

EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL CONCRETO NO
CONVENCIONAL FABRICADO A PARTIR DE AGREGADOS PROVENIENTES
DEL RECICLAJE DE ESCOMBROS DE CONCRETO

FASE III: Reciclaje de materiales de demolición

DIEGO JOHN EDISSON CUPACÁN LÓPEZ
JUAN CARLOS PANTOJA MOYANO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2010

EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL CONCRETO NO
CONVENCIONAL FABRICADO A PARTIR DE AGREGADOS PROVENIENTES
DEL RECICLAJE DE ESCOMBROS DE CONCRETO

FASE III: Reciclaje de materiales de demolición

DIEGO JOHN EDISSON CUPACÁN LÓPEZ
JUAN CARLOS PANTOJA MOYANO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil

Asesor:
William Arturo Castillo Valencia
Ingeniero Civil
Especialista en Estructuras

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2010

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusivas del autor”.

Artículo 1º del acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable consejo directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Octubre de 2010

DEDICATORIA

Dedico esta investigación:

A Dios:

Por protegerme e iluminar mi camino,
Por darme la sabiduría, la fe, y la esperanza para
lograr esta meta a la cual he llegado gracias a ti.

A mis padres.

Buenaventura Cupacán Ortega y Visitacion Arcelia López
por recibirme en este mundo con inmensa alegría,
por todo el amor que me han dado, por su responsabilidad
en el trascurso de mi formación como profesional,
por brindarme su protección, su apoyo, confianza, consejos,
por estar conmigo en los momentos buenos y malos, a ellos a mis padres les
dedico este trabajo que también es suyo. con amor, admiración y respeto
sinceramente gracias.

A mis familiares:

Adm. Henry Cupacán López, Lic .Anita Maribel Betancourth López,
sobrinos por todo el ejemplo y cariño ofrecido

A mis amigos:

Ing.Teresita de pilar Argoty, Ing Iván Javier Muños López,
Ing Vanesa Mora, Ing Dadiana Stephanie Folleco,
Ing Carlos Andrés Laverde por todos la confianza,
concejos y cariño recibido durante esos 5 años,
y que siempre mostraron un interés en crecer a mi
lado, de verdad se los agradezco

Diego Jhon Edison Cupacán López

Dedico esta investigación:

A mi familia:

Carlos Pantoja Burgos, Maria del Carmen Moyano Machado
Karol Lorena Pantoja Moyano
que siempre han estado a mi lado apoyándome,
y aportando toda su sabiduría para que pudiera
escoger el camino correcto. por sus días, tardes
y noches que pasaron a mi lado buscando la
solución a problemas que se me han presentado,
y sobre todo por el infinito amor que han
demostrado tenerme, Gracias.

A mis familiares:

Ing. Geovanny Moyano, Lic. Segundo Moyano Montero,
Maria Luisa Machado
Por ser el apoyo incondicional, el ejemplo y
mi aspiración personal. Gracias

A mis amigos:

Lic. Jonathan Rodríguez, Ing. Carlos Fernando Rosales,
Ing. Edison Marcelo Rosas, Ing. Héctor Marlon Gomajoa
Por ser esas personas que estuvieron en toda ocasión
buena o mala por la que atravesé durante mi formación
y con los cuales compartí momentos inolvidables que estarán
en mi memoria por siempre, aquellos amigos con los que forme
un vinculo que durara toda mi vida. Gracias.

Juan Carlos Pantoja Moyano

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan a sus más sinceros agradecimientos a todas las personas que colaboraron y participaron de alguna manera en la realización de este proyecto, y en especial:

A William Arturo Castillo Valencia, ingeniero civil, profesor adscrito a la Universidad de Nariño, director del proyecto, por su interés, dedicación y orientación a lo largo del desarrollo de la investigación.

A Ruby Alicia Criollo, ingeniera civil, profesor adscrito a la Universidad de Nariño, directora del proyecto en su primera etapa, por su orientación y apoyo.

A Michel Bolaños, ingeniero civil, Decano de la Facultad de Ingeniería, profesor adscrito a la Universidad de Nariño, por su gestión y apoyo para la realización del proyecto.

A Vicente Parra, ingeniero civil, profesor adscrito a la Universidad de Nariño, por sus consejos e interés en la culminación exitosa del proyecto.

A Fabián Suarez Sánchez, ingeniero civil, profesor adscrito a la Universidad de Nariño, por sus indicaciones para el desarrollo del proyecto.

A Darío Fajardo, director del Centro de Investigaciones de Materiales de la CIMA, profesor adscrito a la Universidad de Nariño, ingeniero electrónico, por su asistencia y orientación en el proceso investigativo.

A Arsenio Hidalgo, matemático y estadístico, profesor adscrito a la Universidad de Nariño, por su orientación y apoyo en el análisis estadístico de datos.

A Herney Lasso Echavarría, geotecnólogo, representante legal, Suelos y Materiales Laboratorio, por su orientación, interés y acompañamiento en el estudio de los materiales y ejecución de ensayos.

A la empresa CEMEX a través de Cemex Colombia Ltda, distribuidora de cemento y concreto, por su interés y donación del cemento utilizado para la ejecución de la investigación.

A Armando Pianda, representante del sur para Cemex Colombia Ltda, por su gestión para la donación del cemento Diamante utilizado para el desarrollo del proyecto.

A Mina Briceño Bajo, cantera de agregados, por su colaboración con la trituración del escombro de concreto y donación del agregado grueso natural

A COMINAGRO S.A, mina Las Terrazas, por la donación del agregado fino natural.

A CASA ANDINA, por ser intermediaria de la empresa Cemex Colombia S.A, por la gestión para la obtención del cemento Diamante.

A Carlos Andrés Laverde Castaño, contratista de INGEOMINAS, por su asesoría en elaboración del documento de la investigación.

A Dadiana Stephanie Folleco David, ingeniera civil, por su consejo, apoyo e interés constante a lo largo del desarrollo de la investigación.

A Teresita del Pilar Argoty Cepeda, ingeniera civil, por la orientación, gestión y apoyo para la ejecución del proyecto.

Al personal de laboratorios de la Universidad de Nariño, por su colaboración en la ejecución de ensayos.

Al programa de Ingeniera Civil de la Universidad de Narino, a nuestros compañeros, amigos y profesores y por lo enriquecedora que ha sido la carrera y por brindarnos los conocimientos con los que desarrollamos la investigación.

A nuestra Universidad de Nariño por ser la sede de muchos de nuestros éxitos y trabajos.

RESUMEN

El presente proyecto consiste en desarrollar una investigación experimental en laboratorio de tipo exploratorio, para determinar las características técnicas que tienen los agregados gruesos producto de la demolición y trituración de estructuras de concreto simple y concreto armado simple, para luego compararlas con los correspondientes agregados convencionales y así poder determinar su viabilidad económica.

El problema a resolver puede abordarse desde dos enfoques:

- Enfoque técnico - económico

El problema radica en el desconocimiento general que existe en la región nariñense del comportamiento físico-mecánico que poseen los agregados reciclados antes mencionados en la conformación de concretos hidráulicos. Este problema se abordará comparando la resistencia a la compresión simple en cilindros hechos con concreto no convencional (conformado por agregados gruesos reciclados) y cilindros de concreto convencional (conformados con agregados naturales), para luego realizar con estos agregados reciclados un análisis técnico como material de construcción y un análisis económico como una alternativa a los materiales naturales.

La investigación logrará establecer las características físico-mecánicas de los agregados provenientes del reciclaje de estructuras de concreto y su comportamiento dentro de la matriz de los agregados que conforman el concreto hidráulico, conociéndose al final si son adecuados para la construcción de estructuras que lleven en su interior concreto simple.

- Enfoque ambiental

Durante la realización de una obra civil es habitual que se deba derribar una construcción existente, lo que origina una cantidad importante de residuos en forma de sobrantes y de diversos restos; siendo este uno de los problemas medio ambientales más importantes, el cual provoca la degradación del paisaje cuando se vierten de manera incontrolada.

Es por eso que hoy, la exigencia de una mejora en la protección del medio ambiente y la preservación de la naturaleza y del paisaje motivan a que, en el ámbito de la construcción, se controlen estos residuos por medio de una gestión adecuada, minimizando las cantidades de los residuos desechados y haciendo que estos puedan ser reciclados, y en el mejor de los casos, reutilizados. Es por

ello que se hace urgente el conocimiento y la comprensión del comportamiento mecánico de los escombros de construcción como el concreto, con el objetivo de poder reutilizarlos, creando obras civiles cómodas, seguras y económicas, y subsanar el problema de la disposición final de escombros.

La importancia del proyecto radica en que en el medio no existen investigaciones que traten el reciclaje de los residuos de construcción como una alternativa técnico-económica, que adicionalmente trae consigo mejoras medioambientales.

ABSTRACT

During the implementation of civil works is usual have to be demolished an existing building, causing a significant amount of waste concrete, this motivates the builder to develop sustainable projects.

This research contributes to the understanding of recycled aggregate and its implementation as an alternative to have good technical specifications and economic benefits, being friendly to the environment.

The results of the cylinders subjected to simple compression showed that the mechanical behavior of recycled concrete is better than the natural aggregate concrete for resistance underneath 250 kgf/cm² and w/c ratios higher than 0.48. Additionally, the cubic meter of recycled concrete is on average 6% cheaper than conventional concrete, this without to be necessary to use additives.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	32
1. MARCO REFERENCIAL	41
1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS	41
1.2 TIPOS DE RESIDUOS GENERADOS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	42
1.3 REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS POR LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	44
1.4 REUTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS EN LA CONSTRUCCIÓN	45
1.4.1 Utilización de los residuos de concreto	45
1.4.2 Utilización de agregados reciclados en la construcción.....	45
1.5 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO FABRICADO CON AGREGADOS RECICLADOS	46
1.6 RECICLADO DE PAVIMENTOS	46
1.7 FACTORES DE INFLUENCIA	47
1.8 GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.	50
1.9 CONDICIONANTES QUE AFECTAN LA IMPLEMENTACIÓN DEL RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	51
1.9.1 Condicionantes de carácter técnico: Se refiere a dos aspectos importantes:	51
1.9.2 Condicionantes de tipo normativo o legislativo:	52
1.9.3 Condicionantes impuestos por el mercado de productos recuperados: Incluso en condiciones económicas ventajosas para estos productos, pueden actuar en tres sentidos:.....	53

1.10	INVESTIGACIONES ANTERIORES SOBRE EL USO DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO.	54
1.10.1	Resistencia del concreto preparado con agregados reciclados.....	54
1.10.2	Propiedades físicas del concreto preparado con un agregado nuevo y uno reciclado	56
1.10.3	Resistencia de adherencia entre el agregado de concreto demolido y el mortero	57
1.10.4	Trabajabilidad del concreto.....	58
1.10.5	Durabilidad.....	58
1.10.6	Efecto de las impurezas en el concreto	59
1.10.7	Escombros de concreto no contaminado, como agregado.....	60
1.10.8	Escombros de concreto contaminado, como agregado.....	62
2.	METODOLOGÍA	63
2.1	REVISIÓN Y ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE	63
2.2	CONSECUENCIA DE MATERIALES	63
2.3	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	63
2.4	DISEÑO Y ELABORACIÓN DEL EXPERIMENTO	64
2.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
2.6	ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN.....	65
3.	CONSECUENCIA DE MATERIALES	67
3.1	OBTENCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	67
3.1.1	Obtención del agregado grueso reciclado:	67
3.1.2	Obtención de agregado grueso natural.	75
3.1.3	Obtención de agregado fino natural.....	75
3.1.4	Obtención del cemento.....	77
3.2	CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE MATERIALES	78
3.3	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS AGREGADOS:	90
3.3.1	Solidez – sanidad.	91

4.	DISEÑO DEL EXPERIMENTO	92
4.1	DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO.....	92
4.1.1	Método gráfico:	92
4.1.2	Diseño de mezcla de concreto.....	97
4.1.3	Ajuste de la dosificación de los materiales	101
4.1.4	Elaboración de mezclas definitivas, y especímenes de prueba.....	101
4.2	CONFORMACIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO	101
4.3	ELABORACIÓN DE LA PRUEBA PILOTO.....	110
4.4	ENSAYO A COMPRESIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO	110
4.5	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA PILOTO.....	112
4.5.1	Cilindros conformados con agregado reciclado	112
4.5.2	Cilindros conformados con agregado grueso natural.	114
4.6	ESTABLECIMIENTO DEL TAMAÑO DE MUESTRA DEFINITIVA.....	116
4.7	ELABORACIÓN DE ENSAYOS DEFINITIVOS	118
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	120
5.1	COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO FABRICADO CON AGREGADOS RECICLADOS	120
5.1.1	Comportamiento del concreto en estado fresco:	120
5.1.2	Comportamiento del concreto en estado endurecido:	124
5.1.2.1	Resistencia a la compresión	125
5.1.2.2	Resistencia a la flexión	131
5.1.2.3	Módulo de elasticidad estático (NTC 4025):	135
5.1.2.4	Relación de Poisson (NTC 4025).....	138
5.1.2.5	Prueba de pulso ultrasónico o velocidad de onda (NTC 4325):.....	140
5.2	CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD	142
5.2.2	Criterios de aceptación.	147
6.	ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PRODUCCIÓN DE AGREGADO NO CONVENCIONAL	151

6.1	CONSIDERACIONES PRELIMINARES:	151
6.2	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL AGREGADO RECICLADO	154
6.3	COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL AGREGADO RECICLADO	161
6.3.1	Análisis de costos horarios para maquinaria	162
6.3.2	Costos horarios por máquina:.....	167
6.3.3	Costos por salario de operador.....	169
6.3.4	Rendimiento del sistema de producción	171
6.3.5	Costo del agregado reciclado por intervalo de tamaño.....	174
6.3.6	Análisis de costos indirectos.....	178
6.4	COSTO PÓR M ³ DE AGREGADO RECICLADO CON GRANULOMETRIA ESPECIFICADA	180
6.5	COSTO COMPARATIVO POR METRO CUBICO DE CONCRETO CONVENCIONAL Y NO CONVENCIONAL.....	181
6.5.1	Concreto fabricado con agregado reciclado	181
6.5.2	Concreto fabricado con agregado natural.....	183
6.5.3	Concreto fabricado con agregado natural promedio de resistencia a la compresión de 210 kgf/cm ² (3.000 Psi.).....	186
6.5.4	Concretos fabricados utilizando agregado natural, con especificaciones en tablas y gráficas de diseño de mezclas de concreto.....	187
6.6	ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO NO CONVENCIONAL Y CONVENCIONAL.....	189
7.	ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN	192
7.1	EVENTOS ACADÉMICOS NACIONALES E INTERNACIONALES (CONGRESOS, SEMINARIOS, TALLERES)	192
7.2	DIFUSIÓN EN MEDIOS INFORMATIVOS DE CARÁCTER REGIONAL, NACIONAL E INCLUSO INTERNACIONAL	195
7.3	PUBLICACIÓN A TRAVÉS DE INTERNET	200

7.4	SOCIALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN CON ESTUDIANTES DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA.....	203
7.5	SE DISCUTIÓ EL PROYECTO Y SUS CONCLUSIONES A LA COMUNIDAD CIENTÍFICA, EMPRESAS PÚBLICAS Y PRIVADAS DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN	204
8.	CONCLUSIONES	205
9.	RECOMENDACIONES.....	208
	BIBLIOGRAFÍA.....	209
	NETGRAFÍA	210
	ANEXOS.....	211

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. DEGRADACIÓN DEL PAISAJE DEBIDO A ESCOMBROS DE CONCRETO	37
FIGURA 2. PANORÁMICA DE LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO, AL PIE DEL VOLCÁN GALERAS.	38
FIGURA 5. AGREGADO GRUESO RECICLADO	67
FIGURA 6. PREFABRICADOS Y VIGAS	68
FIGURA 7. LOSA DE PAVIMENTO Y COLUMNAS	69
FIGURA 8. TUBERÍA Y LOSA DE ENTRE PISO	70
FIGURA 9. CAPACITACIÓN	71
FIGURA 10. DEGRADACIÓN DE MATERIAL	71
FIGURA 11. DEGRADACIÓN DE MATERIAL	72
FIGURA 12 RECOLECCIÓN DE MATERIAL	72
FIGURA 13 RECOLECCIÓN FINAL DE MATERIAL	72
FIGURA 14. LIMPIEZA DEL MATERIAL TRITURADO	73
FIGURA 15. INGRESO DEL MATERIAL RECICLADO A LA TRITURADORA	73
FIGURA 16. PROCESO DE TRITURACIÓN	74
FIGURA 17. RECOLECCIÓN DEL MATERIAL RECICLADO	74
FIGURA 18. AGREGADO GRUESO NATURAL	74
FIGURA 19. VISTA GENERAL CON LOCALIZACIÓN DE LAS CANTERAS A CIELO ABIERTO UBICADAS HACIA EL NOROCCIDENTE (NO) DE LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO	75
FIGURA 20. VISTA GENERAL CON LOCALIZACIÓN DE LA MINA LAS TERRAZAS UBICADAS HACIA EL SUR DE LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO	76

