)	=	407,12	
------------------------------	---	--------	--

Estimación de las proporciones de los agregados

Masa Unitaria Compacta	=	1,583	
Módulo de finura	=	3,29	
bo, tabla	=	0,60	
bo, fórmula	=	0,62	
b/bo	=	1583,413	

Pg., Tabla	=	950,05	Kg/m ²
Pg., fórmula	=	987,50	Kg/m ²

Peso del agregado grueso

Pg., Tabla	=	950,05	Kg/m ²
------------	---	--------	-------------------

Dosificación del concreto

Concreto normal

Material	Masa	Densidad	Volumen
----------	------	----------	---------

	Kg	Kg/m3	m3
Cemento	407,12	2857,14	0,142
Agua	187,00	1000,00	0,187
Aire	-	-	0,020
Ag Grueso	950,05	2538,93	0,374
Ag fino	705,82	2554,40	0,276
			1,00

Concreto con 5% de escombros

Material	Masa Kg	Densidad Kg/m3	Volumen m3
Cemento	407,12	2857,14	0,142
Agua	187,00	1000,00	0,187
Aire	-	-	0,020
Ag Grueso	950,05	2538,93	0,374
Ag fino	670,53	2554,40	0,263
escombros	30,68	2220,51	0,014
			1,00

Concreto con 10% de escombros

Material	Masa Kg	Densidad Kg/m3	Volumen m3
Cemento	407,12	2857,14	0,142
Agua	187,00	1000,00	0,187
Aire	-	-	0,020
Ag Grueso	950,05	2538,93	0,374
Ag fino	635,24	2554,40	0,249
escombros	61,36	2220,51	0,028
			1,00

Concreto con 15% de escombros

Material	Masa	Densidad	Volumen
-----------------	-------------	-----------------	----------------

	Kg	Kg/m3	m3
Cemento	407,12	2857,14	0,142
Agua	187,00	1000,00	0,187
Aire	-	-	0,020
Ag Grueso	950,05	2538,93	0,374
Ag fino	599,95	2554,40	0,235
escombros	92,03	2220,51	0,041
			1,00

Volumen Cilindro	0,0016
No de cilindros por mezcla	10

Mezcla 1

Cemento	6,40	Kg
Agua	2,94	Lt
Aire	-	
Ag Grueso	14,92	Kg
Ag fino	11,09	Kg

Mezcla 2

Cemento	6,40	Kg
Agua	2,94	Lt
Aire	-	
Ag Grueso	14,92	Kg
Ag fino	10,53	Kg
escombros	0,48	Kg

Mezcla 3

Cemento	6,40	Kg
Agua	2,94	Lt
Aire	-	
Ag Grueso	14,92	Kg
Ag fino	9,98	Kg
Escombros	0,96	Kg

Mezcla 4

Cemento	6,40	Kg
Agua	2,94	Lt
Aire	-	
Ag Grueso	14,92	Kg
Ag fino	9,42	Kg
escombros	1,45	Kg

25 % de desperdicio

1,25

Mezcla 1

Cemento	7,99	Kg
Agua	3,67	Lt
Aire	-	
Ag Grueso	18,65	Kg
Ag fino	13,86	Kg

Mezcla 2

Cemento	7,99	Kg
Agua	3,67	Lt
Aire	-	
Ag Grueso	18,65	Kg
Ag fino	13,17	Kg
escombros	0,60	Kg

Mezcla 3

Cemento	7,99	Kg
Agua	3,67	Lt
Aire	-	
Ag Grueso	18,65	Kg
Ag fino	12,47	Kg
Escombros	1,20	Kg

Mezcla 4

Cemento	7,99	Kg
Agua	3,67	Lt
Aire	-	
Ag Grueso	18,65	Kg
Ag fino	11,78	Kg
escombros	1,81	Kg

Proceso de diseño del Mortero

Especificación

Para F'c entre 21 - 28 Mpa según la NRS-10

F'c	21	Mpa
------------	----	-----

Resistencia de diseño

F'c	29	Mpa
	4133,574	Psi
	290,6202	Kg/cm ²

- Paso I:** Determinación del tipo de arena
- Paso II:** Determinación de la relación agua-cemento
- Paso III:** Selección de la consistencia
- Paso IV:** Factores que influyen en el contenido de agua
- Paso V:** Determinación de la proporción 1:n
- Paso VI:** Calculo del contenido de Cemento
- Paso VII:** Determinación del contenido de agua
- Paso VIII:** Determinación del contenido de arena
- Paso IX:** Ajustes por Humedad
- Paso X:** Ajustes a las mezclas de prueba

Determinación del tipo de arena

Módulo de Finura	=	3,29
Densidad Aparente seca	=	2,554404

Determinación de la relación agua-cemento

Densidad del cemento	=	2,857143
----------------------	---	----------

Resistencia de diseño	=	290,6202
Relación a/c (gráfica)	=	0,65

Selección de la consistencia

Consistencia del mortero

Plástica		
Fluidez %	100	- 120
Promedio	=	110 %

Factores que influyen en el contenido de agua

Valor de K (gráfica)	=	0,225
----------------------	---	-------

Arena de granos redondos y lisos		
Valor de b	=	0,2368
Valor de b interpolado	=	...
Valor de b final	=	0,2368

n	=	4,4800
---	---	--------

Calculo del contenido de Cemento

C	=	363,128
---	---	---------

Determinación del contenido de agua

A	=	236,0335
---	---	----------

Determinación del contenido de arena

a	=	1626,827
---	---	----------

Dosificación del Mortero

Mortero Normal

Material	Peso Seco Kg	Peso Específico g/cc	Volumen l
Cemento	363,128	2,857	127,095
Arena	1626,827	2,554	636,872
Agua	236,033	1,000	236,033
			1000,000

Mortero con 5% de escombros

Material	Peso Seco Kg	Peso Específico g/cc	Volumen l
Cemento	363,128	2,857	127,095
Arena	1545,486	2,554	605,028
Agua	236,033	1,000	236,033
Escombros	70,709	2,221	31,844
			1000,000

Mortero con 10% de escombros

Material	Peso Seco Kg	Peso Específico g/cc	Volumen l
Cemento	363,128	2,857	127,095
Arena	1464,145	2,554	573,184
Agua	236,033	1,000	236,033
Escombros	141,418	2,221	63,687
			1000,000

Mortero con 15% de escombros

Material	Peso Seco Kg	Peso Específico g/cc	Volumen l
Cemento	363,128	2,857	127,095
Arena	1382,803	2,554	541,341
Agua	236,033	1,000	236,033
Escombros	212,127	2,221	95,531
			1000,000

Volumen de un cubo de mortero = 0,000125

Cantidad de cubos por mezcla = 10

Mezcla 1

Cemento	0,45	Kg
Arena	2,03	Kg
Agua	0,30	Lt

Mezcla 2

Cemento	0,45	Kg
---------	------	----

Arena	1,93	Kg
Agua	0,30	Lt
Escombros	0,09	Kg

Mezcla 3

Cemento	0,45	Kg
Arena	1,83	Kg
Agua	0,30	Lt
Escombros	0,18	Kg

Mezcla 4

Cemento	0,45	Kg
Arena	1,73	Kg
Agua	0,30	Lt
Escombros	0,27	Kg

25 % de desperdicio

1,25

Mezcla 1

Cemento	0,57	Kg
Arena	2,54	Kg
Agua	0,37	Lt

Mezcla 2

Cemento	0,57	Kg
Arena	2,41	Kg
Agua	0,37	Lt
Escombros	0,11	Kg

Mezcla 3

Cemento	0,57	Kg
Arena	2,29	Kg
Agua	0,37	Lt
Escombros	0,22	Kg

Mezcla 4

Cemento	0,57	Kg
Arena	2,16	Kg
Agua	0,37	Lt
Escombros	0,33	Kg

Resultados de los ensayos a compresión

Cilindros de Concreto

Ensayo a los 7 días

Ensayo	Mezcla	Área mm ²	Carga Máxima KN	Resistencia Mpa	Resistencia Psi	Cumple?	Promedio
1	Referencia	7854	165,60	21,08	3058,10	Ok	2844,63
2	Referencia	7854	148,25	18,88	2737,70	Ok	
3	Referencia	7854	148,27	18,88	2738,07	Ok	
4	5%	7854	145,40	18,51	2685,07	Ok	2900,83
5	5%	7854	166,59	21,21	3076,39	Ok	
6	5%	7854	159,26	20,28	2941,02	Ok	
7	10%	7854	177,15	22,56	3271,40	Ok	3112,33
8	10%	7854	173,31	22,07	3200,48	Ok	
9	10%	7854	155,15	19,75	2865,13	Ok	
10	15%	7854	163,69	20,84	3022,83	Ok	2762,27
11	15%	7854	122,13	15,55	2255,35	Ok	
12	15%	7854	162,92	20,74	3008,61	Ok	

Ensayo a los 14 días

Ensayo	Mezcla	Área mm ²	Carga Máxima KN	Resistencia Mpa	Resistencia Psi	Cumple?	Promedio
--------	--------	-------------------------	-----------------------	--------------------	--------------------	---------	----------

1	Referencia	7854	179,64	22,87	3317,38	Ok	3462,10
2	Referencia	7854	194,30	24,74	3588,10	Ok	
3	Referencia	7854	188,49	24,00	3480,81	Ok	
4	5%	7854	200,41	25,52	3700,93	Ok	3478,04
5	5%	7854	172,55	21,97	3186,45	Ok	
6	5%	7854	192,06	24,45	3546,74	Ok	
7	10%	7854	202,89	25,83	3746,73	Ok	3597,95
8	10%	7854	183,91	23,42	3396,23	Ok	
9	10%	7854	197,70	25,17	3650,89	Ok	
10	15%	7854	176,14	22,43	3252,74	Ok	3297,93
11	15%	7854	190,95	24,31	3526,24	Ok	
12	15%	7854	168,67	21,48	3114,80	Ok	

Ensayo a los 28 días

Ensayo	Mezcla	Área mm ²	Carga Máxima KN	Resistencia Mpa	Resistencia Psi	Cumple?	Promedio
1	Referencia	7854	204,62	26,05	3778,68	Ok	3803,79
2	Referencia	7854	209,77	26,71	3873,78	Ok	
3	Referencia	7854	203,55	25,92	3758,92	Ok	
4	5%	7854	192,72	24,54	3558,92	Ok	3653,29
5	5%	7854	209,60	26,69	3870,64	Ok	
6	5%	7854	191,17	24,34	3530,30	Ok	
7	10%	7854	209,53	26,68	3869,35	Ok	4031,92
8	10%	7854	222,63	28,35	4111,27	Ok	
9	10%	7854	222,84	28,37	4115,14	Ok	
10	15%	7854	202,45	25,78	3738,61	Ok	3653,23
11	15%	7854	192,05	24,45	3546,55	Ok	
12	15%	7854	198,98	25,33	3674,53	Ok	

Cubos de Mortero

Ensayo a los 7 días

Ensayo	Mezcla	Área mm ²	Carga Máxima KN	Resistencia Mpa	Resistencia Psi	Cumple?	Promedio
--------	--------	-------------------------	-----------------------	--------------------	--------------------	---------	----------

1	Referencia	2500	31,63	12,65	1834,79	No Cumple	1676,75
2	Referencia	2500	22,78	9,11	1321,70	No Cumple	
3	Referencia	2500	32,30	12,92	1873,77	No Cumple	
4	5%	2500	29,22	11,69	1695,26	No Cumple	1855,52
5	5%	2500	36,53	14,61	2119,53	Ok	
6	5%	2500	30,20	12,08	1751,77	No Cumple	
7	10%	2500	34,97	13,99	2029,02	Ok	1950,72
8	10%	2500	31,41	12,56	1822,32	No Cumple	
9	10%	2500	34,49	13,80	2000,83	Ok	
10	15%	2500	32,04	12,82	1858,87	No Cumple	1779,15
11	15%	2500	28,59	11,44	1658,77	No Cumple	
12	15%	2500	31,37	12,55	1819,82	No Cumple	

Ensayo a los 14 días

Ensayo	Mezcla	Área mm ²	Carga Máxima KN	Resistencia Mpa	Resistencia Psi	Cumple?	Promedio
1	Referencia	2500	37,98	15,19	2203,36	No Cumple	2016,03
2	Referencia	2500	37,59	15,04	2180,97	No Cumple	
3	Referencia	2500	28,68	11,47	1663,76	No Cumple	
4	5%	2500	31,04	12,42	1800,73	No Cumple	1841,69
5	5%	2500	34,53	13,81	2003,32	No Cumple	
6	5%	2500	29,67	11,87	1721,02	No Cumple	
7	10%	2500	30,44	12,18	1765,87	No Cumple	1951,01
8	10%	2500	38,04	15,21	2206,72	No Cumple	
9	10%	2500	32,41	12,97	1880,45	No Cumple	
10	15%	2500	32,94	13,18	1911,14	No Cumple	1720,19
11	15%	2500	23,91	9,56	1387,26	No Cumple	
12	15%	2500	32,10	12,84	1862,17	No Cumple	

Ensayo a los 28 días

Ensayo	Mezcla	Área mm ²	Carga Máxima KN	Resistencia Mpa	Resistencia Psi	Cumple?	Promedio
--------	--------	-------------------------	-----------------------	--------------------	--------------------	---------	----------

1	Referencia	2500	50,80	20,32	2947,23	No Cumple	2916,25
2	Referencia	2500	47,12	18,85	2733,91	No Cumple	
3	Referencia	2500	52,88	21,15	3067,61	Ok	
4	5%	2500	51,33	20,53	2977,98	Ok	2488,99
5	5%	2500	37,25	14,90	2161,07	No Cumple	
6	5%	2500	40,13	16,05	2327,92	No Cumple	
7	10%	2500	43,75	17,50	2537,93	No Cumple	
8	10%	2500	36,82	14,73	2136,12	No Cumple	
9	10%	2500	41,99	16,79	2435,83	No Cumple	
10	15%	2500	30,12	12,05	1747,59	No Cumple	1933,01
11	15%	2500	33,72	13,49	1955,98	No Cumple	
12	15%	2500	36,12	14,45	2095,45	No Cumple	

Dosificación del concreto 2

Dosificación del Concreto con 10% de escombros

Material	Masa Kg	Densidad	Volumen m3
Cemento	407,12	2857,14	0,142
Agua	187,00	1000,00	0,187
Aire	-	-	0,020
Ag Grueso	950,05	2538,93	0,374
Ag fino	635,24	2554,40	0,249
escombros	61,36	2220,51	0,028
			1,00

suma volúmenes = 0,0016

No de cilindros = 24

25 % de desperdicio

1,25

Mezcla 3

Cemento	15,35	Kg
---------	-------	----

Mezcla 3

Cemento	19,19	Kg
---------	-------	----

Agua	7,05	Lt
Aire	-	
Ag Grueso	35,82	Kg
Ag fino	23,95	Kg
Escombros	2,31	Kg

Agua	8,81	Lt
Aire	-	
Ag Grueso	44,77	Kg
Ag fino	29,94	Kg
Escombros	2,89	Kg

Volumen Viga = 0,01125
 No de Vigas = 20

25 % de desperdicio
 1,25

Mezcla 3

Cemento	91,60	Kg
Agua	42,08	Lt
Aire	-	
Ag Grueso	213,76	Kg
Ag fino	142,93	Kg
Escombros	13,81	Kg