FIGURA 21. ACOPIO DEL AGREGADO FINO NATURAL	77
FIGURA 22. CEMENTO DIAMANTE	78
FIGURA 23. ENSAYO DE RESISTENCIA EN CUBOS DE MORTERO	78
FIGURA 24. AGREGADO NATURAL Y RECICLADO	81
FIGURA 25. GRANULOMETRÍAS DE AGREGADOS GRUESOS	89
FIGURA 26. GRANULOMETRÍAS DE LA ARENA	90
FIGURA 27. ENSAYO DE SOLIDEZ.....	91
FIGURA 28. MÉTODO GRÁFICO	92
FIGURA 29. GRADACIÓN IDEAL FULLER – THOMPSON.....	95
FIGURA 30. GRADACIÓN IDEAL WEYTHMOUTH.....	95
FIGURA 31. GRADACIÓN IDEAL BOLOMEY.....	96
FIGURA 32. GRADACIÓN IDEAL LÍMITES DE ASOCRETO	96
FIGURA 33. PREPARACIÓN DEL SITO DE ENSAYO.....	102
FIGURA 34. PESAJE DE LOS MATERIALES.	102
FIGURA 35. MEZCLADO CEMENTO Y AGREGADO FINO	103
FIGURA 36. HOMOGENIZACIÓN CEMENTO Y AGREGADO FINO	103
FIGURA 37. ADICIÓN AGREGADO RECICLADO	104
FIGURA 38. ADICIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO	104
FIGURA 39. ADICIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO	105
FIGURA 40. HOMOGENIZACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO	105
FIGURA 41. MEDIDA DEL ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA DE CONCRETO.....	106
FIGURA 42. COMPACTACIÓN DE LA CAPA DE CONCRETO EN EL MOLDE	107
FIGURA 43. VIBRADO DE LA CAPA COMPACTADO	107

FIGURA 44. FINALIZACIÓN DEL PROCESO DE COMPACTACIÓN Y VIBRADO.....	108
FIGURA 45. AFINADO DEL CILINDRO TERMINADO	108
FIGURA 46. CILINDROS TERMINADOS	109
FIGURA 47. CURADO DE CILINDROS TERMINADOS	109
FIGURA 48. REFRENTADO DE CILINDROS DE CONCRETO	111
FIGURA 49 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	111
FIGURA 50. CILINDRO DESPUÉS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	112
FIGURA 51. CILINDROS MUESTRA FINAL	116
FIGURA 52. ASENTAMIENTO VS TIEMPO	122
FIGURA 53. IMAGEN DE ADHERENCIA DEL CONCRETO RECICLADO	125
FIGURA 54. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	126
FIGURA 55. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f^c) VS RELACIÓN (A/C)	128
FIGURA 56. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f^c) VS CONTENIDO DE CEMENTO.....	130
FIGURA 57 ENSAYO A LA FLEXIÓN CON CARGAS EN DOS PUNTOS.....	131
FIGURA 56 RESISTENCIA QUE DEBE ALCANZAR EL CONCRETO (INVIAS).....	134
FIGURA 57 ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON.....	135
FIGURA 58 ENSAYO DE PULSO ULTRASÓNICO	140
FIGURA 59 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO RECICLADO PARA UNA RELACIÓN A/C 0,45 Y SU CORRESPONDIENTE DISTRIBUCIÓN NORMAL.....	149
FIGURA 60. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO RECICLADO PARA UNA RELACIÓN A/C 0,5 Y SU CORRESPONDIENTE DISTRIBUCIÓN NORMAL	149

FIGURA 61. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO RECICLADO PARA UNA RELACIÓN A/C 0,55 CON SU CORRESPONDIENTE DISTRIBUCIÓN NORMAL.....	150
FIGURA 64. EJEMPLO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE AGREGADO	151
FIGURA 66. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO (CONTINUACIÓN)	153
FIGURA 67. PROCESO GRÁFICO DE PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO	155
FIGURA 68. PLANTA DE PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO	156
FIGURA 69. MINICARGADOR FRONTAL BOBCAT S185.....	159
FIGURA 70. MINICARGADOR CON MARTILLO HIDRAULICO BOBCAT S185	159
FIGURA 71. TRITURADORA DE MANDÍBULAS.....	160
FIGURA 72. TRITURADORA DE CONO.....	160
FIGURA 73 BANDA TRANSPORTADORAS DE RODILLOS	161
FIGURA 74 ZARANDA VIBRATORIA (TRES NIVELES)	161
FIGURA 75 CICLO DE CARGUE Y DESCARGUE DE MATERIAL.....	171
FIGURA 76. GRÁFICO F'C VS COSTO POR M ³ DE CONCRETO.....	191
FIGURA 77. CERTIFICADO ANEIC MÉXICO PRIMER LUGAR EN PONENCIAS ESTUDIANTILES. 192	
FIGURA 78. CERTIFICADO ANEIC MÉXICO PRIMER LUGAR EN PONENCIAS ESTUDIANTILES. 193	
FIGURA 79 CERTIFICADO CONEIC TRUJILLO PONENTE ESTUDIANTIL.....	194
FIGURA 80 CERTIFICADO CONEIC TRUJILLO PONENTE ESTUDIANTIL.....	194
FIGURA 81. RECONOCIMIENTO CARACOL NOTICIAS.....	195
FIGURA 82. RECONOCIMIENTO DIARIA DEL SUR (VIDA EN LA U)	196
FIGURA 83 RECONOCIMIENTO DIARIA DEL SUR (GENTE)	197
FIGURA 84. RECONOCIMIENTO REVISTA INGEOMINAS (PERSONAJE).....	198
FIGURA 85. RECONOCIMIENTO REVISTA INGEOMINAS (PERSONAJE) (CONTINUACIÓN)	199

FIGURA 86. EXPOSICIÓN ESTUDIANTES DE ARQUITECTURA.....	203
FIGURA 87. VISITA PLANTA "CONCRETOS RECICLADOS S.A", DELEGACIÓN IZTAPALAPA MÉXICO D.F.....	204

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. TIPOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.....	48
TABLA 2. TIPOS DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (CONTINUACIÓN)	48
TABLA 3. RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN GENERADOS POR DIFERENTES PAÍSES	49
TABLA 4. COMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN 1990	50
TABLA 5. TARIFAS MEDIAS DE VERTIDO DE RESIDUOS	54
TABLA 6. CANTIDAD DE PLANTAS DE RECICLAJE	54
TABLA 7. INVESTIGACIONES ANTERIORES SOBRE USO DE AGREGADO RECICLADO	55
TABLA 8. INVESTIGACIONES ANTERIORES SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO RECICLADO	56
TABLA 9. INVESTIGACIONES ANTERIORES SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO RECICLADO (CONTINUACIÓN).....	57
TABLA 10. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN SIMPLE OBTENIDAS POR FRONDISTOU- LLANAS	57
TABLA 11. RESISTENCIA AL CONGELAMIENTO Y DESHIELO	59
TABLA 12. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO RECICLADO.....	60
TABLA 13. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE Y TIPO DE FALLA	61
TABLA 14. COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE AGREGADO NATURAL O DE CONTROL FRENTE AL CONCRETO RECICLADO	61
TABLA 15. CAMBIOS DE LONGITUD DE ESPECÍMENES DE CONCRETO CON DIFERENTES CANTIDADES DE YESO.....	62
TABLA 16. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO.....	77
TABLA 17. PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO	79

TABLA 18. TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO.....	79
TABLA 19. FINURA DEL CEMENTO.....	80
TABLA 20. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA CUBOS DE MORTERO	81
TABLA 21. PESO VOLUMÉTRICO SUELTO Y COMPACTO	82
TABLA 22. DENSIDAD.....	82
TABLA 23. ABSORCIÓN	83
TABLA 24. DESGASTE Y ABRASIÓN.....	83
TABLA 25. PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS	84
TABLA 26. ÍNDICE DE APLANAMIENTO (IA) E ÍNDICE DE ALARGAMIENTO (IL)	84
TABLA 27. HUMEDAD	85
TABLA 28. MÓDULO DE FINURA (MF)	86
TABLA 29. MATERIA ORGÁNICA.....	86
TABLA 30. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	87
TABLA 31. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO.....	88
TABLA 32. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.....	89
TABLA 33. CONTENIDO DE SULFATOS	91
TABLA 34. OPTIMIZACIÓN DE GRANULOMETRÍAS.....	94
TABLA 35. RESULTADOS DE ENSAYOS A LA COMPRESIÓN SIMPLE PARA CONCRETOS CON AGREGADO RECICLADO	113
TABLA 36. RESULTADOS DE ENSAYOS A LA COMPRESIÓN SIMPLE PARA CONCRETOS CON AGREGADO NATURAL	115
TABLA 37. TAMAÑO MUESTRAL DEFINITIVO	117
TABLA 38. PROPORCIONES POR PESO PARA UN DISEÑO DE MEZCLA CON AGREGADO RECICLADO Y UNA RELACIÓN A/C 0,5	118
TABLA 39. PROPORCIONES POR PESO PARA UN DISEÑO DE MEZCLA CON AGREGADO	

RECICLADO Y UNA RELACIÓN A/C 0,55	118
TABLA 40. PESOS FINALES DE MATERIALES SEGÚN RELACIÓN A/C = 0,5	119
TABLA 41. PESOS FINALES DE MATERIALES SEGÚN RELACIÓN A/C = 0,55	119
TABLA 42 ASENTAMIENTOS PARA UN DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0,45.....	121
TABLA 43 ASENTAMIENTOS PARA UN DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0,50.....	121
TABLA 44 ASENTAMIENTOS PARA UN DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0,55.....	121
TABLA 45. PESO VOLUMÉTRICO PARA UN DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0,45	123
TABLA 46. PESO VOLUMÉTRICO PARA UN DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0,50	123
TABLA 47. PESO VOLUMÉTRICO PARA UN DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0,55	124
TABLA 48 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS CON RELACIÓN A/C 0,45. PARA UNA RESISTENCIA ESPECIFICADA (2500-3000) PSI.....	126
TABLA 49 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS CON RELACIÓN A/C 0,50. PARA UNA RESISTENCIA ESPECIFICADA (2500-3000) PSI.....	127
TABLA 50. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS CON RELACIÓN A/C 0,55. PARA UNA RESISTENCIA ESPECIFICADA (3000) PSI.....	127
TABLA 51 TABLA DE PROPORCIONES EN VOLUMEN SUELTO EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA	129
TABLA 53. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN CONCRETOS CON AGREGADO RECICLADO. PARA UN DISEÑO DE MEZCLA CON UNA RELACIÓN A/C = 0,45	132
TABLA 54. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN CONCRETOS CON AGREGADO RECICLADO. PARA UN DISEÑO DE MEZCLA CON UNA RELACIÓN A/C = 0,5	133
TABLA 55. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN CONCRETOS CON AGREGADO RECICLADO. PARA UN DISEÑO DE MEZCLA CON UNA RELACIÓN A/C = 0,55	133
TABLA 56: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	136

TABLA 57 RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD	137
TABLA 58. CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA (PROMEDIO ARITMÉTICO DE DATOS OBTENIDOS)	138
TABLA 59 RELACIÓN DE POISSON PARA CONCRETO CON AGREGADO RECICLADO	139
TABLA 60 CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL CONCRETO DE PESO NORMAL CON BASE EN LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO	140
TABLA 61 RESULTADOS DE ENSAYO DE VELOCIDAD DE ONDA	141
TABLA 62. FACTORES PARA CALCULAR LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DENTRO DE LA PRUEBA.....	143
TABLA 63. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DEL CONCRETO RECICLADO, PARA UNA RESISTENCIA PROMEDIO DE 260 KGF/CM ² CON UNA RELACIÓN A/C = 0,45 ...	144
TABLA 64. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DEL CONCRETO RECICLADO, PARA UNA RESISTENCIA PROMEDIO DE 236 KGF/CM ² CON UNA RELACIÓN A/C 0,5.....	145
TABLA 65. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DEL CONCRETO RECICLADO, PARA UNA RESISTENCIA PROMEDIO DE 209 KGF/CM ² CON UNA RELACIÓN A/C 0,55	146
TABLA 66. NORMAS PARA EL CONTROL DEL CONCRETO, CON RELACIÓN A LA VARIACIÓN DENTRO DE LA PRUEBA.....	147
TABLA 67. NORMAS PARA EL CONTROL DEL CONCRETO, CON RELACIÓN A LA VARIACIÓN TOTAL	147
TABLA 68. LISTADO DE MÁQUINARIA Y EQUIPO EMPLEADOS PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO.....	157
TABLA 69. LISTADO DE MÁQUINARIA Y EQUIPO EMPLEADOS PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO (CONTINUACIÓN).....	158
TABLA 70. CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS SEGÚN ACIC	164
TABLA 71. TABLA DE FACTORES DE CONSUMO SEGÚN ACI.....	165
TABLA 72. FACTORES DE CONSUMO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN Y CONTROLES HIDRÁULICOS.....	166
TABLA 73. TABLAS DE VALORES DE VIDA ÚTIL DE NEUMÁTICOS	166

TABLA 74. RESUMEN DE LOS COSTOS HORARIOS DEL MINICARGADOR BOB CAT S185	167
TABLA 75. RESUMEN DE LOS COSTOS HORARIOS DEL MINICARGADOR BOB CAT S185 (CONTINUACIÓN)	168
TABLA 76. ANÁLISIS DE COSTOS DE MÁQUINARIA.....	169
TABLA 77. RENDIMIENTO DEL MINICARGADOR BOB CAT S185.....	171
TABLA 78. GRANULOMETRÍA AGREGADO RECICLADO	172
TABLA 79. PORCENTAJE DE MATERIAL UTILIZADO EN INTERVALOS DE TAMIZ	172
TABLA 80. RENDIMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO	173
TABLA 81. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS AGREGADO RECICLADO (1 1/2" - 1").....	174
TABLA 82. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS AGREGADO (1 1/2" - 1") (CONTINUACIÓN) ..	175
TABLA 83. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS AGREGADO RECICLADO (1" - 3/4")	175
TABLA 84. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS AGREGADO (1" - 3/4") (CONTINUACIÓN)	176
TABLA 85. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS AGREGADO RECICLADO (3/4" - 1/2")	176
TABLA 86. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS AGREGADO (3/4" - 1/2") (CONTINUACIÓN) ..	177
TABLA 87. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS AGREGADO RECICLADO (1/2" - N4)	177
TABLA 88. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS AGREGADO (1/2" - N4) (CONTINUACIÓN) ..	178
TABLA 89. ANÁLISIS DE COSTOS DE ADMINISTRACIÓN	178
TABLA 90. ANÁLISIS DE COSTOS DE ADMINISTRACIÓN (CONTINUACIÓN).....	179
TABLA 91. CALCULO DE PORCENTAJE DE A.U.I.....	180
TABLA 92. COSTO POR M ³ DE AGREGADO RECICLADO CON GRANULOMETRÍA ESPECIFICADA.....	180
TABLA 93. PROPORCIONES DE MATERIALES POR M ³ DE CONCRETO RECICLADO, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,45. F'C= 260,09 KG/CM ² (3.692PSI.) PARA UNA RESISTENCIA ESPECIFICADA (2.500 – 3.000) PSI.....	181