Mezcla 3

Cemento	114,50	Kg
Agua	52,59	Lt
Aire	-	
Ag Grueso	267,20	Kg
Ag fino	178,66	Kg
Escombros	17,26	Kg

Resultados 2 de los ensayos a compresión

Cilindros de Concreto

Ensayo a los 7 días

Ensayo	Mezcla	Área mm ²	Carga Máxima KN	Resistencia Mpa	Resistencia Psi	Cumple?	Promedio
--------	--------	-------------------------	-----------------------	--------------------	--------------------	---------	----------

1	10%	7854	112,00	14,26	2068,28	Ok	2198,92
2	10%	7854	119,32	15,19	2203,46	Ok	
3	10%	7854	121,99	15,53	2252,77	Ok	
4	10%	7854	107,46	13,68	1984,44	Ok	
5	10%	7854	111,41	14,19	2057,39	Ok	
6	10%	7854	126,58	16,12	2337,53	Ok	
7	10%	7854	126,58	16,12	2337,53	Ok	
8	10%	7854	122,59	15,61	2263,85	Ok	
9	10%	7854	113,94	14,51	2104,11	Ok	
10	10%	7854	128,87	16,41	2379,82	Ok	

Ensayo a los 28 días

Ensayo	Mezcla	Área mm ²	Carga Máxima KN	Resistencia Mpa	Resistencia Psi	Cumple?	Promedio
1	10%	7854	160,16	20,39	2957,64	No Cumple	3144,45
2	10%	7854	170,63	21,72	3150,95	Ok	
3	10%	7854	174,45	22,21	3221,46	Ok	
4	10%	7854	153,67	19,57	2837,75	No Cumple	
5	10%	7854	159,32	20,28	2942,06	No Cumple	
6	10%	7854	181,01	23,05	3342,67	Ok	
7	10%	7854	181,01	23,05	3342,67	Ok	
8	10%	7854	175,30	22,32	3237,30	Ok	
9	10%	7854	162,93	20,75	3008,88	Ok	
10	10%	7854	184,28	23,46	3403,14	Ok	

Resultados 2 de los ensayos a flexión

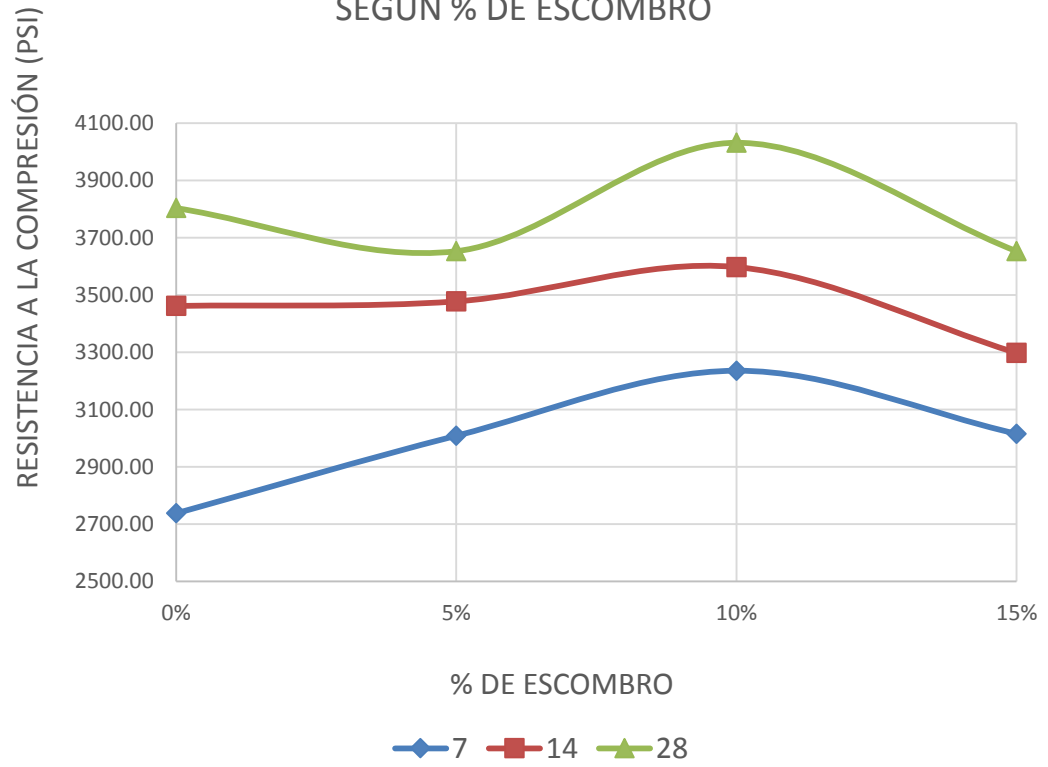
Vigas de Concreto

Ensayo	Mezcla	Área mm ²	Carga Máxima KN	Resistencia Mpa	Resistencia Psi	Promedio
1	10%%	0,0225	14510,00	1,93	280,60	348,19
2	10%%	0,0225	19261,60	2,57	372,49	
3	10%%	0,0225	19819,70	2,64	383,28	
4	10%%	0,0225	18746,46	2,50	362,53	
5	10%%	0,0225	17687,44	2,36	342,05	

TABLA DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PROMEDIO (PSI)

% de Escombro	DÍAS DE CURADO DEL CONCRETO		
	7	14	28
0%	2737,89	3462,10	3803,79
5%	3008,71	3478,04	3653,29
10%	3235,94	3597,95	4031,92
15%	3015,72	3297,93	3653,23

COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO SEGUN % DE ESCOMBRO



COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO SEGUN DIAS DE CURADO DEL CONCRETO

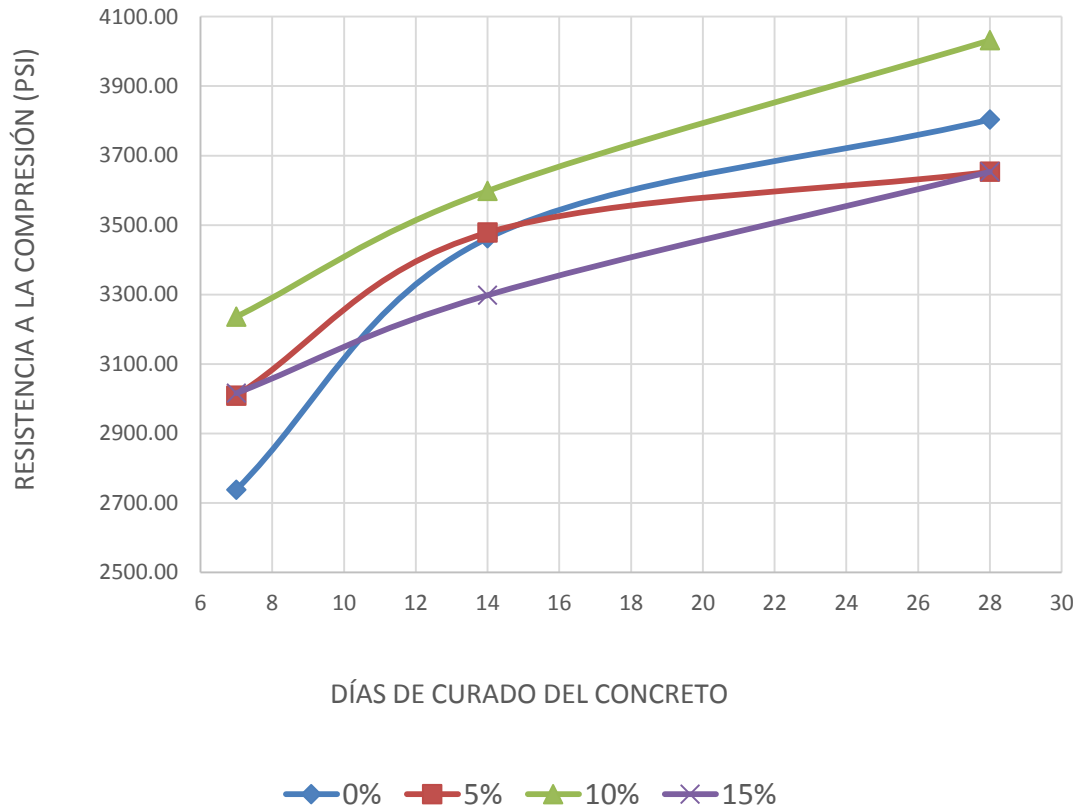
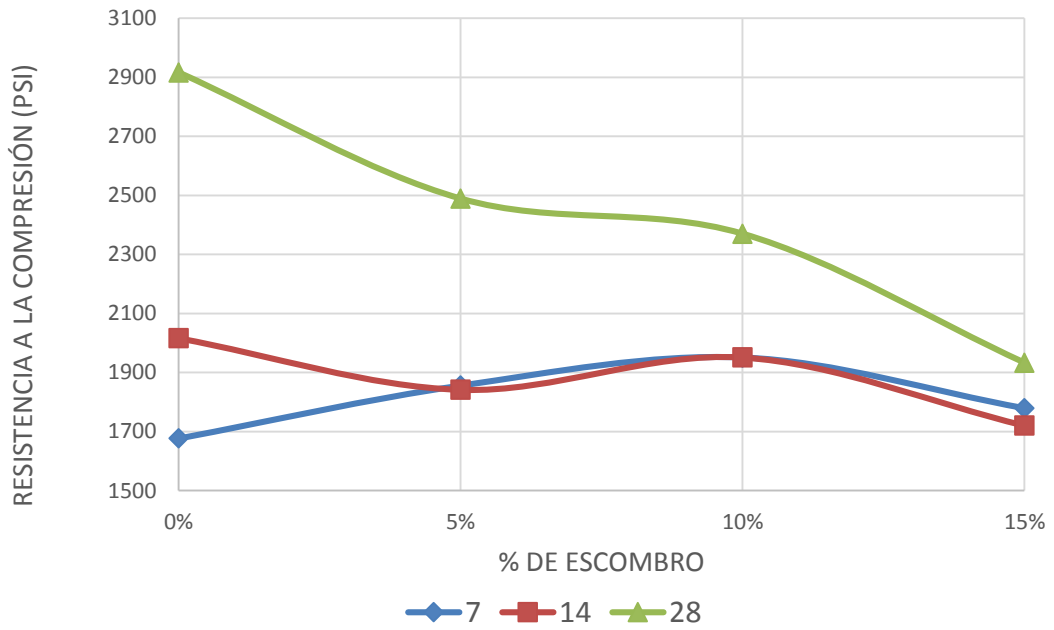


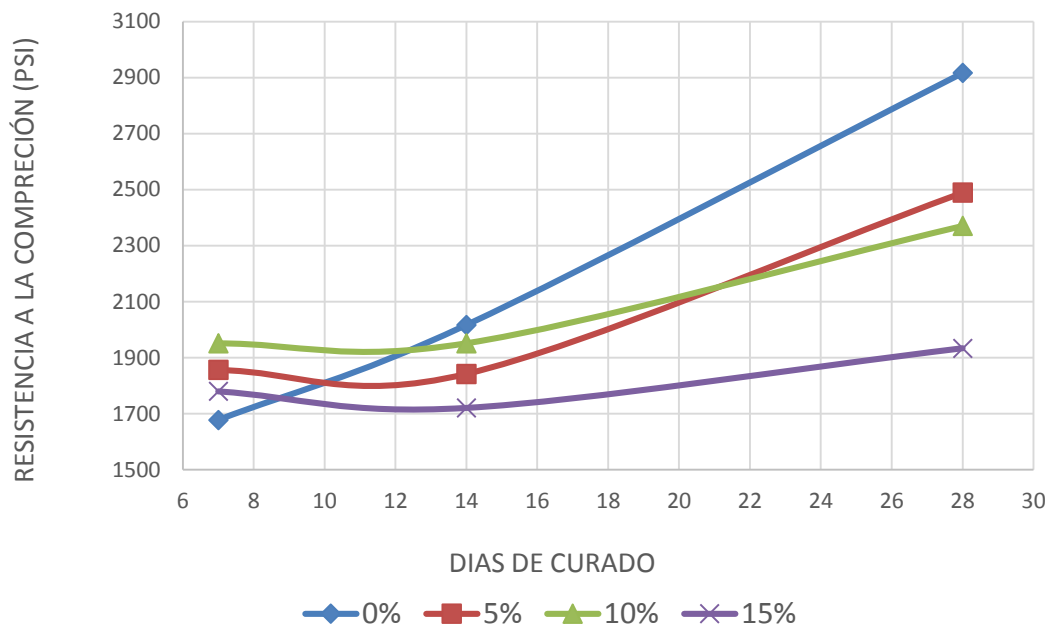
TABLA DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO PROMEDIO (PSI)

% de Escombros	DÍAS DE CURADO DEL MORTERO		
	7	14	28
0%	1676,76	2016,03	2916,25
5%	1855,52	1841,69	2488,99
10%	1950,72	1951,01	2369,96
15%	1779,15	1720,19	1933,01

COMPORTAMIENTO DEL MORTERO
SEGUN % DE ESCOMBRO

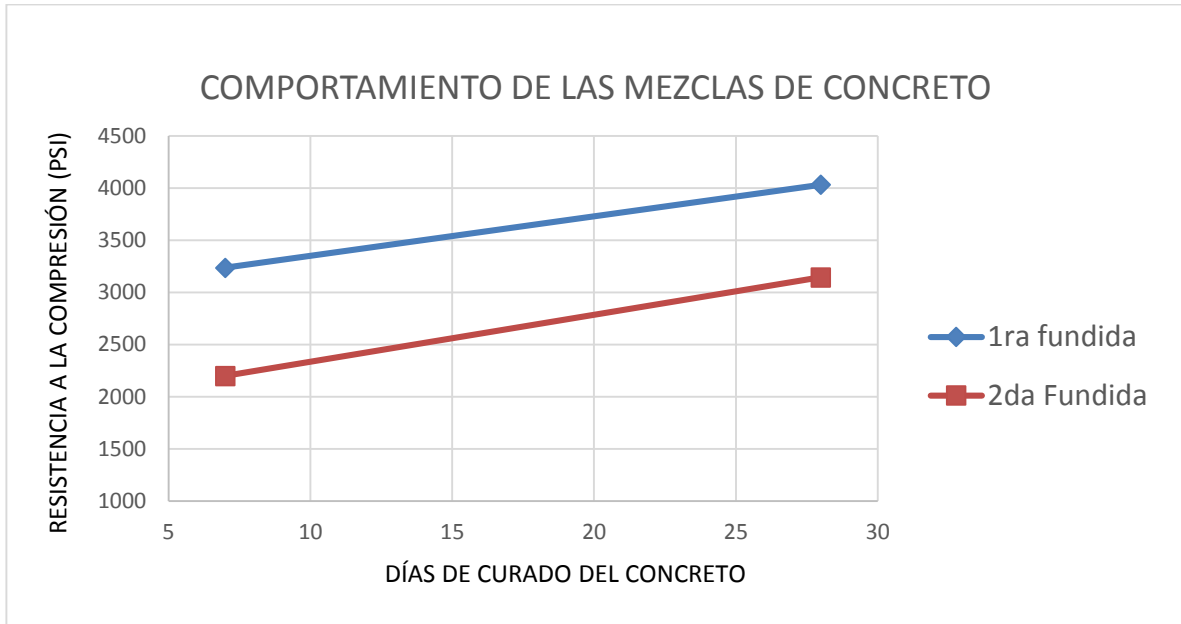


COMPORTAMIENTO DEL MORTERO
SEGUN DIAS DE CURADO



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (PSI)