TABLA 94 COSTO POR M ³ DE CONCRETO RECICLADO, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,45 F'C= 260,09 KG/CM ² (3.692PSI.); RESISTENCIA ESPECIFICADA DE (2.500 – 3.000) PSI.....	182
TABLA 95. PROPORCIONES DE MATERIALES POR M ³ DE CONCRETO RECICLADO, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,50. F'C=235,62 KGF/CM ² (3.344 PSI.) PARA UNA RESISTENCIA ESPECIFICADA (2.500 – 3.000) PSI.....	182
TABLA 96 COSTO POR M ³ DE CONCRETO RECICLADO, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,50 F'C=235,62 KGF/CM ² (3.344 PSI.); RESISTENCIA ESPECIFICADA (2.500 – 3.000) PSI.	182
TABLA 97. PROPORCIONES DE MATERIALES POR M ³ DE CONCRETO RECICLADO, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,55. F'C=209,32 KGF/ CM ² (2.971 PSI.) PARA UNA RESISTENCIA ESPECIFICADA (2.500 – 3.000) PSI.....	183
TABLA 98 COSTO POR M ³ DE CONCRETO RECICLADO, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,55 F'C=209,32 KGF/ CM ² (2.971 PSI.); RESISTENCIA ESPECIFICADA (2.500 – 3.000) PSI.	183
TABLA 99. PROPORCIONES DE MATERIALES POR M ³ DE CONCRETO NATURAL, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,45. F'C= 273,29 KG/CM ² (3879PSI.) PARA UNA RESISTENCIA ESPECIFICADA (3000 – 3.500) PSI.....	184
TABLA 100 COSTO POR M ³ DE CONCRETO NATURAL, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,45 F'C= 273,09 KGF/CM ² (3.879PSI.); RESISTENCIA ESPECIFICADA DE (2.500 – 3.000) PSI.	184
TABLA 101 PROPORCIONES DE MATERIALES POR M ³ DE CONCRETO NATURAL, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,50. F'C=218,76 KGF/CM ² (3.105 PSI.) PARA UNA RESISTENCIA ESPECIFICADA (2.500 – 3.000) PSI.	184
TABLA 102 PROPORCIONES DE MATERIALES POR M ³ DE CONCRETO NATURAL, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,50. F'C=218,76 KGF/CM ² (3.105 PSI.) PARA UNA RESISTENCIA ESPECIFICADA (2.500 – 3.000) PSI. (CONTINUACIÓN)	185
TABLA 103 COSTO POR M ³ DE CONCRETO NATURAL, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,50 F'C= 218,76 KG/CM ² (3.105 PSI.); RESISTENCIA ESPECIFICADA DE (2.500 – 3.000) PSI.....	185
TABLA 104. PROPORCIONES DE MATERIALES POR M ³ DE CONCRETO NATURAL, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,55. F'C= 202,22 KGF/CM ² (2.870 PSI.) PARA UNA RESISTENCIA ESPECIFICADA (2.500 – 3.000) PSI.	185

TABLA 105. COSTO POR M ³ DE CONCRETO NATURAL, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,55 F'C= 202,22 KGF/CM ² (2.870 PSI.); RESISTENCIA ESPECIFICADA DE (2.500 – 3.000) PSI.	186
TABLA 106. PROPORCIONES DE MATERIALES POR M ³ DE CONCRETO NATURAL, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,58. F'C= 210 KGF/CM ² (3.000 PSI.) PARA UNA RESISTENCIA ESPECIFICADA (2.500 – 3.000) PSI.	186
TABLA 107. COSTO POR M ³ DE CONCRETO NATURAL, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,58 F'C= 210 KGF/CM ² (3.000 PSI.); RESISTENCIA ESPECIFICADA DE (3.000) PSI.	187
TABLA 108. PROPORCIONES TEÓRICAS DE MATERIALES POR M ³ DE CONCRETO NATURAL, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,43. PARA UNA RESISTENCIA ESPECIFICADA (3555) PSI.	187
TABLA 109. COSTO POR M ³ DE CONCRETO NATURAL TEÓRICO PARA UN DISEÑO DE MEZCLA QUE GARANTICE UNA RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'C= 3.555 PSI	188
TABLA 110. PROPORCIONES TEÓRICAS DE MATERIALES POR M ³ DE CONCRETO NATURAL, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,46. PARA UNA RESISTENCIA ESPECIFICADA (3130) PSI.	188
TABLA 111. COSTO POR M ³ DE CONCRETO NATURAL TEÓRICO PARA UN DISEÑO DE MEZCLA QUE GARANTICE UNA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE F'C= 3.130 PSI.	188
TABLA 112. PROPORCIONES TEÓRICAS DE MATERIALES POR M ³ DE CONCRETO NATURAL, CON UNA RELACIÓN A/C = 0,50. PARA UNA RESISTENCIA ESPECIFICADA (3000) PSI.	189
TABLA 113 COSTO POR M ³ DE CONCRETO NATURAL TEÓRICO PARA UN DISEÑO DE MEZCLA QUE GARANTICE UNA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE F'C= 3.000 PSI.	189
TABLA 114. RELACIÓN DE COSTOS SEGÚN RELACIÓN A/C PARA CONCRETO REALIZADO CON AGREGADO RECICLADO Y AGREGADO NATURAL DURANTE LA INVESTIGACIÓN.....	190
TABLA 115. RELACIÓN DE COSTOS SEGÚN RESISTENCIAS OBTENIDAS PARA CONCRETOS CONFORMADOS CON AGREGADOS RECICLADOS Y CONCRETOS CON AGREGADO NATURAL DISEÑADOS SEGÚN TABLAS DE CONSTRUCCIÓN CON AGREGADO NATURAL	190

GLOSARIO

ABSORCIÓN: La absorción mide la cantidad de agua expresada en % del peso del material seco que es capaz de absorber un material.

ACI: American Concrete Institute

ADITIVO: Material químico que se le agrega a la mezcla para cambiar sus propiedades. Es un material distinto al agua, que se usa como ingredientes en el concreto y morteros, se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado.

AGLOMERANTE: Agregación natural de sustancias minerales.

AGREGADO: Material granular, el cual puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero.

ARENA (AGREGADO FINO): Material que proviene de rocas disgregadas por la acción del tiempo, debe garantizarse que no tengan residuos de tierra y raíces, ya que esto afecta su trabajo en la elaboración del concreto.

ARCILLA: Roca sedimentaria, formada principalmente por un silicato.

ÁRIDOS: Seco, estéril.

BITUMINOSOS: Que tiene sustancias naturales compuestas de carbono e hidrogeno que arden con la llama, humo espeso y olor peculiar

BULLDOZER: Excavadora con cuchara, empleada para desmonte y nivelación de terrenos.

C3A = Aluminato tricálcico

CEMENTO: Material de construcción, formado por una mezcla de arcillas y silicatos al que añadiéndose agua se fragua o solidifica.

COMPOSTAJE: Es el proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable, permitiendo obtener "compost", abono excelente para la agricultura

CONCRETO: Es una mezcla de cemento, agua y agregados que cuando están bien dosificados y energéticamente mezclados, integran una masa plástica que

puede ser moldeada en una forma predeterminada y que al endurecer se convierte en una piedra artificial, resistente y durable, por lo que se ha convertido en el material más empleado en la construcción.

CONCRETO CLASE 1: Es un tipo de concreto el cual cumple con la resistencia especificada, $f'c$, si ninguna muestra da una resistencia inferior a $f'c$, si ninguna muestra da una resistencia inferior a $f'c-3,5$ MPA, y además si ningún promedio de resistencias de todos los conjuntos de tres muestras consecutivas, pertenecientes o no al mismo día de colado, es menor que $f'c$; además su peso volumétrico en estado fresco debe ser mayor de 2200 kg/m^3 ; comúnmente utilizado para fines estructurales.

CONCRETO CLASE 2: Es un tipo de concreto el cual cumple con la resistencia especificada, $f'c$, si ninguna muestra da una resistencia inferior a $f'c$, si ninguna muestra da una resistencia inferior a $f'c-5$ MPA, y además si ningún promedio de resistencias de todos los conjuntos de tres muestras consecutivas, pertenecientes o no al mismo día de colado, es menor que $f'c - 1,7$ MPA; además su peso volumétrico en estado fresco debe ser no menor de 1900 kg/m^3 ; utilizado comúnmente para fines no estructurales

DENSIDAD: Calidad de denso, relación entre la masa de un cuerpo y la del agua o del aire que ocupa a el mismo volumen.

DOSIFICACIÓN: Dosis, cantidades que se toman para preparan algo.

ESCORIA: Es el producto que se obtiene por la molienda simultanea de Clinker Portland, escoria granulada de alto horno y yeso.

$f'c$: Resistencia nominal especificada del concreto a la compresión.

FIRMES: Base sobre la que se instalan las losetas.

FRAGUADO: Endurecido.

GRAVA (AGREGADO GRUESO): La grava se compone de guijarros de diversos tamaños que suelen encontrarse en depósitos. Proviene de rocas duras, por lo que sus propiedades dependen de la roca original.

HORMIGÓN: concreto, mezcla de arena-cemento. Triturado y en algunos casos un aditivo.

INVIAS: Instituto Nacional de Vías

NTC: Norma Técnica Colombiana

NRF: Norma de reglamento federal

MEDIA: La media aritmética es el resultado de sumar todos los elementos del conjunto y dividir por el número de ellos

MAMPOSTERÍA: Sistema tradicional que consiste en la construcción de muros y parámetros, para diversos fines, mediante la colocación manual de elementos que puede ser por ejemplo: ladrillos.

MEZCLA: La mezcla tiene como objetivo recubrir todas las partículas con la pasta de cemento y combinar todos los componentes de concreto hasta lograr una masa uniforme.

MORTERO: Mezcla de cemento, arena y agua.

MPA: Es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades.

PESO ESPECIFICO: indica las veces que un cuerpo o material cualquiera es mas o menos pesado que el agua.

PÉTREOS: De piedra.

PILETA: Fuente pequeña.

PRUEBA DE SLUMP: La prueba es útil para detectar las variaciones de uniformidad de una mezcla de proporciones determinadas.

PSI.: La libra-fuerza por pulgada cuadrada, es una unidad de presión en el sistema anglosajón de unidades.

RCD: Residuos de construcción y demolición.

RCDF: Reglamento de construcción del distrito federal (D.F.México)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: Es la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado.

REVENIMIENTO: es la propiedad del concreto con que se busca correlacionar la facilidad de colocación del material y la correcta consolidación en la estructura

TABIQUE: Pared o muro que separa dos espacios y que comúnmente no soporta cargas de la estructura.

INTRODUCCIÓN

Durante la realización de una obra civil es habitual que se deba derribar una construcción existente, lo que origina una cantidad importante de residuos en forma de sobrantes y de restos diversos; siendo este uno de los problemas medio ambientales más importantes, el cual provoca la degradación del paisaje cuando se vierten de manera incontrolada.

Es por eso que hoy, la exigencia de una mejora en la protección del medio ambiente y la preservación de la naturaleza y del paisaje motivan a que, en el ámbito de la construcción, se controlen estos residuos por medio de una gestión adecuada, minimizando las cantidades de los residuos desechados y haciendo que estos puedan ser reciclados, en el mejor de los casos, reutilizados. Es por ello que se hace urgente el conocimiento y la comprensión del comportamiento mecánico de los escombros de construcción como el concreto, con el objetivo de poder reutilizarlos, creando obras civiles cómodas, seguras y económicas, subsanando con esto el problema de la disposición final de escombros.

En busca de un mejor aprovechamiento de los residuos de concreto de demolición; el presente trabajo de investigación fabricó un nuevo concreto reemplazando el agregado grueso natural por agregado grueso proveniente de la trituración de escombros de concreto. Evaluando su comportamiento técnico a través de la resistencia a la compresión y su viabilidad económica por medio de un análisis de costos de producción de agregado reciclado; estudiando de ante mano las propiedades físicas y mecánicas de los agregados reciclados

Los resultados obtenidos de esta investigación permiten conocer las ventajas y desventajas que ofrece el uso de agregado reciclado en el concreto y proporciona criterios para la utilización de estos agregados en el concreto, demostrando una alternativa al material que hoy en día se dispone como escombros y el cual carece de valor, permitiendo hacer un mejor uso de los recursos naturales no renovables, logrando minimizar el impacto ambiental que producen los desechos de construcción, además de dar a conocer un nuevo material como alternativa de implementación en los proyectos de construcción.

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El uso del concreto reciclado data de tiempos posteriores a la segunda guerra mundial, donde los países europeos enfrentaban la destrucción de las ciudades y por ende la acumulación de escombros.

Esta problemática motivó a que los desechos se utilizaran en la elaboración de concreto para la reconstrucción de ciudades, en especialmente en países como Gran Bretaña y Alemania.

Los reportes realizados en esas épocas por ingleses, alemanes y rusos hablaban de las propiedades de concreto reciclado y de sus muy buenos resultados; esto incentivó a que los Estados Unidos investigaran sobre el tema.

En 1946, P. V. Gluzhge, miembro del instituto de investigación científica "Gidrotrskhnicheskoge Stroiteistvo" de Rusia, investigó sobre el uso de desechos de concreto como agregados, encontrando que estos poseían pesos específicos menores que los naturales y, por ende, el concreto hidráulico elaborado con este material tenía baja resistencia a la compresión; sin embargo, su resistencia a la flexión era mayor que en las mezclas conformadas con agregado natural¹.

En 1973, Buck, A.D. del Canadá Center for Mineral and Energy Technology, Ottawa, en su trabajo Recycled concrete as a source of aggregate, estudió las resistencias a la compresión del concreto que contiene agregados de concreto reciclado, con una relación constante agua / cemento (y trabajabilidad constante). En general, encontró resistencias disminuidas, comparadas con las de una mezcla de control. Sin embargo, pudo demostrar que la resistencia del concreto nuevo puede ser más alta que la resistencia original del concreto demolido que se incluye como agregado.²

En 1975, Jorge Muñoz, afirmó que es posible obtener concretos aceptables de buena calidad usando desechos de concreto como agregado grueso, cuya resistencia será del orden de 90% de la que se obtendría con un agregado normal para una relación agua/cemento determinada. Dicha afirmación se basó en ensayos realizados con un agregado grueso reciclado de 6.06 % de absorción.³

En 1983, Torben C. Hansen en su investigación "Strength of concrete made from crushed concrete coarse aggregate" afirmaba que técnicamente era factible producir concretos de baja resistencia sin importar la fuente de concreto de la cual se obtuvo el agregado reciclado y que incluso se podía producir concretos de mayor resistencia que el concreto original, aunque aumentando ligeramente el contenido de cemento⁴

¹ GLUZHGE, P.V "Recycled aggregates concrete", Russian: s.n. 1946, pp. 27-28

² BUCK, A.D "Recycling of demolished concrete". London: s.n. 1992, pp. 316

³ MUÑOZ, J "Utilización de desechos de concreto como agregado grueso". Universidad nacional de ingeniería, 1975, p. 203.

⁴ TORBEN C.H "Strength of recycled concrete", Desing and construction. s.n. 1985, pp. 79-83

“En 2006, I.E. Martínez–Soto y C.J. Mendoza–Escobedo, determinaron que los concretos reciclados pueden ser usados como concretos clase dos, determinando que su mayor economía y resistencia a la tensión y flexión se da para consumos de cemento menores a 300 kg/m³”⁵.

“Dentro del contexto latinoamericano México D.F, en 1994 nace la empresa CONCRETOS RECICLADOS, S.A, la cual se dedica al reciclaje, trituración y clasificación de los desechos de la construcción y/o demolición”⁶.

“El 22 de abril de 2009, en la región de Valencia, España, en la carretera que une Manises y Paterna, se inauguró el primer puente atirantado a nivel internacional construido sólo con concreto reciclado, con 165 m de longitud, para desplazar 14.000 vehículos diarios, se uso 348 m³ de agregado reciclado”⁷.

⁵ MARTINEZ I.E. y MENDOZA C.J. “Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas” México: 2006, p.11.

⁶ CONCRETOS RECICLADOS, S.A, (Ingeniero Enrique Granell, Entrevista personal, 22 de febrero de 2010), México: 2010

⁷ ADN-PERIODICO, “ Primer puente construido con concreto reciclado” Obtenida el 24 de julio de 2010 de [http:// www.asocem.org.pe](http://www.asocem.org.pe)

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Descripción del problema: El problema radica en el desconocimiento del comportamiento físico-mecánico que posee los agregados gruesos producto de la demolición de estructuras de hormigón para ser parte en la fabricación de concreto simple. El conocimiento que existe sobre este tema surgió a raíz de las investigaciones desarrolladas en países europeos, que al sobrevivir a la destrucción de sus ciudades tras la segunda guerra mundial, observaron que el material residuo de construcción era un sustituto aceptable para la reedificación de sus ciudades.

Otras investigaciones son llevadas a cabo por instituciones mexicanas, las cuales poseen plantas para el reciclaje de estos materiales y su uso posterior como material de sub-base granular o para mejoramiento de la sub-rasante en la construcción de vías terrestres. Existen también investigaciones aisladas en Brasil, pero en general en América latina, el conocimiento de este material es muy escaso, razón por la cual los profesionales en la construcción no tienen en cuenta esta alternativa para sus proyectos.

Estas tecnologías no son usadas en el medio y pueden ser aplicadas para obras civiles, además de ser un material capaz de soportar solicitaciones estructurales normales y con un afecto medioambiental positivo.