Días de curado	7	28
1ra fundida	3235,93	4031,92
2da fundida	2198,91	3144,45



MANUAL APLICATIVO



**UTILIZACIÓN DE
ESCOMBROS EN
MEZCLAS DE CONCRETO**

**WILSON ESTEBAN HURTADO ORTIZ
SILVIA FERNANDA SÁENZ CORZO**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. PÚBLICO DIRIGIDO.....	6
3. CREACIÓN DE NUEVOS MATERIALES.....	7
3.1. RECOLECCIÓN DE ESCOMBROS.....	7
3.2. SEPARACIÓN DE ESCOMBROS PARA OBTENCIÓN DE MATERIAL FINO	7
3.3. ENSAYOS A DESARROLLAR PARA LOS AGREGADOS DE LA MEZCLA.....	9
4. TABLA DOSIFICADORA.....	11
4.1. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO.....	11
4.2. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE.....	12
4.3. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO.....	13

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
4.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DISEÑO.....	17
4.5. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO...	18
4.6. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO.....	19
4.7. ESTIMACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LOS AGREGADOS.....	20
4.8. TABLA DE DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO.....	21
4.9. EJEMPLO PRACTICO.....	24
5. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA.....	30
6. RECOMENDACIONES.....	31
7. BIBLIOGRAFÍA.....	32

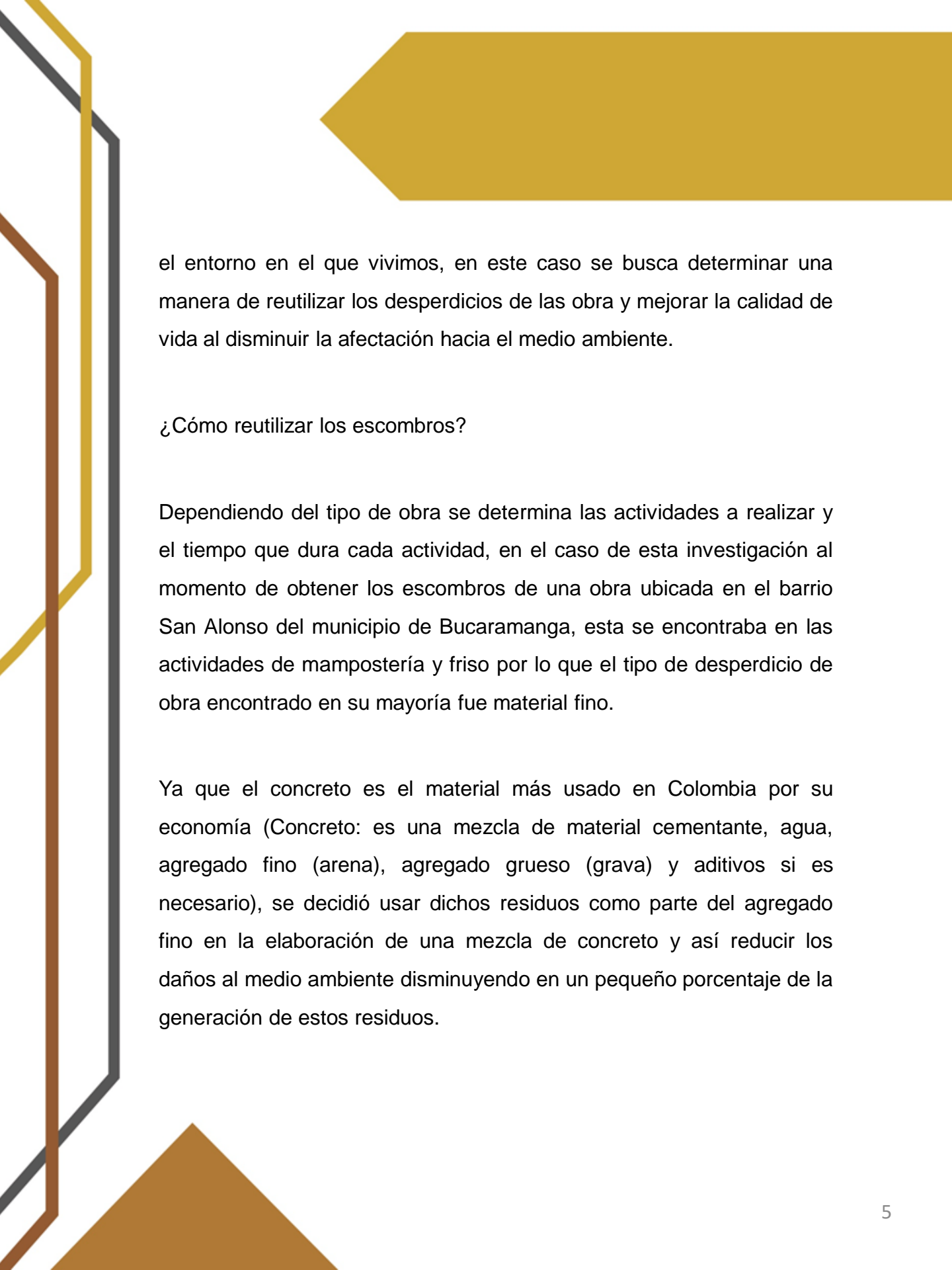


1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el avance que ha tenido la construcción es bastante significativo gracias a los estudios e investigaciones de nuevos materiales y procesos, los cuales ayudan a mejorar las características más importantes que son la resistencia, durabilidad y economía.

Este gran paso que ha dado la construcción se ve reflejado en la gran cantidad de obras civiles realizadas últimamente o que están en proceso, esto ha generado muchos aspectos tanto positivos como negativos, entre los positivos está la generación de empleo, mejorar la calidad de vida de los habitantes de cada zona, mejor aspecto, desempeño socioeconómico y cultural, seguridad entre otros, y uno de los aspectos negativos más importante es la generación de residuos de obra o escombros los cuales afectan el medio ambiente incluso si se tiene un buen manejo para desecharlos.

A medida que pasa el tiempo el hombre busca identificar uno o varios procedimientos para reciclar o reutilizar lo que para el mismo son desechos, residuos, materiales a los que ya no se puede dar uso con un tiempo de descomposición bastante extenso que puede perjudicar



el entorno en el que vivimos, en este caso se busca determinar una manera de reutilizar los desperdicios de las obra y mejorar la calidad de vida al disminuir la afectación hacia el medio ambiente.

¿Cómo reutilizar los escombros?

Dependiendo del tipo de obra se determina las actividades a realizar y el tiempo que dura cada actividad, en el caso de esta investigación al momento de obtener los escombros de una obra ubicada en el barrio San Alonso del municipio de Bucaramanga, esta se encontraba en las actividades de mampostería y friso por lo que el tipo de desperdicio de obra encontrado en su mayoría fue material fino.