En nuestro medio aún se sigue usando el método tradicional de disposición de residuos de materiales construcción, los cuales requieren grandes áreas (generalmente depresiones), en donde se disponen los residuos sólidos por celdas previamente construidas, una encima de la otra, hasta llegar al nivel en el cual se convierte la depresión en una planicie; esto genera un detrimento en el medio ambiente de estas áreas y zonas circundantes, debido a que en muchos casos se tiene que talar los bosques acabando con la flora y fauna del sector, siendo este uno de los problemas medio ambientales de mayor impacto.

La solución a este problema tendrá grandes aportes al reciclaje de materiales en nuestra región, contribuyendo a mejorar el medio ambiente y crear una cultura en la cual estos materiales sean aprovechados para obras que beneficien a la comunidad a bajos costos.

Adicionalmente dentro del plan de desarrollo municipal de la ciudad de San Juan de Pasto (2006-2010) se encuentra el proyecto: "Sistema Estratégico de Transporte Público de Pasajeros para la ciudad de Pasto" y responde a la necesidad estructural de desarrollar una movilidad adecuada para la ciudad.

El proyecto se enmarca dentro del Programa Nacional de Transporte Urbano establecido en el Documento Conpes 3167 y establecerá un sistema que estructure la ciudad y permita un mejor ordenamiento de la misma.

Desde el punto de vista operacional se realiza el reordenamiento de la totalidad de las rutas, proponiendo niveles jerárquicos acordes con los niveles de demanda que tiene la ciudad de Pasto; para el desarrollo del proyecto se contempla la compra de predios y su respectiva demolición lo que dará lugar a un volumen considerable de residuos de construcción que generará un alto costo de disposición final y un consecuente deterioro ambiental; es por esta razón que vale la pena encaminar los esfuerzos de la comunidad académica y de la actividad científica de la ciudad de Pasto, hacia el conocimiento de las propiedades de los desechos de construcción con el fin de lograr la consolidación de una cultura de construcción sostenible que logre dar solución a la problemática originada por el gran volumen de escombros.

Planteamiento de la Pregunta

¿El concreto no convencional producido con agregados provenientes del reciclaje de escombros de concreto de la ciudad de San Juan de Pasto, posee las características técnicas, mecánicas y económicas adecuadas que lo hagan competir satisfactoriamente en igualdad de condiciones con el hormigón simple conformado con agregados pétreos naturales?

Figura 1. Degradación del paisaje debido a escombros de concreto



UBICACIÓN DEL PROYECTO⁸

Ubicación del proyecto

Ciudad= San Juan de Pasto
País =  Colombia
Departamento =  Nariño
Población = 429,923 habitantes.
Temperatura= 13.3°C (media)
Altitud= 2527 msnm

El municipio está situado en el sur occidente de Colombia, en medio de la Cordillera de los Andes, en el macizo montañoso denominado nudo de los Pastos; y la ciudad está situada en el denominado Valle de Atriz, al pie del volcán Galeras, distante 78 kilómetros a la frontera con Ecuador.

⁸ Disponible en Internet: www.wikipedia.org.com

El territorio municipal en total tiene 1.181 km² de superficie, de la cual el área urbana es de 26,4 km².

Debido a que la ciudad está en un valle interandino a una altitud de 2.527 msnm y se encuentra al pie del volcán Galeras, la precipitación y la nubosidad son bastante altas.

La temperatura promedio anual es de 13,3°C, la visibilidad es de 10 km y la humedad es de 60% a 88%.

Figura 2. Panorámica de la ciudad de San Juan de Pasto, al pie del volcán Galeras.



Fuente: INGEOMINAS, Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto. Obtenida el 11 de septiembre de 2009, de http://intranet.ingegominas.gov.co/pasto/Imagen:2009-09-11_09.15.06.jpg

JUSTIFICACIÓN

Para los ingenieros civiles, como responsables del desarrollo de infraestructura, es de vital importancia la gestión de los insumos, de tal manera que se obtengan productos de excelente calidad, puestos a disposición de las clases más desfavorecidas; esto con base en adelantos tecnológicos para el crecimiento social y económico de un país, que afronta una realidad de pobreza y sub desarrollo. Por tal razón, se busca con afán mejorar las condiciones de vida de nuestra comunidad, a partir del uso de materias primas que tengan buenas propiedades y bajos costos, para que con esto, los recursos distribuidos en estas áreas cumplan su objetivo a satisfacción.

Los profesionales de la ingeniería sensibilizados con esta realidad cotidiana, ven con mucha preocupación cómo se están agotando poco a poco las reservas de materias primas, por factores como el crecimiento de nuestras ciudades, que da como resultado la demanda de más infraestructura adecuada a bajos costos. Es muy importante tener en cuenta el gran desperdicio que se genera en la conformación de materiales compuestos que resultan en insumos inhabilitados para cumplir otro uso, además del desconocimiento general que se tiene de algún proceso tecnológico que permita reutilizar y convertir estos escombros en nuevos materiales con propiedades y características con aptitud para ser utilizados en la industria de la construcción, que además sirvan para aliviar de alguna manera la necesidad de materiales naturales, prolongando así las reservas de los mismos.

Los materiales reciclados pueden convertirse en ideales para obras civiles que se vean sometidos a solicitudes estructurales normales.

Por otra parte, el uso del material de demolición (que se encuentra muchas veces en las calles), que por ahora sólo se utiliza para rellenar los centros de depósitos de residuos sólidos y las escombreras municipales, que las empresas de fabricación del concreto catalogan como desperdicio en su producción, al ser reciclado y disgregado, puede convertirse en un agregado de propiedades similares al de los agregados pétreos naturales; y por tanto, es importante conocer cuál es la respuesta estructural que puedan generar al ser usados en la conformación de los diferentes elementos que se elaboren a partir del hormigón.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo general: Determinar la viabilidad técnica y económica de un concreto no convencional, elaborado con agregados provenientes del reciclaje de construcciones de la ciudad de San Juan de Pasto que tengan hormigón en su estructura

Objetivos específicos:

- ✓ Investigar como los residuos de construcción y demolición que tengan en su contenido hormigón pueden usarse para fabricar un nuevo material.
- ✓ Fabricar un nuevo concreto basado en agregados provenientes del reciclado de escombros derivados de la demolición selectiva de estructuras.
- ✓ Investigar acerca del comportamiento físico y mecánico de los concretos fabricados con agregados reciclados y con agregados pétreos convencionales.
- ✓ Elaborar tres diseños de mezclas empleando diferentes relaciones agua/cemento que garanticen una resistencia a la compresión de 2500 a 3000 Psi., cumpliendo con los métodos de diseño de las normas técnicas colombianas vigentes.
- ✓ Realizar un análisis comparativo de costos para el concreto no convencional y convencional
- ✓ Socializar el proyecto y sus conclusiones a la comunidad científica, empresas públicas y privadas del sector de la construcción y comunidad en general en medios especializados como:
- ✓ Eventos Académicos nacionales e internacionales (congresos, seminarios, talleres).
- ✓ Difusión en medios informativos de carácter regional, nacional e incluso internacional (radio, televisión, prensa)
- ✓ Publicación a través de internet.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El uso del concreto reciclado data de tiempos posteriores a la segunda guerra mundial. Tras la destrucción de las ciudades de Gran Bretaña y Alemania, estas vieron la necesidad de reciclar sus escombros para su reconstrucción; luego, de las fortificaciones se recuperó material de desecho al ser éstas demolidas después de terminada la guerra. Por esas épocas los reportes realizados por ingleses, alemanes y rusos incentivaron la investigación en Estados Unidos.

En 1946, P. V. Gluzhge, del “Scientific research institute, Gidrotskhnicheskoge Stroiteistvo” de Rusia investigó sobre el uso de desechos de concreto como agregados, encontrando que estos poseían pesos específicos menores que los naturales y por ende, el concreto hidráulico elaborado con este material tenía baja resistencia a la compresión; sin embargo, su resistencia a la flexión era mayor que en las mezclas de control.⁹

En 2006, I.E. Martínez – Soto y C.J. Mendoza – Escobedo, determinaron que los concretos reciclados pueden ser usados como concretos clase dos, determinando que su mayor economía y resistencia a la tensión y flexión se da para consumos de cemento menores a 300 kg/m³.¹⁰

El 22 de abril de 2009, en la región de valencia, España, en la carretera que une Manises y Paterna, se inauguró el primer puente atirantado a nivel internacional construido solo con concreto reciclado, con 165 m de longitud, para desplazar 14.000 vehículos diarios, se uso 348 m³ de agregado reciclado.¹¹

Se dice que entre 1950 y 1960, se incrementó a nivel mundial el sentido de que “vigilar hoy el ambiente es prevenir al ciudadano del futuro”¹², debido principalmente al incremento de las industrias y tecnologías contaminantes; pero a pesar de esto, en países como el nuestro, esas políticas tienen poco impacto en la población y mucho menos en nuestro gobierno.

⁹ GLUZHGE, P.V “Recycled aggregates concrete”, Russian 1946, pp. 27-28

¹⁰ MARTINEZ I.E. y MENDOZA C.J. “Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas” México 2006, Pág. 11

¹¹ ADN-PERIODICO, “ Primer puente construido con concreto reciclado” Obtenida el 24 de julio de 2010 de [http:// www.asocem.org.pe](http://www.asocem.org.pe)

¹² CONCRETOS RECICLADOS, S.A, (Ingeniero Enrique Granell, Entrevista personal, 22 de febrero de 2010), México 2010

Dentro del contexto latinoamericano, en México, con el problema de contaminación atmosférica y generación de desechos, incluidos los residuos de construcción, se generan aproximadamente 26 millones de toneladas de basura anualmente; sólo hasta 1970 se empezaron a aplicar criterios ambientales para el desarrollo de la industria; de este total se procesan 620.000 toneladas al mes; como es de conocimiento general, las zonas en las que está concentrado el capital es donde son generados mas residuos.

1.2 TIPOS DE RESIDUOS GENERADOS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Los residuos de construcción y demolición (RCD), conocidos como escombros, constituyen un amplio porcentaje del total de residuos generados y, sin embargo, han sido siempre considerados de menor importancia frente a otros residuos como los domiciliarios, quizás por ser teóricamente inertes y, por lo tanto, fácilmente eliminables. Este residuo se genera en cualquier tipo de obra, ya sea en trabajos de demolición, rehabilitación, reforma o nuevas construcciones. De acuerdo a datos obtenidos de la empresa Concretos Reciclados S.A. de C.V, ubicada en el Cerro "Yehualique", Delegación Iztapalapa, México, D.F. Se puede considerar de forma general que los residuos de la industria de la construcción están constituidos por concreto en un 20%, material de albañilería en un 50%, asfalto 10% y otros materiales 20%. En la figura 3 se ilustran las actividades, los materiales producidos como residuos sólidos y la disposición final que se puede implementar para los principales residuos sólidos generados por las actividades de construcción de obras civiles.

Figura 3. Principales residuos sólidos generados en los procesos constructivos

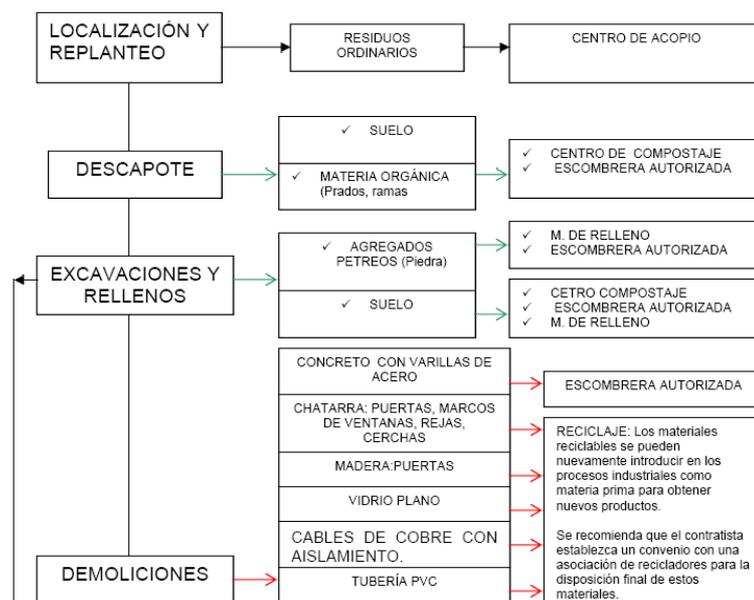
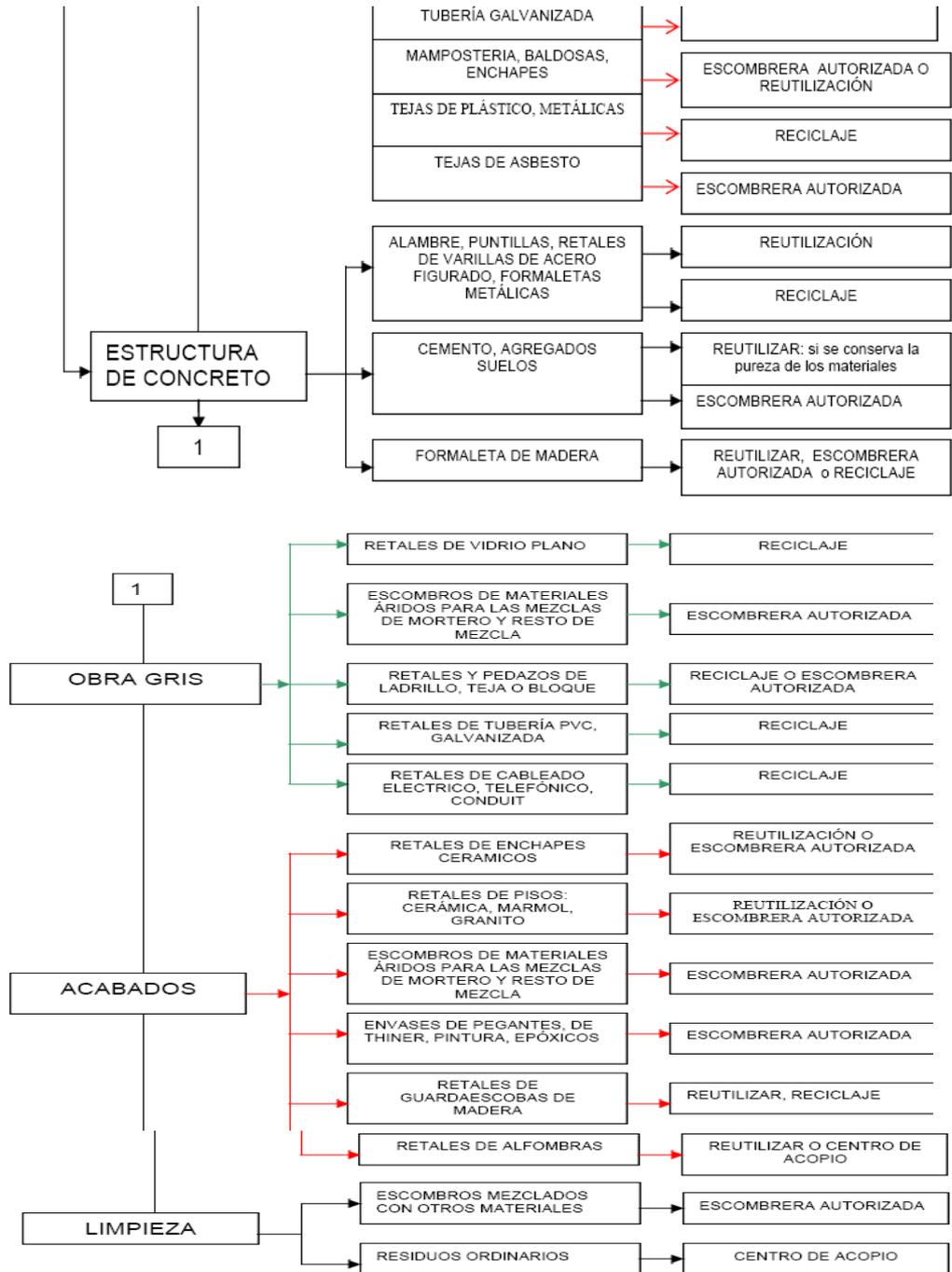


Figura 4 Principales residuos sólidos generados en los procesos constructivos (Continuación)



1.3 REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS POR LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Los materiales utilizados en la construcción pueden diferenciarse según su condición de:

Reciclables y/o reutilizables: metales; maderas y otros materiales de origen vegetal; vidrios y cristales; plásticos, telas, papeles y cartones.

Exclusivamente reutilizables: es el caso de los materiales pétreos, ya sean naturales o artificiales, a los cuales sólo se somete a procesos de trituración para ser utilizados como inerte en el concreto, relleno de terrenos, entre otros.

Reutilizable: sólo por encontrarse mezclados con otros materiales, se han incluido a los morteros, ya que muchas veces se hace difícil de separarlos de su soporte, pero no porque se los requiera como materiales en sí.