Ya que el concreto es el material más usado en Colombia por su economía (Concreto: es una mezcla de material cementante, agua, agregado fino (arena), agregado grueso (grava) y aditivos si es necesario), se decidió usar dichos residuos como parte del agregado fino en la elaboración de una mezcla de concreto y así reducir los daños al medio ambiente disminuyendo en un pequeño porcentaje de la generación de estos residuos.



2. PÚBLICO DIRIGIDO

Este manual está dirigido a todo público interesado en la realización de mezclas de concreto con un porcentaje de escombros, en especial a maestros de obra, ingenieros, docentes del área y obreros de construcción que estén enfocados en el reciclaje de desperdicios de obra.

3. CREACIÓN DE NUEVOS MATERIALES

3.1. RECOLECCIÓN DE ESCOMBROS

Como primer paso es necesario recolectar los escombros de alguna obra civil y determinar de qué actividad proviene, en este caso el escombros encontrado en la obra civil del Edificio Catleya ubicado en el barrio San Alonso de Bucaramanga Santander proviene de las actividades mampostería y friso, y en su mayoría es material fino.

Al ser más que todo fino, se reutilizara como parte del agregado fino, por ende para este procedimiento de utilización de escombros en la creación nuevos material es necesario buscar un escombros con características similares, es decir, en su mayoría partículas finas.

3.2. SEPARACIÓN DE ESCOMBROS PARA OBTENCIÓN DE MATERIAL FINO

Ya obtenido el escombros se requiere realizar un proceso de selección o separación para así saber qué porcentaje de material puede servir para la realización de la mezcla de concreto.

Se procede a dividir cada tipo de residuos de obra dependiendo de su característica el cual para las actividades de mampostería y friso los más comunes pueden ser:

- Trozos de mampostería
- Bloques irregulares de concreto y mortero
- Agregado grueso (Grava)
- Material Fino (arena, cemento, fino de mampostería, etc.)
- Madera

Es necesario realizar un proceso de selección de desperdicios de obra en una muestra significativa para determinar aproximadamente las cantidades de cada tipo de escombros encontrados, en este caso en una muestra de aproximadamente 500 kilogramos se realizó una clasificación la cual constó de tomar cada saco para pesarlo en la balanza, posteriormente voltearlo en un plástico, manualmente escoger todo tipo de material que a la vista sea de gran tamaño y por último pasar el material restante aparentemente fino por un tamiz N° 4 el cual divide el agregado grueso del fino, ya catalogados se procede a pesar cada tipo de escombros por separado.

Ya con el conocimiento del peso total de la muestra y el peso total de cada tipo de desperdicio de obra se puede determinar los porcentajes y tener un dato aproximado de la cantidad de escombros que se puede usar en la mezcla que en este caso el mayor porcentaje fue de material fino por tanto fue el tipo de escombros a utilizar.

3.3. ENSAYOS A DESARROLLAR PARA LOS AGREGADOS DE LA MEZCLA

Antes de realizar un diseño de mezcla es importante conocer qué tipo de agregados utilizaremos y qué características tiene cada uno. Para obtener estas características es necesario realizar una serie de ensayos de laboratorio a cada material.

- ✓ **Para los agregados tanto fino como grueso (Arena y Grava):**
 - o Determinación del tamaño de los agregados (Finos y gruesos) INV-E 213
 - o Peso específico y absorción de los agregados NTC 176-237
 - o Masa Suelta Y Compacta NTC 92- INV-E 217
 - o Materia orgánica NTC127
 - o Humedad Natural

- ✓ **Para el residuo de obra o Escombro:**
 - o Determinación del tamaño de los agregados (Finos y gruesos) INV-E 213
 - o Peso específico y absorción de los agregados NTC 176-237
 - o Materia orgánica NTC127
 - o Humedad Natural

- ✓ **Para el material cementante o Cemento:**
 - o Densidad del cemento NTC 221-INV- E 307

Ya realizados los ensayos respectivos de laboratorio se procede a calcular la densidad del cemento, el contenido de materia orgánica junto con la humedad natural, el MUS (Masa Unitaria Suelta) y el MUC (Masa Unitaria Compacta) tanto de la arena o agregado fino como de la grava o agregado grueso el cual se obtiene del ensayo de masa suelta y compacta, con la granulometría o determinación del tamaño de los agregados se halla el módulo de finura tanto de la arena como del escombro y el tamaño máximo nominal de la grava, por ultimo con el ensayo de absorción se determina la densidad aparente o peso específico de los agregados y el escombro.

4. TABLA DOSIFICADORA

ESPECIFICACIONES DEL CONCRETO

Como primer paso para empezar a diseñar una mezcla de concreto es necesario conocer las especificaciones, entre ellas está el $f'c$ que él la carga que resiste por unidad de área o resistencia a la compresión y el Asentamiento de preferencia.

4.1. SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

La selección del asentamiento depende de la consistencia que se requiera para la mezcla de concreto y a partir de esta existe un rango para el asentamiento como se muestra en la siguiente tabla:

ASENTAMIENTO			
CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (mm)		
Muy seca	0	-	20
Seca	20	-	35
Semi-seca	35	-	50
Media	50	-	100
Húmeda	100	-	150
Muy húmeda	150	-	más

*Tabla 1. Asentamiento según la consistencia deseada
Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.
Tecnología del concreto y del mortero. 2001*

Ya seleccionado el asentamiento deseado se procede a sacar el promedio entre el límite inferior y el límite superior.

4.2. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

El contenido de aire tiene ciertas características dependiendo del tipo de concreto que se vaya a realizar, normalmente el contenido de aire puede ser el que normalmente queda atrapado como el que ya es expuesto.

CONTENIDO DE AIRE					
Tamaño máximo nominal del agregado		Naturalmente atrapado	Exposición ligera	Exposición moderada	Exposición severa
mm	in				
9,51	3/8"	3,0	4,5	6,0	7,5
12,7	1/2"	2,5	4,0	5,5	7,0
19	3/4"	2,0	3,5	5,0	6,0
25,4	1"	1,5	3,0	4,5	6,0
38,1	1 1/2"	1,0	2,5	4,5	5,5
50,8	2"	0,5	2,0	4,0	5,0
76,1	3"	0,3	1,5	3,5	4,5
152	6"	0,2	1,0	3,0	4,0

Tabla 2. Contenido de aire dependiendo del Tamaño máximo nominal del agregado

*Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.
Tecnología del concreto y del mortero. 2001*

4.3. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO

El contenido de agua de mezclado del concreto depende de la forma de las partículas del agregado, estas pueden ser redondeadas y textura lisa como irregulares y de textura rugosa, también se requiere conocer el asentamiento promedio y el tamaño máximo nominal del agregado grueso como se muestra en las siguientes tablas:

CONTENIDO DE AGUA									
PARTÍCULAS DE FORMA REDONDEADA Y TEXTURA LISA, EN CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO									
ASENTAMIENTO		TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (IN)							
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	in	AGUA DE MEZCLADO, EN KG/M3 DE CONCRETO							
0	0	213	185	171	154	144	136	129	123
25	1	218	192	177	161	150	142	134	128
50	2	222	197	183	167	155	146	138	132
75	3	226	202	187	172	160	150	141	136
100	4	229	205	191	176	164	154	144	139
125	5	231	208	194	179	168	156	146	141
150	6	233	212	195	182	172	159	150	143
175	7	237	216	200	187	176	165	156	148
200	8	244	222	206	195	182	171	162	154

Tabla 3. Contenido de agua para partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto sin aire incluido