La reutilización de materiales tiene las siguientes opciones:

- Reutilización directa en la misma obra donde son generados los residuos. El ahorro es máximo. ni siquiera se requiere transporte.
- Reutilización en otras obras. Aparece la necesidad de transportar los residuos desde una obra a otra, con el costo económico y ecológico que ello implica. Esta opción incluye a su vez, dos alternativas:
 - Que se realice la venta de los residuos a otra empresa constructora (es necesario fijar precios y condiciones de suministro).
 - Que los residuos sean utilizados en otra obra de la misma empresa (la empresa se beneficia porque no paga para utilizar determinados materiales, y no paga para deshacerse de ellos).
- Reutilización previa transformación. Incluye la modificación de la forma y propiedades originales de los productos. Es decir que los materiales, una vez modificados, se utilizan como materias primas de nuevos productos, en la misma obra, en otra obra de la misma empresa, o vendidos a otras empresas constructoras.

1.4 REUTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS EN LA CONSTRUCCIÓN

1.4.1 Utilización de los residuos de concreto. La mayor parte del concreto es recuperado de caminos, puentes y cimentaciones; éste es procesado para bases de caminos, agregados en pavimentos asfálticos, y como sustituto para grava en la creación de nuevos concretos. Los pedazos de concreto son triturados y el material férreo es removido; el agregado resultante es clasificado por tamaños para ser utilizado según las necesidades del constructor.

Sin embargo como un ejemplo patente de la sostenibilidad de la construcción en concreto reciclado, se ha construido en la ciudad de Valencia. España, el primer puente a nivel internacional, que utiliza únicamente concreto reciclado, proveniente de las vigas de un puente desafectado por obsoleto.

El diseño de la nueva estructura de 165 m de longitud, es de tipo atirantado y ha requerido un volumen de 348 m³ de agregados reciclados.

El moderno puente esta previsto para el desplazamiento de 14.000 vehículos diarios y se encuentra ubicado en la carretera que une Manises y Paterna en la región de Valencia, contribuyendo además, a facilitar el acceso al aeropuerto de la ciudad.

1.4.2 Utilización de agregados reciclados en la construcción. Las principales aplicaciones de los agregados provenientes del concreto triturado son en carreteras (bases y sub-bases sin tratar, o tratadas con cemento o algún tipo de aglutinante, y en menor medida en capas superficiales del firme) y en edificación u otras obras públicas.

La incorporación de los residuos de construcción y demolición a la estructura de una carretera puede hacerse, siempre y cuando se cumplan con las condiciones técnicas y medioambientales exigidas, como materiales para la ejecución de rellenos, en explanadas y como agregados reciclados para diversas capas del firme.

En España, las especificaciones técnicas que se refieren a la utilización de agregados reciclados en la construcción de capas de firmes de carreteras se encuentran esencialmente recogidas dentro de la normativa AENOR-CEN, el Pliego de Prescripciones Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) y el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras; sin embargo, en Colombia aún no se cuenta con la presencia de algún instituto que regule la calidad de los materiales a emplear en diferentes tipos de obra y que sean obtenidos bajo algún procedimiento de reciclaje.

1.5 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO FABRICADO CON AGREGADOS RECICLADOS

El material reciclado que resulta del escombros obtenido en la demolición, posee materiales mezclados, este presenta una notable capacidad de soporte, siempre con valores superiores a 50% (índice CBR, California Bearing Ratio, coeficiente de soporte California), lo cual lo convierte en un material para ser usado como sub-base. El material reciclado proveniente de escombros obtenido únicamente por demolición de concretos ya sean armados o simples, el cual presenta índices de soporte California (CBR) superiores al 80%, lo cual lo convierte en un excelente material para ser empleado en capas de base hidráulica (Concretos Reciclados S.A. de C.V. 2006).

Por otro lado según investigaciones realizadas en el año 2006 se reveló que “el agregado reciclado con granulometría adecuada produce mezclas de buena calidad y con un comportamiento mecánico similar al de los concretos naturales”¹³.

Los concretos reciclados pueden ser utilizados como concretos clase dos, lo que lo convierte en un concreto con una cantidad de aplicaciones nada despreciables. En las resistencias a la tensión y flexión, se encontró que para consumos de cemento de 300 kg/m³ y mayores, la relación ft/f'c y MR/f'c eran menores para los concretos reciclados, esto se puede deber a bajas relaciones agua-cemento. Lo que con lleva a pensar que el agregado reciclado tiene su mejor aplicación en consumos de cemento bajos hasta 300 kg/m³, debido a que para consumos mayores pueden resultar mezclas antieconómicas (I.E.Martínez – Soto y C.J.Mendoza – Escobedo).

1.6 RECICLADO DE PAVIMENTOS

En los pavimentos de concreto rígido, el proceso de reciclado, consta de su demolición y triturado para la obtención de materiales utilizables en nuevas capas, habitualmente capas de base o sub-bases, tratadas o sin tratar.

Con la reutilización de este tipo de materiales se pueden esperar beneficios como:

Reducción del impacto ambiental generado por la explotación de canteras para la obtención de agregados naturales, y el consumo de otras materias primas y productos químicos diversos para la elaboración de nuevos concretos.

¹³ MARTINEZ I.E. y MENDOZA C.J. “Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas” México: 2006, p. 11.

Reducción de la producción y el depósito en vertederos de los materiales extraídos como residuo.

Reducción del impacto social y las emisiones producidas por el tráfico de camiones y otras máquinas que habrían de transportar y elaborar todas las materias y productos necesarios para realizar un nuevo pavimento y durante la demolición y el transporte de los materiales procedentes del firme antiguo hasta su depósito en vertederos adecuados.

Si el reciclado es además in situ, el ahorro en transporte y emisiones es mayor, consumiéndose además menos energía, especialmente si el reciclado es en frío. En algunos casos el reciclado in situ supone la no interrupción total del tráfico, y la posibilidad de una rápida apertura tras las obras con los consiguientes beneficios (evitar la realización de pistas o trazados alternativos, retenciones, etcétera).

El futuro de estas aplicaciones pasa, no sólo por la aplicación y mejora de estas técnicas al mantenimiento de una cada vez más extensa red de carreteras, sino también por la incorporación de otros residuos de la construcción y demolición, provenientes de otras actividades constructivas, que cumplan con los requisitos de los materiales en las distintas capas que componen la sección transversal de una carretera, tanto en rehabilitación o mantenimiento, como en nuevas realizaciones.

1.7 FACTORES DE INFLUENCIA

Algunos de los factores que influyen en el volumen y composición de los residuos de construcción y demolición generados en un ámbito geográfico son:

Tipo de actividad que origina los residuos: Construcción, demolición o reparación-rehabilitación.

Tipo de construcción que genere los residuos: Edificios residenciales, industriales, de servicios, carreteras, obras hidráulicas, etc.

Edad del edificio o infraestructura: Determina los tipos y calidad de los materiales obtenidos en los casos de demolición o reparación.

Volumen de actividad en el sector de la construcción en un determinado periodo: afecta la cantidad de residuos de construcción y demolición generados.

Políticas vigentes en materia de vivienda: Condicionan la distribución relativa de las actividades de promoción de nuevas construcciones y rehabilitaciones existentes o consolidación de cascos antiguos. (Ver tabla, 1 y 2)

Tabla 1. Tipos de residuos de construcción y demolición

ACTIVIDAD	TIPO DE OBRA	COMPONENTES PRINCIPALES
CONSTRUCCIÓN	Excavación	Suelo
	Edificación y obras publicas	Hierro, acero, ladrillo, bloques, tejas, materiales no férreos
	Reparación y mantenimiento	Suelo, roca, hormigón, cal, yeso, pavimento, ladrillo, escombros
	Reconstrucción y rehabilitación	Madera, plástico, etc.

Tabla 2. Tipos de residuos de construcción y demolición (Continuación)

ACTIVIDAD	TIPO DE OBRA	COMPONENTES PRINCIPALES
DEMOLICIÓN	Vivienda	ANTIGUAS: mampostería, ladrillo, madera, yeso, tejas, etc.
	Edificios	RECIENTES: Ladrillo, hormigón, hierro, acero, metales, escombros, plástico
	Obras publicas	INDUSTRIALES: hormigón, acero, ladrillo, mampostería, etc.

A continuación se presenta la tabla 3, que representa el conjunto de residuos de construcción y demolición generados por diferentes países.

Tabla 3. Residuos de construcción y demolición generados por diferentes países

País	Producción (miles de toneladas)	Producción per. – cápita (Kg.-hab.-año)	Observaciones
ALEMANIA	53.000	880	Datos de 1980
BÉLGICA	7.000	700	No incluye datos de excavaciones ni residuos de demolición de obras publicas.
DINAMARCA	6.500	1.275	
ESPAÑA	11.000	285	Solo residuos de demolición de edificios.
FRANCIA	30.400	580	Datos de 1978.
GRECIA	ND.	ND.	
HOLANDA	14.000	940	
IRLANDA	400	110	No incluye datos de excavaciones ni residuos de demolición de obras publicas.
ITALIA	2.750	50	Datos de 1977.
REINO UNIDO	50.000	900	No incluye datos de excavaciones ni residuos de demolición de obras. Publicas

Como conclusión de la anterior tabla se observa que los volúmenes de residuos producidos cambian de un país a otro, dando una idea del cuidado que prestan sus gobiernos sobre el tema.

Los valores para Alemania, Francia, Dinamarca, Holanda, y el Reino Unido son los que cuentan con mayor respaldo, debido a que estos países han profundizado más en el tema.

En lo referente a la composición de los residuos de construcción y demolición en estos países se tiene información más fiable, pero cabe considerar que la definición de residuos sólidos de construcción y demolición puede variar de un país respecto del otro, por lo que a la hora de hacer la comparación, esta se tendrá que hacer con cautela.

Tabla 4. Composición de residuos de construcción y demolición en 1990

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (% EN PESO) EN DIVERSOS PAÍSES (1990)				
FRACCIÓN	ALEMANIA	DINAMARCA	HOLANDA	REINO UNIDO
Hormigón	34	40	44	50
Ladrillo, bloque, mampostería	32	52	27	40
Material Granular			20	
Fracciones Mezcladas			3.4	
Tejas			0.6	
Madera	13	8	2.3	1
Metales			1.4	0.3
Plásticos	12		0.3	

De la tabla anterior se observa que los valores más elevados en los porcentajes en peso de los residuos de construcción y demolición corresponde a hormigón y prefabricados diversos (ladrillo, bloque, mampostería), y material granular indiferenciado, pero no se descarta la madera, que se observan en obras de demolición de viviendas antiguas, los metales, en obras de demolición de edificios industriales y ciertas estructuras de obras civiles, y los productos bituminosos se originan en obras de reparación o ampliación de carreteras, los plásticos surgen en obras de demolición de viviendas más recientes.

1.8 GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Se observa que aquellos países en los cuales se tiene mayor consciencia sobre el manejo adecuado de los temas medioambientales y aquellos en los cuales las materias primas como los materiales granulares son bienes escasos, son en los existen iniciativas para la gestión de estos materiales, teniendo como finalidad la posibilidad de reutilización, reciclado y producción de materiales secundarios.

En el medio es normal observar que en los proyectos de demolición, se retiren previamente los materiales que pueden tener cierto valor en el mercado, es el caso de los materiales metálicos (tuberías, conducciones, etc.), madera (puertas, ventanas, pisos, etc.) y materiales cerámicos en buen estado (tejas).

Para algunos materiales como la madera y plásticos, se usa la incineración como método alternativo, se estima que en Holanda el 5% de los residuos de construcción y demolición producidos en 1990 se incineraron, vertiéndose controladamente el 35% y recuperándose o reutilizándose el 60%.

Es difícil descartar la diferencia en los métodos constructivos y materiales de construcción usados en los diferentes países sobre todo para construcción de viviendas tradicionales, además de los desarrollos tecnológicos en la construcción y demolición de estructuras, estos factores establecen los componentes principales de los residuos de construcción y demolición, ya que en países tercermundistas como el nuestro los componentes químicos y físicos pueden no permitir encontrar resultados satisfactorios para un alto porcentaje de los desechos.

Debido a que en el medio el método de eliminación más usado para los residuos de construcción y demolición es el vertido, es importante saber que por este método los residuos ocupan volúmenes exagerados dentro de los rellenos, reduciendo el tiempo de vida útil de los mismos.

Los escombros de demolición significan la mayor producción de residuos generada por un país desarrollado, y esta por un valor aproximado de 450 Kg. Por habitante al año.

Actualmente Colombia está 30 años atrasado con respecto a Estados Unidos y 40 años atrasado con respecto de Europa en la capacidad de reciclado de residuos, pero se observa que en los últimos años, el tema ambiental ha sido tratado abiertamente y los grandes avances que posee hoy están enfocados en el reciclaje de madera, papel, vidrio.

1.9 CONDICIONANTES QUE AFECTAN LA IMPLEMENTACIÓN DEL RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

1.9.1 Condicionantes de carácter técnico: se refiere a dos aspectos importantes:

La influencia que las técnicas y prácticas de demolición utilizadas tienen en la calidad de los residuos obtenidos y consecuentemente, en las posibilidades de aprovecharlos en condiciones económicamente viables.

La capacidad de aprovechamiento del residuo de construcción y demolición es mayor cuanto mayor es la pureza del mismo y menor es la presencia de elementos indeseables para el futuro que se pretende darle, por lo que en este sentido, se desarrollan nuevos procedimientos como la demolición selectiva de las estructuras, pero su aplicabilidad real está supeditada a los aspectos económicos como el incremento de los costos de demolición, penalizaciones por demoras en los plazos del contrato de demolición, etc.

Además se plantea otra condición adversa al tener presencia de materiales como madera o vidrio en fracciones minoritarias dentro de los residuos de construcción y demolición, debido a la subsecuente desventaja económica por las pequeñas cantidades obtenidas y altos costos unitarios de obtención, aunque esto se puede subsanar a costos razonables mediante el empleo de técnicas basadas en las diferencias de densidades de estos materiales y el resto de los componentes de los residuos de construcción y demolición.

1.9.2 Condicionantes de tipo normativo o legislativo:

Registro de legislación y regulaciones en Colombia: La falta de una normativa clara por parte del gobierno de Colombia, que regule el Manejo Integral de Escombros de construcción, y que permita cambiar la estructura actual de manejo, acercándonos a formas más adecuadas de gestión de estos materiales, es el principal inconveniente que afrontan estos materiales y que impide la implementación de estos. A continuación se presentan las leyes vigentes que regulan país sobre Manejo Integral de Escombros de construcción:

Resolución 541 de 1994: Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.

Decreto 357 de 1997: Por el cual se regula el manejo, transporte y disposición final de escombros y materiales de construcción en el distrito capital.

Norma de gestión GTC 24 de Icontec – Guía para la Separación en la Fuente de residuos Sólidos

Registro de legislación y regulaciones de otros países:

En México, mediante la publicación de la Norma NADF- 007-RNAT-2004 se pretende establecer una clasificación y las especificaciones para el manejo de residuos, sin embargo, el alcance de dicha norma es limitado

En España, la base legal que sustenta su utilización de estos materiales es la Orden Circular 8/2001 sobre reciclado de firmes, que recoge los tres primeros artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras. Se establece que las técnicas de reciclado deben tenerse en cuenta en el análisis de soluciones para los proyectos de rehabilitación de firmes en los que la superficie a rehabilitar sea superior a los 70.000 m².

En países Europeos por legislaciones, controles y normas aplicadas, se está logrando niveles aceptables de reciclaje de residuos de construcción y demolición debido a que en estos países, la reutilización y reciclaje del concreto es una realidad.

1.9.3 Condicionantes impuestos por el mercado de productos recuperados: Incluso en condiciones económicas ventajosas para estos productos, pueden actuar en tres sentidos:

La calidad real de estos productos puede limitar su salida en el mercado por las razones anteriormente expuestas.

Los materiales recuperados suele ser mucho más sensibles a las fluctuaciones de la demanda en el mercado de los materiales vírgenes a los que pretenden sustituir, especialmente cuando las tendencias de aquellas son a la baja.

Ciertos ámbitos donde la oferta de determinados materiales vírgenes es amplia, los costos de materiales recuperados no pueden ser competitivos con los de aquellos, salvo en situaciones de extrema demanda, este es el caso habitual en muchas zonas de España cuando de producción de áridos se trata.

La demanda de estos materiales puede verse seriamente afectada si no existe suficiente información acerca de la disponibilidad de los mismos y de su adecuación para utilizarlos en la fabricación de productos secundarios.

Condicionantes directamente ligados a los costos de transporte: Estos costos limitan la viabilidad económica de la recuperación propiamente dicha cuando las distancias entre los lugares de producción, tratamiento y almacenamiento de los agregados reciclados, y el sitio de utilización final del producto son tan grandes que superan el valor de equilibrio económico para el usuario potencial.

Condicionantes derivados de los costos de eliminación de los residuos de construcción y demolición: Sin duda, éste es un aspecto clave a la hora de evaluar la viabilidad global de la recuperación de componentes de los residuos de construcción y demolición, dado que, en la medida que resulte más costoso "deshacerse" del material como residuo puro, mayor será el interés del productor en encontrar una vía alternativa que pase por algún tipo de aprovechamiento.

En la tabla 5, a título orientativo, se resume la evaluación de las tarifas medias de vertido controlado de residuos de construcción y demolición en Dinamarca y Holanda.

Tabla 5. Tarifas medias de vertido de residuos

AÑO	DINAMARCA			HOLANDA		
	1987	1991	1993	1988	1990	1993
Tarifas Vertido (Peseta/T)	800	3.500	3.900	1.600	3.200	6.500

Si se centra la cuestión en la recuperación de los componentes mayoritarios de los residuos de construcción y demolición para la producción de áridos, las soluciones técnicas dadas hasta la fecha se apoyan fundamentalmente en la puesta a punto de plantas fijas, móviles o semimóviles en las que se desarrollan uno o ambos de los siguientes procesos: separación de componentes y trituración fraccionada.

A modo de resumen, se incluye en la tabla una estimación del número de ellas existentes en los países de la Unión Europea en 1990.

Tabla 6. Cantidad de plantas de reciclaje

PAÍS	NO. DE PLANTAS	OBSERVACIONES
Alemania	+ de 300	Incluye la antigua RDA
Bélgica	40	Información de Flandes. El 75% de plantas son fijas
Dinamarca	17	7 fijas, 7 móviles y 3 semimoviles
España	1	Localizada en Barcelona
Francia	10	Estimación de las existentes en torno a Paris
Grecia	0	
Holanda	60	45 fijas y 15 móviles
Italia	5	La mayor parte son móviles
Luxemburgo	0	
Reino Unido	9	3 fijas y al menos 6 móviles

1.10 INVESTIGACIONES ANTERIORES SOBRE EL USO DE CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO

1.10.1 Resistencia del concreto preparado con agregados reciclados. Las propiedades del agregado de concreto reciclado han sido reportadas por Ploger, Buck y Malhotra. Sus resultados se resumen en la tabla 7.

Tabla 7. Investigaciones anteriores sobre uso de agregado reciclado

Concreto original		% de absorción		Densidad relativa	
Descripción	Resistencia a la compresión (Mpa)	Agregado grueso	Agregado fino	Agregado grueso	Agregado o fino
PLOGER					
Agregado de grava y arena	35 (90 días)	6.0	10.5	SIN DATOS	SIN DATOS
Agregado grueso de roca natural, mezclado con productos de demolición y agregado fino de arena natural	34 (90 días)	4.5	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS
BUCK					
Desechos de caminos (agregados de grava de sílice)	41 (meses)	4.5	7.9	2.42	2.33
Viga desechada (agregado grueso de carbonato)	55 (9.5 meses)	3.9	SIN DATOS	2.52	SIN DATOS
Viga desechada (agregado grueso de granito)	13 (2.5 años)	2.3	7.9	2.59	2.36
MALHOTRA					
Cilindros de prueba desechados (Agregado fino de caliza gruesa y arena)	Alta	4	7.9	2.53	SIN DATOS
	Media	3.9	3.9	2.53	2.31
	Baja	2.4	2.4	2.5	2.34
1 Mpa = 10.2 Kgf/cm ²					

En 1973, Buck, A.D. del Canadá Center for Mineral and Energy Technology, Ottawa, en su trabajo Recycled concrete as a source of aggregate, estudio las resistencias a la compresión, del concreto que contiene agregados de concreto reciclado, con una relación constante agua / cemento (y trabajabilidad constante), En general encontró resistencias disminuidas, comparadas con las de una mezcla de control. Sin embargo, pudo demostrar que la resistencia del concreto nuevo puede ser más alta que la resistencia original del concreto demolido que se incluye como agregado.

En 1976, Malhotra, V.M. del Canadá Center for Mineral and Energy Technology, Ottawa, en su trabajo The use of recycled concrete as a new aggregate, preparo concreto con grados de resistencia alto, mediano y bajo, utilizando concreto demolido, procedente de cilindros de prueba desechadas, cuyo material poseía el nivel de resistencia adecuado. Sus resultados sobre la resistencia a la compresión se muestran en la anterior tabla.

Malhotra, también estudio los agregados de concreto reciclado. Mediante microscopía óptica y electrónica. Encontró que las partículas de concreto demolido tendían a adoptar formas más redondas y texturas de superficie mas uniformes que la de los agregados frescos de caliza, utilizándolos como control. Se observaron grietas en la pasta de cemento hidratado adherida a las partículas de concreto demolido. Se pensó que estas grietas podían ser la causa del alto grado de absorción de este agregado.

1.10.2 Propiedades físicas del concreto preparado con un agregado nuevo y uno reciclado. La densidad y el contenido de aire del concreto preparado con agregados nuevos y reciclados se muestran en la siguiente tabla las densidades del concreto con agregados reciclados son ligeramente menores, lo cual refleja las menores densidades del agregado.

Tabla 8. Investigaciones anteriores sobre propiedades físicas del concreto reciclado

TIPO DE AGREGADO UTILIZADO	RELACIÓN AGUA/CEMENTO	DENSIDAD DEL CONCRETO FRESCO (Kg/m ³)	% DE CONTENIDO DE AIRE
MALHOTRA			
Agregado grueso (Concreto reciclado de baja resistencia). Finos (Naturales)	0.69	2.115	6.9
Control	0.69	2.210	6.2

Tabla 9. Investigaciones anteriores sobre propiedades físicas del concreto reciclado (Continuación)

TIPO DE AGREGADO UTILIZADO	RELACIÓN AGUA/CEMENTO	DENSIDAD DEL CONCRETO FRESCO (Kg/m ³)	% DE CONTENIDO DE AIRE
Agregado grueso (Concreto reciclado de baja resistencia). Finos (Naturales)	0.67	2.240	3.5
Control	0.67	2.275	5.3
BUCK			
Agregado grueso (Concreto demolido). Finos (Naturales)	0.49	SIN DATOS	5.7 A 6
Agregado grueso (Concreto demolido). Finos (Naturales)	0.49	SIN DATOS	5.9 A 6.3
Control	0.49	SIN DATOS	6 A 6.3

1.10.3 Resistencia de adherencia entre el agregado de concreto demolido y el mortero. Frondistou – Llanas estudia la resistencia de adherencia de la matriz y los agregados obtenidos de: Grava nueva de granito, de la grava de granito extraída del concreto demolido, de la grava de granito de mortero y del mortero de concreto demolido. Sus resultados muestran una resistencia de adherencia que disminuye a medida que aumenta la proporción de mortero.

Tabla 10. Resistencias a la compresión simple obtenidas por Frondistou- Llanas

TIPO DE AGREGADO UTILIZADO	CARGA ULTIMA (KGF.)	TIPO DE FALLA
Grava nueva de granito	25 ±7	Agregado – Interface de la matriz
Grava de granito extraída del concreto demolido	22 ±8	Agregado – Interface de la matriz
Grava de granito con mortero extraída del concreto demolido	18 ±6	Generalmente en el agregado
Mortero extraído del concreto demolido	14 ±4	Definitivamente en el agregado

1.10.4 Trabajabilidad del concreto. Buck, observó que las mezclas que contienen concreto demolido, como agregado grueso o fino, presentaban un revenimiento menor y un contenido de cemento mayor que el de las mezclas de concreto. Las mezclas con agregado de concreto estaban húmedas, aunque eran más secas que las mezclas de control. Sin embargo, cuando se utilizó arena natural como agregado fino, y concreto demolido como agregado grueso, hubo poca diferencia en el revenimiento, al igual que en el contenido de aire o de cemento, en relación con la mezcla equivalente preparada con agregados nuevos.

Buck también encontró que es posible lograr una trabajabilidad equivalente con una relación agua / cemento, mediante el uso de un aditivo reductor de agua.

Los trabajos de Malhotra y de Frondistou – Llanas. Al trabajar dentro de un rango de relación agua / cemento, encontraron que no existía diferencia alguna entre trabajabilidad de las mezclas que contenían un agregado grueso de concreto demolido, mas uno fino de arena natural, y entre las elaboraciones con agregados naturales, totalmente frescos. Sin embargo, cuando Malhotra utilizó agregados finos de concreto demolido, encontró un aumento repentino en la cantidad de agua necesaria. Este efecto se hizo especialmente notable cuando se incluyó un material de concreto demolido menor. Se observó que este concreto poseía, en primer término, partículas hidratadas de cemento.

1.10.5 Durabilidad. Buck y Malhotra han estudiado la resistencia al congelamiento/deshielo del concreto preparado con agregados de concreto reciclado. Buck informo sobre sus resultados explicándolos como un factor de durabilidad después de 300 ciclos de congelamiento/deshielo, dichos resultados aparecen resumidos en la siguiente tabla, Malhotra evaluó la resistencia al congelamiento/deshielo del concreto, mediante mediciones de la velocidad del pulso ultrasónico, durante y después del ciclo de congelamiento /deshielo, y mediante mediciones de resistencia a la flexión, al finalizar el periodo.

Tanto Buck como Malhotra encontraron que la resistencia al congelamiento/deshielo del concreto preparado con agregados de concreto reciclado era similar a la de los concretos de control, excepto que Malhotra encontró que el concreto preparado con grava de sílice reciclada presentaba una mejor resistencia al congelamiento/deshielo que la del concreto preparado con grava de sílice original. Esto se debe a que el mortero utilizado anteriormente recubre la superficie de las partículas de grava; en el concreto demolido sella los poros e impide la entrada de agua a las partículas de sílice susceptibles al congelamiento.

Tabla 11. Resistencia al congelamiento y deshielo

TIPO DE AGREGADO UTILIZADO	NO. DE CICLOS	FACTOR DE DURABILIDAD
Grava nueva de sílice y arena	300	3
Agregado grueso de concreto demolido (Concreto de grava de sílice) y arena	300	23
Concreto demolido (Grava de sílice) grueso y fino	300	28
Agregado grueso de caliza y arena	300	62
Agregado grueso de concreto de caliza demolido y arena	300	45

1.10.6 Efecto de las impurezas en el concreto. Los únicos estudios sistemáticos del efecto que tienen las impurezas sobre el concreto reciclado, en cuanto a las propiedades del concreto fresco preparado con agregados de concreto reciclado, han versado sobre la contaminación de yeso.

En 1957 Newman, A.J. y Gaede, K realizaron investigaciones referentes al efecto que ejerce sobre el concreto el sulfato presente en el agregado. Gaede añadió yeso o sulfato de magnesio, finamente molido, a un agregado de grava y arena; encontró un punto crítico de contenido de óxido de azufre (SO_3) a partir del cual la resistencia descendía rápidamente y luego permanecía más o menos constante conforme se añadía más yeso. Determino que el límite de 1% de óxido de azufre (SO_3) debía reducirse a menos de 0.5 %. Newman estudio el efecto de sulfatos solubles en agregados de tabiques rotos, y no encontró efectos nocivos cuando el contenido de óxido de azufre (SO_3) era menor de 1 %.¹⁴

Buck informo que un 5% de yeso, del peso total de agregado, era suficiente para producir una expansión nociva, interna, en el concreto preparado con cemento que contenía más de un 5% de aluminato tricálcico (C_3A), cuando el concreto se curó con humedad. La expansión se redujo al dejar secar las muestras, sin embargo, ni el uso de un cemento con un contenido reducido de aluminato tricálcico (C_3A), ni el de ceniza volante, fueron efectivos para prevenir la expansión.

¹⁴ NEWMAN, A.J. y GAEDE, K. "Recycled concrete as an aggregate for concrete" Alemania 1957, pp. 87-98

1.10.7 Escombros de concreto no contaminado, como agregado. La mayoría de las investigaciones sobre el reciclado del concreto se refiere al escombros de concreto no contaminado, por ejemplo el que proviene de la demolición de carreteras, cuando este se tritura a un tamaño utilizable, produce agregados con partículas en forma piramidal, o redondeado con una textura superficial mas lisa que la caliza triturada o que la arena natural.

El agregado de concreto reciclado tiene una capacidad de absorción de humedad relativamente elevada y una gravedad especifica relativamente baja, ambas características se derivan de la presencia de la pasta de cemento relativamente ligera, absorbente de humedad, que esta adherida al agregado.

Tabla 12. Gravedad especifica y absorción del agregado reciclado

TIPO DE AGREGADO	GRAVEDAD ESPECIFICA (SUPERFICIE SATURADA, BASE SECA)	% DE ABSORCIÓN
Agregado preparado de concreto reciclado		
Grueso	2.52	3.9
Fino	2.34	7.6
Agregado Natural		
Caliza triturada	2.67	0.8
Grava de pedernal	2.52	2.6
Arena natural	2.63	0.4

“El concreto es tan resistente como el más débil de sus enlaces”¹⁵. En el concreto de peso normal, el enlace más débil es usualmente la adherencia pasta-agregado, subsecuentemente, la superficie de fractura sigue su curso preferentemente alrededor del agregado, a través de la interface pasta-agregado, el agregado escapa a la fractura y, por lo tanto no se aprovecha su elevada resistencia.

Consecuentemente si se sustituye el agregado natural por otro menos resistente, no se afecta la resistencia del concreto, siempre y cuando la adherencia pasta-agregado continúe siendo el enlace más débil y que la resistencia de esta adherencia haya disminuido.

Las pruebas de adherencia efectuadas por Frondistou Yannis están en la siguiente tabla, estas demostraron que cuando el escombros de concreto reciclado

¹⁵ BUCK,A “Recycled Concrete as a source of aggregate” Germany 1977, pp. 212-220

estaba compuesto principalmente por agregado de antiguo concreto, la adherencia pasta-agregado era tan fuerte como la existente entre agregado natural y pasta.¹⁶

Cuando el escombro reciclado es rico en mortero, constituye, sin embargo el eslabón más débil del nuevo concreto y reduce su resistencia.

Tabla 13. Resistencia a la compresión simple y tipo de falla

TIPO DE AGREGADO UTILIZADO	CARGA ULTIMA (N)	TIPO DE FALLA
Grava nueva de granito	249 ± 67	Interface Agregado – matriz
Grava reciclada de granito	218 ± 80	Interface Agregado – matriz
Grava reciclada con mortero	174 ± 62	Comúnmente en el agregado
Mortero reciclado	138 ± 36	Siempre en el agregado

En la tabla 14 aparece en resumen la comparación de las propiedades del concreto de agregado reciclado (CAR) no contaminado, con las del concreto de agregado natural de composición natural (Control).

Tabla 14. Comparación de las propiedades del concreto de agregado natural o de control frente al concreto reciclado

PROPIEDAD	CAR NO CONTAMINADO
Adherencia agregado-mortero principalmente con grava del concreto viejo	Comparable al de control
Adherencia principal de mortero del concreto viejo	55% del que tiene el de control
Resistencia a la compresión	64 a 100% del de control
Módulo estático de elasticidad a la compresión	60 a 100% del de control
Resistencia a la flexión	80 a 100% del de control
Resistencia a la congelación-descongelación	Comparable a la de control
Coefficiente lineal de expansión térmica	Comparable a la de control
Cambios de longitud de muestras de concreto almacenadas durante 28 días a 23°C	Comparable a la de control
Revenimiento	Comparable a la de control

¹⁶ FRONDISOU, YANNAS. "Waste concrete as aggregate for a new concrete" England 1977, pp. 373-376

1.10.8 Escombros de concreto contaminado, como agregado. El escombros de concreto producido por las demoliciones de edificio, está contaminado con diversos materiales tales como tabiques, yeso, madera, plásticos y vidrio. La presencia de trozos de madera es perjudicial para el concreto nuevo, ya que el coeficiente de dilatación térmica de la madera es alto y está sujeta a cambios importantes de volumen al mojarse y secarse.

La resistencia a la compresión del concreto producido con agregado de tabique, es más elevada que la del concreto con agregado natural, de similar trabajabilidad; y que el aislamiento térmico y la resistencia al fuego del concreto con agregado de tabique fueron más altos que el concreto con agregado natural.

La presencia de yeso (sulfato de calcio, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en el escombros de edificios, aunque no es muy importante en cuanto a las cantidades, su efecto sobre las propiedades del concreto por los posibles ataques de sulfatos no debe ignorarse.