Tomada y adaptada de: Sánchez Diego. Tecnología del concreto y del mortero. 2001

CONTENIDO DE AGUA									
PARTÍCULAS DE FORMA ANGULAR Y TEXTURA RUGOSA, EN CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO									
ASENTA -MIENTO		TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (IN)							
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	in	AGUA DE MEZCLADO, EN KG/M3 DE CONCRETO							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Tabla 4. Contenido de agua para partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto sin aire incluido

*Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.
Tecnología del concreto y del mortero. 2001*

CONTENIDO DE AGUA									
PARTÍCULAS DE FORMA REDONDEADA Y TEXTURA LISA, EN CONCRETO CON AIRE INCLUIDO									
ASENTA -MIENTO		TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (IN)							
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	in	AGUA DE MEZCLADO, EN KG/M3 DE CONCRETO							
0	0	188	161	151	134	129	121	119	113
25	1	193	167	157	141	135	127	124	117
50	2	197	172	163	147	140	131	128	122
75	3	200	176	167	152	145	135	132	125
100	4	203	179	169	155	148	137	134	128
125	5	205	183	172	158	151	140	137	130
150	6	208	188	176	162	155	144	141	134
175	7	213	194	181	167	161	150	146	139
200	8	219	201	186	174	167	156	152	144

Tabla 5: Contenido de agua para partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto con aire incluido

*Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.
Tecnología del concreto y del mortero. 2001*

CONTENIDO DE AGUA									
PARTÍCULAS DE FORMA ANGULAR Y TEXTURA RUGOSA, EN CONCRETO CON AIRE INCLUIDO									
ASENTA -MIENTO		TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (IN)							
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	in	AGUA DE MEZCLADO, EN KG/M3 DE CONCRETO							
0	0	198	176	166	152	143	132	130	122
25	1	206	183	174	158	149	138	136	128
50	2	211	189	179	164	155	144	142	134
75	3	216	193	183	169	159	149	146	138
100	4	219	196	186	172	163	152	150	141
125	5	222	200	190	176	167	156	153	144
150	6	226	205	194	180	171	161	157	148
175	7	230	210	199	185	177	166	162	153
200	8	235	215	204	190	182	171	168	158

Tabla 6: Contenido de agua para partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto con aire incluido

*Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.
Tecnología del concreto y del mortero. 2001*

4.4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DISEÑO

Ya con el valor de la carga por unidad de área que describe las especificaciones en Mpa (Mega pascales) se procede a calcular el f'_c de diseño:

- ✓ Si la resistencia del concreto es menos de 21 Mpa:

$$f'_{c_{Diseño}} = f'_{c_{Especificación}} + 7 \text{ Mpa} \quad \text{Fórmula 1.}$$

- ✓ Si la resistencia del concreto está en un rango de 21 Mpa a 35 Mpa:

$$f'_{c_{Diseño}} = f'_{c_{Especificación}} + 8.5 \text{ Mpa} \quad \text{Fórmula 2.}$$

- ✓ Si la resistencia del concreto es de más de 35 Mpa:

$$f'_{c_{Diseño}} = f'_{c_{Especificación}} + 10 \text{ Mpa} \quad \text{Fórmula 3.}$$

4.5. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO

Como el contenido de agua, la relación agua-cemento también depende si el contenido de aire es atrapado naturalmente o es incluido donde a partir de la resistencia de diseño se obtiene un rango y un promedio del mismo como se ve reflejado en las siguientes tablas:

RELACIÓN AGUA CEMENTO			
SIN AIRE INCLUIDO			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	LÍMITE SUPERIOR	LÍNEA MEDIA	LÍMITE INFERIOR
Kg/cm ²			
140	-	0,72	0,65
175	-	0,65	0,58
210	0,7	0,58	0,53
245	0,64	0,53	0,49
280	0,59	0,48	0,45
315	0,54	0,44	0,42
350	0,49	0,4	0,38

Tabla 7. Relación agua cemento sin aire incluido dependiendo de la resistencia a la compresión de diseño

*Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.
Tecnología del concreto y del mortero. 2001*

RELACIÓN AGUA CEMENTO			
CON AIRE INCLUIDO			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	LÍMITE SUPERIOR	LÍNEA MEDIA	LÍMITE INFERIOR
Kg/cm ²			
140	-	0,65	0,58
175	-	0,59	0,52
210	0,65	0,54	0,49
245	0,61	0,5	0,46
280	0,55	0,44	0,41
315	0,51	0,41	0,39
350	0,46	0,37	0,36

Tabla 8: Relación agua cemento con aire incluido dependiendo de la resistencia a la compresión de diseño

*Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.
Tecnología del concreto y del mortero. 2001*

4.6. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

El contenido de cemento se determina con la siguiente fórmula:

$$Cemento(Kg/m^3) = \frac{Agua\ de\ mezclado}{Relación\ agua-cemento} \quad \text{Fórmula 4.}$$

4.7. ESTIMACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LOS AGREGADOS

La estimación de las proporciones de los agregados se busca a partir de los resultados arrojados por los ensayos en los que se calcula el MUC (Masa Unitaria Compacta) para el agregado grueso y el módulo de finura para el agregado fino y con estos datos buscar el β_o (Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto) como se muestra en la tabla:

PROPORCIONES DE LOS AGREGADOS					
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO					
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		MÓDULO DE FINURA			
		2,40	2,60	2,80	3,00
mm	in				
9,51	3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
12,7	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
25,4	1"	0,71	0,69	0,67	0,65
38,1	1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
50,8	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
76,1	3"	0,82	0,80	0,78	0,76
152	6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Tabla 9: Proporciones de los agregados dependiendo del tamaño máximo nominal del mismo

*Tomada y adaptada de: Sánchez Diego.
Tecnología del concreto y del mortero. 2001*

Luego se requiere calcular b/b_o

$$b/b_o = MUC * 1000$$

Fórmula 5.

Posteriormente se procede a calcular el peso de la graba o agregado grueso (P_g) con la siguiente formula:

$$P_g = b_o * \frac{b}{b_o}$$

Fórmula 6.

4.8. TABLA DE DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO

La siguiente tabla explica claramente de donde se obtiene cada valor para poder completarla, importante agregar un porcentaje de desperdicio significativo para evitar problemas a la hora de fundir la mezcla de concreto.

CONCRETO NORMAL			
MATERIAL	MASA	DENSIDAD	VOLUMEN
	KG	KG/M3	M3
Cemento	Contenido de Cemento según la fórmula mostrada en el numeral 4.6.	Resultado obtenido del ensayo de densidad del cemento	$\frac{Vol_{Cemento} \cdot Masa}{Densidad}$
Agua	$P_{agua} = Densidad * Volumen$	Densidad del agua= 1000,00	Contenido de agua calculado anteriormente en el numeral 4.3.
Aire	-	-	Contenido de Aire obtenido de la tabla del numeral 4.2.
Ag Grueso	Pg. (peso de la grava) usando la fórmula del numeral 4.7.	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción multiplicado por 1000	$\frac{Vol_{Ag grueso} \cdot Masa}{Densidad}$
Ag fino	$P_{Ag fino} = Densidad * Volumen$	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción multiplicado por 1000	Ver fórmula 4.8.2
			1,00

Tabla 10: Tabla de dosificación del concreto sin escombros

CONCRETO CON % DE ESCOMBRO			
MATERIAL	MASA	DENSIDAD	VOLUMEN
	KG	KG/M3	M3
Cemento	Contenido de Cemento según la fórmula mostrada en el numeral 4.6.	Resultado obtenido del ensayo de densidad del cemento	$Vol_{Cemento} = \frac{Masa}{Densidad}$
Agua	$P_{agua} = Densidad * Volumen$	Densidad del agua= 1000,00	Contenido de agua calculado anteriormente en el numeral 4.3.
Aire	-	-	Contenido de Aire obtenido de la tabla del numeral 4.2.
Ag Grueso	Pg. (peso de la grava) usando la fórmula del numeral 4.7.	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción multiplicado por 1000.	$Vol_{Ag grueso} = \frac{Masa}{Densidad}$
Ag fino	$P_{Ag fino} = Densidad * Volumen$	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción multiplicado por 1000.	Ver fórmula 4.8.4
Escombros	$P_{escombros} = Densidad * Volumen$	Densidad aparente obtenido del ensayo de absorción multiplicado por 1000.	Ver fórmula 4.8.3
			1,00