El efecto del yeso sobre las propiedades del concreto, está relacionado directamente con la cantidad de yeso presente e inversamente con el tamaño de las partículas de yeso.

Las partículas de yeso reaccionan con el aluminato tricálcico (C_3A), principalmente en la superficie del cemento Pórtland y mientras más finas son las partículas mayor es el área de superficie.

En la siguiente tabla se muestra los cambios de longitud de especímenes de concreto que contenían diversas cantidades de yeso.

Tabla 15. Cambios de longitud de especímenes de concreto con diferentes cantidades de yeso

Mezcla (adiciones de sulfatos en porcentaje por peso del agregado usado)	Cambios de longitud (en mm/m) a los		
	28 días	65 días	8 ½ meses
Curado continuo de humedad			
Sin SO_3	+0.02	+0.01	-0.02
Con 1% de SO_3	+0.6	+0.7	+0.06
Con 1.5% de SO_3	+5.8	+9.4	+9.4
Curado seco después de 7 días de humedad			
Sin SO_3	-0.5	-0.7	-0.8
Con 1% de SO_3	-0.1	-0.2	-0.3
Con 1.5% de SO_3	+3.7	+3.6	+3.5
Nota: 1% de SO_3 = 2.1% de yeso			

2. METODOLOGÍA

Se desarrolla una metodología de investigación cuantitativa experimental sobre un grupo de muestras de concreto elaborado con materiales reciclados, las cuales se someten a diversos ensayos que permitan evaluar sus propiedades físicas mecánicas para verificar las hipótesis propuestas de similares características que los concretos fabricados con agregados naturales y mayor economía. Para ello, se desarrolla el siguiente procedimiento:

2.1 REVISIÓN Y ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

Consultar y asimilar el estado del arte de los temas tratados y demás bibliografía que resulte necesaria durante la ejecución de la investigación.

2.2 CONSECUCCIÓN DE MATERIALES

Para la obtención de los agregados provenientes de demoliciones, se solicita información a las Curadurías Urbanas de la ciudad de San Juan de Pasto y al señor TELMO ROMO; persona experimentada en demoliciones.

La consecución de los agregados grueso y fino para la conformación del concreto convencional y no convencional se realiza a través de empresas privadas. COMINAGRO LTDA, dona el agregado fino proveniente de su mina, mientras que el agregado grueso es procedente de la cantera "BRICEÑO BAJO", cuyo dueño es el señor GERARDO PABON.

La consecución del cemento Portland tipo I, es a través de la empresa CEMEX, cuyo punto de venta autorizado en la ciudad de San Juan de Pasto es la Ferretería Casa Andina.

2.3 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Encontrar un mecanismo adecuado para la trituración y cribado de estos materiales que garantice una granulometría adecuada que cumpla con las especificaciones de la Norma Técnica Colombiana (NTC 77, NTC 78, NTC 174) para un tamaño máximo de 1½", se logra con la utilización de una máquina

tritadora de quijadas de la cantera “Briceño Bajo”, proporcionada por el señor OSCAR PABON.

Determinar, mediante ensayos de laboratorio, las características físico-mecánicas de los agregados obtenidos: tamaño, densidad, propiedades físicas (granulometría, forma de las partículas, absorción, humedad, peso específico), materia orgánica (NTC 127), forma (aplanamiento y alargamiento), resistencia a la abrasión (NTC 93, NTC 98), limpieza y almacenamiento de acuerdo con las normas técnicas colombianas (NTC 174, NTC 176, NTC 237, NTC 92) con la ayuda del laboratorio de materiales especializado “Suelos y Materiales; Laboratorio” en propiedad del Geotecnólogo Herney Lasso.

Caracterización del cemento resistencia en cubos de mortero, peso específico, finura con la ayuda del laboratorio de materiales especializado “Suelos y Materiales; Laboratorio” en propiedad del Geotecnólogo Herney Lasso.

2.4 DISEÑO Y ELABORACIÓN DEL EXPERIMENTO

Se diseñan y elaboran las mezclas de concreto con la aplicación de la metodología por peso, cantidad de agregado fino, cantidad de agregado grueso, cantidad de cemento y manejabilidad, para tres diferentes relaciones de agua-cemento que garanticen una resistencia a la compresión de 2500 a 3000 Psi., para el hormigón no convencional, cumpliendo con los métodos de diseño de las normas NTC 4027 y NTC 396, NTC 3708.

Determinar estadísticamente el tamaño de la muestra para los ensayos a realizar, para lo cual, se tomará una muestra piloto de 12 pruebas a la compresión, para un diseño de mezcla de 2500 a 3000 Psi Con esto se calcula una desviación estándar aproximada y el tamaño de muestra definitivo que es necesario para un análisis estadístico representativo; teniendo un alto grado de confiabilidad; dependiendo de los resultados de la prueba piloto, se aumentará el grado de confiabilidad disminuyendo el porcentaje de error.

Realizar ensayos de compresión, a los 28 días, a las muestras tomadas de concreto convencional y concreto no convencional conforme lo estipulan las Normas Técnicas Colombianas relacionadas, con el fin de evaluar su comportamiento físico y mecánico, con la ayuda de un laboratorio de materiales especializado “Suelos y Materiales; Laboratorio” en propiedad del Geotecnólogo Héner Lasso.

2.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Elaborar un cuadro comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados naturales y los agregados reciclados, con el objetivo de observar las variaciones que poseen uno respecto al otro, teniendo como base de comparación las consideraciones estipuladas para materiales granulares que se encuentran en la norma INVIAS artículo 630-07 y poder justificar la idoneidad del concreto reciclado para ser aplicado en la industria de la construcción.

Analizar los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días, obtenidos de las pruebas hechas a las muestras de concreto convencional y concreto no convencional de acuerdo con las Normas Técnicas Colombianas referidas anteriormente, para que por medio de gráficas de "Resistencia a la compresión (f'c) vs Relación Agua – Cemento (a/c)" y Resistencia a la compresión (f'c) vs Contenido de cemento , poder realizar una comparación entre los dos concretos, teniendo como marco de referencia las normas NTC y poder concluir acerca de la idoneidad técnica de los agregados reciclados.

Realizar un análisis de costos de estos dos concretos y observar la viabilidad económica de la elaboración de concreto no convencional, como un material alternativo, teniendo como base de comparación el costo en el mercado del concreto convencional y asemejándolo a los costos que se incurrirá por la fabricación del material reciclado; cabe destacar que en la región no existe ninguna planta en la cual se realice el procedimiento de selección, trituración, y gradación para residuos de demolición de estructuras de concreto, por lo cual, los datos serán tomados con base al montaje de una planta de reciclaje ideal, en la cual la maquinaria sería adquirida a los costos reales en la región.

2.6 ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN

La publicación y la difusión de los resultados de la investigación se realizará a través de:

Presentaciones públicas y privadas en eventos internacionales como el COLEIC (Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Ingeniería Civil); bajo la temática "ECOLOGÍA Y RECURSOS NATURALES". Guadalajara Jalisco, México del 16 al 21 de febrero de 2010.

Presentaciones ante empresas constructoras líderes de la región.

Socialización de la investigación con estudiantes de ingeniería civil y arquitectura.

Entrega de un documento escrito a las entidades gubernamentales como: Gobernación de Nariño, Alcaldía Municipal de Pasto, Ministerio de Medio

Ambiente, Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS),
Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO).

Divulgación escrita en Internet a través de un Blog donde se publicara el documento escrito de la investigación y sus conclusiones.

Dar a conocer los resultados a los medios de comunicación masivos tanto escrito como oral para que estas entidades a través de los periódicos y noticieros puedan promover e incentivar la reutilización de este tipo de materiales.

3. CONSECUCCIÓN DE MATERIALES

3.1 OBTENCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

3.1.1 Obtención del agregado grueso reciclado:

Figura 5. Agregado grueso reciclado



Muestreo: Siguiendo la teoría básica del muestro, se colectaron de la ciudad de San Juan de Pasto, Colombia (sur occidente de Colombia), 6 m³ de residuos de concreto de diferentes lugares, conservando siempre que las muestras fueran representativas en volumen y tipos de desechos generados en la región. Se toman muestras heterogéneas de concreto, prefabricados, losas de pavimento, voladizos de casas, columnas, tuberías en concreto y vigas. La carga del material a las volquetas es de forma manual; con la finalidad de verificar que el material de concreto estuviera libre de otros materiales como: ladrillo, vidrio, madera, plástico, cartón, entre otros.

Figura 6. Prefabricados y vigas



Figura 7. Losa de pavimento y columnas



Figura 8. Tubería y losa de entre piso



Trituración primaria: Se encuentra gran diversidad de tamaños en los agregados de concreto, además de la existencia de elementos diferentes de concreto como varillas de refuerzo, mallas de alambre, entre otros. Debido a esto, es necesario realizar una trituración manual, con el fin de obtener un material de tamaño adecuado para ser triturado y que además sea relativamente limpio, con lo que se pudiera garantizar unas características de cálidas mínimas para poder introducir este material en la trituradora

Figura 9. Capacitación



Figura 10. Degradación de material



Figura 11. Degradación de material



Figura 12 Recolección de material



Figura 13 Recolección final de material



Trituración secundaria: Con la finalidad de obtener una homogenización de agregado y una gradación óptima que garantice un buen diseño de mezcla de concreto; se utilizar una trituradora mecánica de mandíbulas, la cual acepta tamaños de áridos máximos de 8" pulgadas y está equipada con 2 molinos y una banda transportadora.

Figura 14. Limpieza del material triturado



Figura 15. Ingreso del material reciclado a la trituradora



Figura 16. Proceso de trituración



Figura 17. Recolección del material reciclado

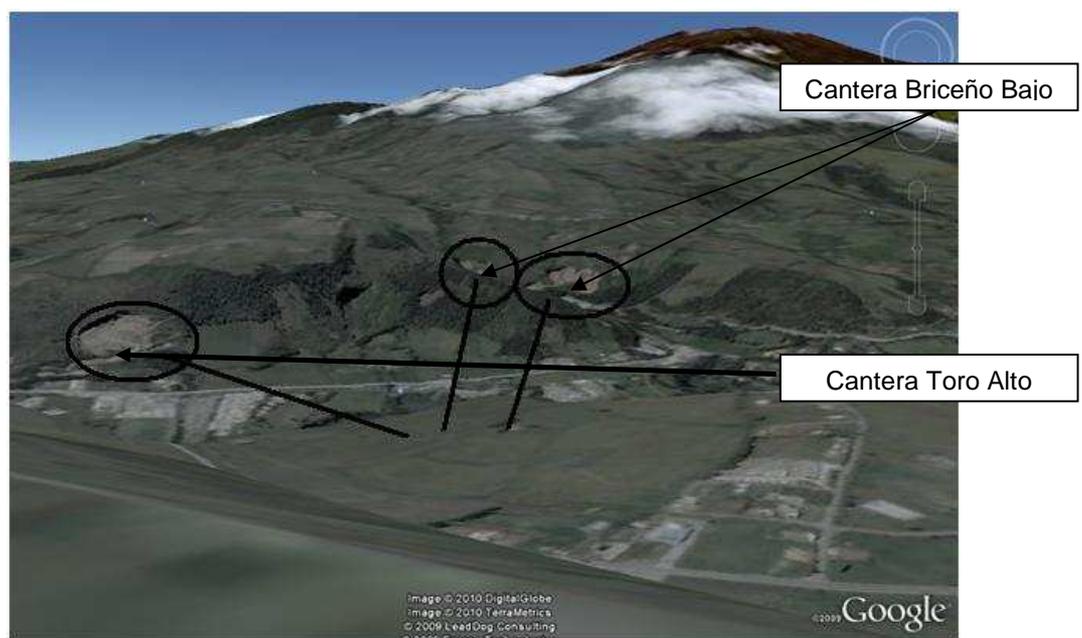


Figura 18. Agregado grueso natural



3.1.2 Obtención de agregado grueso natural. Con el propósito de tener un punto de comparación con los agregados reciclados y los agregados convencionales y de esta forma incentivar al sector de la construcción de la región a utilizar agregados reciclados, este proyecto de investigación se realiza con agregados gruesos naturales de roca madre ígnea, esto debido a que la ciudad de San Juan de Pasto se desarrolló a los pies del volcán Galeras y por esto los agregados con los que está construida la ciudad son procedentes de rocas ígneas formadas por el enfriamiento y solidificación de materia rocosa fundida, conocida como magma; la obtención del tamaño adecuado se realizó de la misma forma que el agregado reciclado.

Figura 19. Vista general con localización de las canteras a cielo abierto ubicadas hacia el Noroccidente (NO) de la ciudad de San Juan de Pasto



Fuente: GOOGLE EARTH. Obtenida el 29 de septiembre de 2009, de <http://earth.google.es/>

3.1.3 Obtención de agregado fino natural. Partiendo de conclusiones de investigaciones anteriores, en donde se argumenta que “El uso de la combinación de agregado fino y agregado grueso producto del reciclaje, en mezclas de concreto, generalmente puede causar un incremento en la porosidad del concreto, aumentando su permeabilidad, permitiendo una alta tasa de difusión de gases, lo

cual impide una protección adecuada del refuerzo, frente a la corrosión” (Nagataki et al. Apud Romero, H¹⁷.),

Abou-Zeid¹⁸, reitera el aumento de permeabilidad, además de afirmar que puede llegar a aumentar hasta en cuatro veces la permeabilidad del concreto convencional.

Basados en estos conceptos se utiliza un agregado fino natural denominado arena negra, la cual es de procedencia de mina; que se encuentra en depósitos en el interior de la tierra formando capas compuestas principalmente por fragmentos de roca volcánica.

Figura 20. Vista general con localización de la mina las terrazas ubicadas hacia el sur de la ciudad de San Juan de Pasto



Fuente: GOOGLE EARTH. Obtenida el 29 de septiembre de 2009, de <http://earth.google.es/>

¹⁷ ROMERO, H. “Viabilidad técnica y económica del uso del concreto reciclado como agregado”. 2004, pág. 33.

¹⁸ ABOU-ZEID, M. “Reincarnation of concrete” en Concrete International, February 2005, pág. 56.

Figura 21. Acopio del agregado fino natural

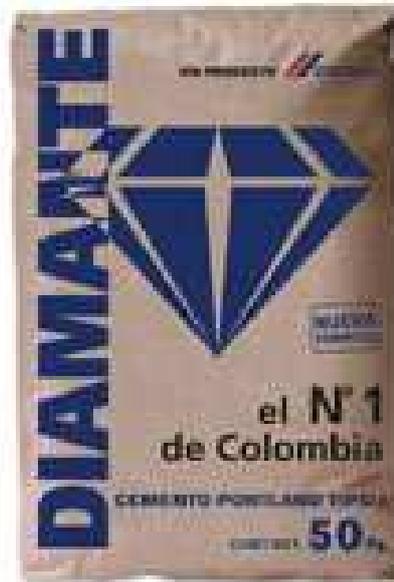


3.1.4 Obtención del cemento. Debido a que la investigación se realiza con agregados de concreto, los cuales tienen características heterogéneas; es necesario utilizar un cemento que tenga características homogéneas, que cumplan con las especificaciones de las normas vigentes y sea confiable a la hora de conformar la mezcla de concreto; es por esto que se optó por trabajar con Cemento Portland tipo 1, marca Diamante, perteneciente a la empresa Cemex, que entre otras cosas, es la empresa líder en el sector de la construcción en la región.

Tabla 16. Características físicas del cemento

Propiedad	Resultado	Norma
Peso específico (gr/ml)	3.28	INV E-307
Finura (%)	97	NTC - 33
Fraguado (hh:mm)	3:04 inicial 5:57 final	NTC-109
Fluidez (%)	136.22	NTC-111

Figura 22. Cemento Diamante



3.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE MATERIALES

Cemento: en el proceso de diseño de mezcla de concreto es de suma importancia realizar al cemento Pórtland rigurosos controles, por lo tanto se realizan diversas pruebas de laboratorios con el fin de asegurar que este posea la calidad deseada y se encuentre dentro de las normas establecidas.

Figura 23. Ensayo de resistencia en cubos de mortero



Peso específico cemento Pórtland: El estudio de esta propiedad es de suma importancia puesto que a partir de esta es posible determinar otras características que posee el cemento además es un parámetro indispensable en el momento de diseñar la mezcla de concreto.

Para determinar el peso específico del cemento Pórtland se siguió el procedimiento descrito en la Norma INV E-307 (Peso Específico del Cemento Hidráulico) obteniendo los resultados que se indican en la tabla; como se puede observar el resultado es un valor alto que esta por encima del rango de 3.0 a 3.2 gr/cm³, esto indica que se trata de un cemento de buena calidad.