Tabla 11: Tabla de dosificación del concreto con porcentaje de escombros

$$\text{Vol de agregado fino para mezcla normal} = \frac{1}{1 - (Vol_{\text{cemento}} + Vol_{\text{agua}} + Vol_{\text{aire}} + Vol_{\text{Ag grueso}})} \quad \text{Fórmula 7.}$$

$$\text{Vol de escombros} = \frac{1}{1 - (Vol_{\text{cemento}} + Vol_{\text{agua}} + Vol_{\text{aire}} + Vol_{\text{Ag grueso}})} \quad \text{Fórmula 8.}$$

* % de escombros

$$\text{Vol de agregado fino para mezcla con escombros} = \frac{1}{1 - (Vol_{\text{cemento}} + Vol_{\text{agua}} + Vol_{\text{aire}} + Vol_{\text{Ag grueso}} + Vol_{\text{escombros}})} \quad \text{Fórmula 9.}$$

4.9. EJEMPLO PRACTICO

SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Para la selección del asentamiento se escogió una consistencia media la cual según la tabla 1. tiene un asentamiento entre 50 y 100 mm.

$$\text{Asentamiento promedio (mm)} = 75 \text{ mm}$$

SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

En la selección del tamaño máximo del agregado es necesario realizar el ensayo de laboratorio de Granulometría o Determinación del tamaño de los agregados (Finos y gruesos) INV-E 213 y con los resultados obtenidos calcular el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino que para este ejemplo son los siguientes.

Agregado grueso

Tamaño máximo = 1"

Tamaño máximo nominal = 3/4"

Agregado Fino

Módulo de finura = 3,294

ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

Ya conociendo el valor del tamaño máximo nominal del agregado grueso es posible conocer el porcentaje por volumen de aire el cual se encuentra en la Tabla 2. y este depende de la exposición de aire si es naturalmente atrapado, exposición ligera, exposición moderada o exposición severa.

Para una mezcla de concreto con aire naturalmente atrapado:

$$\% \text{ aire por volumen} = 2,0$$

ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLADO

Igual que el contenido de aire para la estimación del contenido de agua de mezclado es necesario conocer el tamaño máximo nominal del agregado grueso, pero también se requiere saber el asentamiento promedio, hallado anteriormente.

Para hallar el contenido de agua de mezclado se debe tener en cuenta la inclusión de aire además de la forma y textura de las partículas, para nuestro ejemplo usaremos la tabla 3. para partículas de forma redondeada y textura lisa en concreto sin aire incluido.

$$\text{Agua de mezclado} = 187 \text{ Kg/m}^3 \text{ de Concreto}$$

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO

La resistencia a la compresión del concreto deseada para el ejemplo es de 21 Mega pascales por lo que se debe usar la fórmula 2.

Para $f'c$ entre 21 y 28 Mpa

$$f'c_{Diseño} = 21 \text{ Mpa} + 8.5 \text{ Mpa}$$

$$f'c_{Diseño} = 30 \text{ Mpa}$$

SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO

Conociendo la resistencia a la compresión de diseño del concreto es posible determinar la relación agua cemento, esta depende también de si es con aire incluido o no, mencionado anteriormente sabemos que para el ejemplo se está diseñando una mezcla sin aire incluido por lo que es necesario usar la tabla 7.

$$\text{Relacion A/C} = 0.46$$

CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

Para el cálculo del contenido del cemento de la mezcla de concreto simplemente es usar la fórmula 4.

$$\text{Cemento}(\text{Kg}/\text{m}^3) = \frac{187 \text{ Kg}/\text{m}^3}{0.46}$$
$$\text{Cemento} = 407,12 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

ESTIMACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LOS AGREGADOS

Por ultimo para la estimación de las proporciones de los agregados ya se conoce el MF (Módulo de Finura) hallado anteriormente en la selección del tamaño máximo del agregado pero también se debe realizar el ensayo de masa suelta y compacta para poder calcular el MUC (Masa Unitaria Compacta) del agregado grueso y así poder usar la tabla 9. para hallar b_o , la fórmula 5. para b/b_o y la fórmula 6. para P_g . (peso de agregado grueso).

$$MUC_{Ag\ Grueso} = 1.583$$

$$MF_{Ag\ Fino} = 3.29$$

$$b_o = 0.6$$

$$b/b_o = 1.583 * 1000$$

$$b/b_o = 1583$$

$$P_g = 0.6 * 1583$$

$$P_g = 950.05 \text{ Kg/m}^3$$

TABLA DE DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO NORMAL

CONCRETO NORMAL			
MATERIAL	MASA KG	DENSIDAD KG/M3	VOLUMEN M3
Cemento	407,12	2857,14	0,142
Agua	187,00	1000,00	0,187
Aire	-	-	0,020
Ag Grueso	950,05	2538,93	0,374
Ag fino	705,82	2554,40	0,276
			1,00

Tabla 12. Dosificación del concreto normal

TABLA DE DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO CON 10% DE ESCOMBRO

CONCRETO CON 10% DE ESCOMBRO			
MATERIAL	MASA KG	DENSIDAD KG/M3	VOLUMEN M3
Cemento	407,12	2857,14	0,142
Agua	187,00	1000,00	0,187
Aire	-	-	0,020
Ag Grueso	950,05	2538,93	0,374
Ag fino	635,24	2554,40	0,249
escombros	61,36	2220,51	0,028
			1,00

Tabla 13. Dosificación del concreto con 10% de escombros

5. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA

Como paso final está la elaboración de la mezcla la cual se realiza igual que una mezcla normal de concreto agregándole un porcentaje de desperdicio, es decir, en primera instancia se mezcla el agregado fino con el escombros, luego se le agrega el contenido de cemento, al ver que la mezcla se ve uniforme se adiciona el agregado grueso y por último se le adiciona agua poco a poco hasta conseguir la consistencia deseada la cual se comprueba con el ensayo del asentamiento y si este coincide con el asentamiento esperado se procede a fundir.

6. RECOMENDACIONES

- Es importante realizar adecuadamente los ensayos del laboratorio para obtener resultados acertados
- A la hora de agregar el agua es importante no superar demasiado el contenido de agua calculado solo por conseguir el asentamiento exacto, ya que al usar mucha agua la resistencia del concreto puede disminuir.
- Es importante que para este método el porcentaje de escombros no supere un 15 % de agregado fino, es probable que la resistencia a la compresión del concreto descienda.
- Es recomendable usar un porcentaje de desperdicio de entre 5 y 25 por ciento, esto depende de la cantidad que se desee fundir.
- Para un volumen relativamente pequeño es recomendable mezclar a mano, esto disminuye el desperdicio de mezcla.
- Tener en cuenta que el desarrollo de este proceso, va a ser acertado para casos de este tipo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Riviera Gerardo, Concreto simple. Disponible en :
<ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/gearnilo/docs/FIC%20y%20GEO%20TEC%20SEM%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20PDF%20ver.%202009/Cap.%2006%20-%20Resistencia.pdf>
- D. Sanchez De Guzman, “*Tecnologia del concreto y del mortero* “
Quinta edición 2001.