Tabla 17. Peso especifico del cemento

Propiedad	Resultado	Norma
Peso especifico (gr/cm ³)	3.28	INV E-307

Tiempo de fraguado del cemento Pórtland: La determinación del tiempo de fraguado del cemento portland es relevante puesto que permite detectar si el cemento a utilizar presenta una rigidez prematura y/o anormal y de igual manera es preciso conocer si el cemento presenta un fraguado muy prolongado lo cual puede alterar las características generales de la mezcla, perjudicando aspectos como la disposición de esta en la obra y también perjudicando su resistencia; el ensayo se elaboró con los parámetros descrito en la norma NTC-109 (método para determinar los tiempos de fraguado del cemento hidráulico por medio de las agujas de Gillmore)

En base a los resultados obtenidos en la realización del ensayo de laboratorio correspondiente a la determinación de tiempos de fraguado se pudo observar que los tiempos de fraguado inicial y final no son inferiores a 45 minutos y tampoco superiores a 10 horas, por lo tanto, cumplen con los parámetros establecidos por la norma NTC-109.

Tabla 18. Tiempo de fraguado del cemento

Propiedad	Resultado	Norma
Fraguado (hh:mm)	3:04 inicial 5:57 final	NTC-109

Finura del cemento hidráulico: Esta es una propiedad física que está ligada con otras propiedades del cemento como la hidratación, la exudación, y también con su vida útil, por ello la importancia de conocer esta propiedad y someterla a un control cuidadoso. La realización de este ensayo se hizo siguiendo los pasos de la norma NTC 294 (método de ensayo para determinar la finura del cemento hidráulico).

Como se puede observar el porcentaje de finura correspondiente al cemento en estudio es de 97 %, esto indica que casi el total de la muestra representativa de cemento tomada posee granos de cemento de un diámetro menor a $74\mu\text{m}$; pues esto indica que el cemento en estudio puede ser utilizado cuando se necesite obtener una alta resistencia a corto plazo.

Tabla 19. Finura del cemento

Propiedad	Resultado	Norma
Finura (%)	97	NTC - 33

Resistencia a la compresión de cubos de mortero. El ensayo de resistencia de cubos de mortero es importante debido a que la resistencia a la compresión del mortero es proporcional a la resistencia del hormigón. sin embargo, la resistencia del hormigón no puede predecirse basado en la resistencia del mortero; esto debido a que las características del hormigón dependen de las características de los agregados, la mezcla de los mismos, y el procedimiento constructivo.

Este ensayo se realizó de acuerdo con la norma NTC 220 (Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50,8 mm de lado).

Con respecto a los resultados estos estuvieron dentro del rango exigido por la norma, con una resistencia de 260 kg/cm^2 , este valor de resistencia nos da la certeza de que los materiales utilizados para la conformación del mortero son buenos; “La resistencia a la compresión de cubos de mortero hechos de una parte de cemento y 2,75 partes de arena gradada normalizada para este ensayo preparados y probados de acuerdo a la norma NTC 220 no debe ser menor de del 240 kg/cm^2 ”¹⁹

¹⁹ SANCHEZ, Diego. “Tecnología del Concreto y del Mortero”. Bhandar Editores. Biblioteca de la Construcción, 1 ed. 58 p.

Tabla 20. Resistencia a la compresión para cubos de mortero

Propiedad	Resultado Día 7	Resultado Día 28
Resistencia a la compresión en kgf/cm ²	180	260

Agregados: Los ensayos se realizaron según se señala en las normas técnicas colombianas (NTC) y del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), mostrando los siguientes resultados.

Figura 24. Agregado natural y reciclado



Peso volumétrico suelto y compacto. Este laboratorio se realizó conforme lo estipula la norma NTC 92. Como se puede observar en la tabla 21, el peso volumétrico suelto y compacto del agregado reciclado presenta valores bajos en comparación con el agregado natural; esto era de esperarse, en vista que los agregados reciclados tiene una menor densidad; Complementariamente los valores encontrados ratifican la investigación de Kosmatka (1992), el cual expresa que “El peso volumétrico compactado de un agregado usado para concreto de peso normal, varía de 1200 a 1760 kgf/m³.”²⁰

²⁰ KOSMATKA, S. “Diseño y control de mezclas de concreto”. 1992, pág. 32.

Tabla 21. Peso volumétrico suelto y compacto

Características físicas	Unidad	Agregado grueso natural	Agregado reciclado	Norma
Peso volumétrico seco y suelto	Kgf/m ³	1400	1200	NTC 92
Peso volumétrico seco y compacto	Kgf/m ³	1570	1380	NTC 92

Densidad: La densidad de los agregados se realizó siguiendo el procedimiento establecido en la norma NTC 176 (Densidad y absorción de agregado grueso), NTC 237 (Densidad y absorción de agregado fino), como se demuestra en la tabla 22, la densidad de los agregados reciclados fue menor que la de los naturales, lo cual es razonable, ya que el contenido de mortero o pasta de cemento que esta adherido al agregado reciclado, disminuye la densidad del agregado; según Kosmatka (1992) “El rango normal de densidad para la mayoría de los agregados naturales es de 2,40 Kgf/lit a 2,90 Kgf/lit”, por lo que el agregado reciclado entra dentro de este rango; pero en comparación con el agregado grueso natural este valor es relativamente bajo”²¹.

Tabla 22. Densidad

Características físicas	Unidad	Agregado grueso natural	Agregado reciclado	Agregado fino natural	Norma
Densidad	Kgf/lit	2,7	2,42	2,65	NTC 176

Absorción: La absorción es la propiedad más importante dentro de los agregados reciclados; en vista que muchos autores han demostrado que la resistencia de un concreto reciclado en relación a un concreto convencional depende directamente de la absorción que posea el agregado reciclado. Es por esto que este ensayo se midió con las especificaciones estipuladas en las normas NTC 176 y NTC 237, para agregados gruesos y finos, respectivamente; con respecto a la tabla 23 se puede observar claramente que los agregados reciclados son más absorbentes que los agregados naturales, esto debido a que los agregados reciclados poseen pasta de cemento en su superficie y esta característica hace que el porcentaje de absorción se incremente.

²¹ KOSMATKA, S. “Diseño y control de mezclas de concreto”. 1992, pág. 39.

Tabla 23. Absorción

Características físicas	Unidad	Agregado grueso natural	Agregado reciclado	Agregado fino natural	Norma
Absorción	%	1,63	5,42	4,62	NTC 176 NTC 237

Desgaste y abrasión: La resistencia al desgaste o dureza de un agregado depende principalmente de las características de la roca madre. Esta propiedad toma importancia cuando las partículas van a estar sometidas a una fricción continua como es el caso de pisos y pavimentos.

Para determinar la dureza se sigue el procedimiento especificado en las normas NTC-93 (Determinación de la resistencia al desgaste de agregados gruesos mayores de 19 mm, utilizando la máquina de los ángeles) y NTC-98 (Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de agregados gruesos hasta de 37,5 mm, utilizando la máquina de los ángeles), método más reconocido en el sector de la ingeniería con el nombre máquina de Los Ángeles, el cual combina los procesos de desgastes y abrasión.

Como se puede apreciar en la tabla 24, no existe una diferencia muy amplia entre los agregados gruesos naturales y los agregados reciclados; adicional a esto, se confronta los resultados obtenidos con la normas del Instituto Nacional de Vías (Artículo 630-07), donde se estipula que el porcentaje máximo de desgaste es del 40%, con lo cual el agregado reciclado estaría cumpliendo.

Tabla 24. Desgaste y abrasión

Características físicas	Unidad	Agregado grueso natural	Agregado reciclado	Agregado fino natural	Norma
Desgaste y Abrasión	%	21,6	34,3	No aplica	NTC-93 NTC-98

Caras fracturadas: El estudio de esta propiedad se realiza con el objetivo de poder observar el porcentaje de caras fracturadas que poseía la muestra, debido a que si existe gran cantidad de caras fracturadas en el agregado reciclado; se esperaría que la resistencia al esfuerzo cortante se incremente debido a la fricción entre las partículas. Otro propósito es dar estabilidad a los agregados empleados en la elaboración del concreto; los parámetros que se utilizaron para este ensayo fueron los que estipula la norma INV E 227-07.

Con respecto a los resultados ilustrados en la tabla 25, es notable la diferencia que existen en el porcentaje de caras fracturadas de los agregados reciclados con respecto a lo de los agregados naturales; esto se aduce a que los agregados reciclados son producto de una segunda trituración, en cambio los naturales sólo poseen una trituración.

Tabla 25. Porcentaje de caras fracturadas

Características físicas	Unidad	Agregado grueso natural	Agregado reciclado	Agregado fino natural	Norma
Porcentaje de caras fracturadas	%	46,4	92,5	No aplica	INV E 227-07

Índice de aplanamiento (IA) e Índice de alargamiento (IL): La forma del árido grueso se expresará mediante su coeficiente de forma o bien mediante su índice de lajas, debiendo cumplir al menos las prescripciones relativas a uno de los dos.

En los agregados para concreto, el contenido de partículas planas o alargadas debe ser mínimo; las partículas planas aportan un punto o zona de debilidad dentro de la masa de concreto, en su comportamiento ante esfuerzo mecánico. Adicionalmente, este tipo de partículas dentro de la matriz de concreto demanda un mayor contenido de agua y arena.

La forma de los agregados influye notablemente en la trabajabilidad del concreto durante su colocación.

Para determinar el Índice de aplanamiento (IA) y Índice de alargamiento (IL) de los agregados se sigue el procedimiento descrito en la norma INV E-230 obteniendo los resultados que se indican en la tabla 26; como se puede observar los concretos reciclados presentan valores de IA e IL más altos.

Tabla 26. Índice de aplanamiento (IA) e Índice de alargamiento (IL)

Características físicas	Unidad	Agregado grueso natural	Agregado reciclado	Agregado fino natural	Norma
Índice de aplanamiento IA:	%	22	33	-----	INV E-230
Índice de alargamiento IL:	%	27	44	-----	INV E-230

Humedad: Los agregados pueden tener algún grado de humedad, lo cual está relacionado directamente con la porosidad de las partículas. Conociendo la absorción y la humedad de los áridos, se puede controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puede determinar sus pesos correctos en la mezcla.

Apoyando en investigaciones anteriores, en las que dictaminaban que la absorción es la propiedad más importante de los agregados reciclados y en vista que esta relacionada con la humedad, se realiza un control de la humedad de los agregados construyendo un campamento para cada uno de ellos; es por esta razón que los agregados presentan porcentajes de humedad relativamente bajos.

El cálculo de la humedad se realiza siguiendo el procedimiento descrito en la norma NTC 1776 (humedad de agregados), medido mediante métodos convencionales de secado en horno y estufa.

Tabla 27. Humedad

Características físicas	Unidad	Agregado grueso natural	Agregado reciclado	Agregado fino natural	Norma
Humedad	%	0,3	0,5	3,3	NTC 1776

Módulo de finura (MF): Es un índice de la finura del agregado, entre mayor sea el módulo de finura, mas grueso será el agregado. Es frecuente el uso del MF para evaluar que tan fina o gruesa es una arena, pero también es usado, en algunas ocasiones, como parámetro de diseño de mezclas.

Se considera que el módulo de finura de una arena apta para producir concreto debe estar dentro del rango (2,3-3,1). Como se puede evidenciar, los resultados expuestos en la tabla 28 nos indican que se trata de una arena gruesa que está en el límite superior del rango, pero que sin embargo, es apta para producir concreto y por tanto, no es necesario realizar ajustes en las proporciones de los agregados.

El cálculo de MF se realiza como lo estipula norma NTC-77, con la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de la serie estándar que cumple la relación 1:2, desde el tamiz No.100 en adelante, hasta el máximo tamaño que se encuentre, dividiendo por 100

Tabla 28. Módulo de finura (MF)

Características físicas	Unidad	Agregado grueso natural	Agregado reciclado	Agregado fino natural	Norma
Módulo de finura	-----	-----	-----	3,1	NTC 77

Materia orgánica: Los agregados utilizados para la elaboración del concreto deben estar libres de sustancias perjudiciales como arcillas, limos, materia orgánica, sales químicas y polvo procedentes de la trituración.

La materia orgánica influye notablemente sobre el hormigón; por una parte interfiere en las reacciones químicas de hidratación del cemento, alterando los tiempos de fraguado y disminuyendo la manejabilidad en el hormigón. En cantidades altas puede llegar a aportar sulfatos a la mezcla, afectando en gran medida la resistencia y durabilidad del concreto endurecido.

La norma NTC-127 proporciona un método llamado prueba colorimétrica, la cual determina el contenido de materia orgánica en arenas usadas para la producción de concreto, como se puede observar el resultado de la prueba realizada a la arena, es incoloro lo que significa que no tiene una cantidad apreciable de materia orgánica.

Tabla 29. Materia orgánica

Características físicas	Unidad	Agregado grueso natural	Agregado o reciclado	Agregado o fino natural	Norma
Colorimetría	-----	-----	-----	Incoloro	NTC-127

Tabla 30. Caracterización de los Materiales

Características físicas	Unidad	Agregado Grueso Natural	Agregado Grueso Reciclado	Agregado Fino Natural	Norma	Concreto Estructural INVIAS Artículo 630-07
Peso volumétrico suelto	Kgf/m ³	1400	1210	1310	NTC 92	1200, mínimo
Peso volumétrico compacto	Kgf/m ³	1570	1380	1410	NTC 92	1400, mínimo
Densidad	Kgf/lt	2,7	2,42	2,65	NTC 176,237	2,4 mínimo
Absorción	%	1,63	5,42	4,62	NTC 176	< 3% A. Grueso < 4% A. Fino
Desgaste y Abrasión	%	21,6	34,3	NO APLICA	NTC 93 NTC 98	40% máximo
Porcentaje de caras fracturadas	%	46,4	92,5	NO APLICA	INV E-227	28% mínimo
Índice de aplanamiento IA:	%	15	10	NO APLICA	INV E-230	25% máximo
Índice de alargamiento IL:	%	10	20	NO APLICA	INV E-230	25,% máximo
Humedad	%	0,3	0,5	3,3	NTC 1776	
Módulo de finura	-----	NO APLICA	NO APLICA	3,73	NTC 77	3,1 máximo
Colorimetría	-----	NO APLICA	NO APLICA	Incoloro	NTC 127	Igual a la muestra

Granulometría: La granulometría es la distribución de las partículas de los agregados, esta se expresa como el porcentaje en peso de cada tamaño de tamiz con respecto al peso total.

La granulometría y el tamaño máximo de agregado son muy importantes debido a que estas afectan las proporciones relativas de los agregados de la misma forma como los requerimientos de agua y cemento, la manejabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto, entre otras propiedades.

Conociendo de ante mano estos antecedentes, cobra importancia realizar un procedimiento que garantice una buena gradación, con el objetivo de que los

agregados dentro de la masa de concreto sean lo más compactos posibles; es decir, que la cantidad de vacíos dejada por los agregados sea mínima; de esta forma se logra mayor resistencia y un diseño de mezcla más económico.

La operación de tamizado y sus respectivos cálculos se realizan de acuerdo a la norma NTC-77 (método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos), cabe destacar que se obtiene porcentajes muy altos en la fracción fina, en especial la que pasa el tamiz N° 4 (4,75 mm) que fue del 15%; este tipo de agregados no se tiene en cuenta, Debido a que resulta perjudicial fabricar concretos con este tipo de material, por el posible incremento en la demanda de cemento.

Con el objetivo de controlar la gradación de los agregados, se compara las granulometrías de los agregados naturales y reciclados con la especificación de la norma colombiana NTC 174 (especificaciones de los agregados para concreto), equivalente a la norma americana ASTM C33; como se puede observar en las tablas y gráficas siguientes, la gradación del agregado reciclado es buena, porque está dentro de los rangos que especifica la norma NTC 174 (ASTM C33); en cambio los agregados naturales no tienen una buena gradación, a pesar que se obtuvieron de la misma forma que el agregado reciclado. Por otra parte, es evidente que la granulometría de la arena no es la mejor.

Tabla 31. Granulometría del agregado Grueso

Tamiz		% Pasa el tamiz			
Pulgadas	Tamaño (mm)	Límite Inferior (Astm C-33)	Agregado Reciclado	Agregado Natural	Límite Superior (Astm C-33)
2"	50,8	100	100	100	100
1 1/2"	38,1	95	100	100	100
1"	25,4	----	96,42	78,81	----
3/4"	19,05	35	55,43	21,92	70
1/2"	12,7	----	16,26	5,33	----
3/8"	9,525	10	11,93	1,74	20
N 4	4,763	0	0,13	0	5

Figura 25. Granulometrías de agregados gruesos

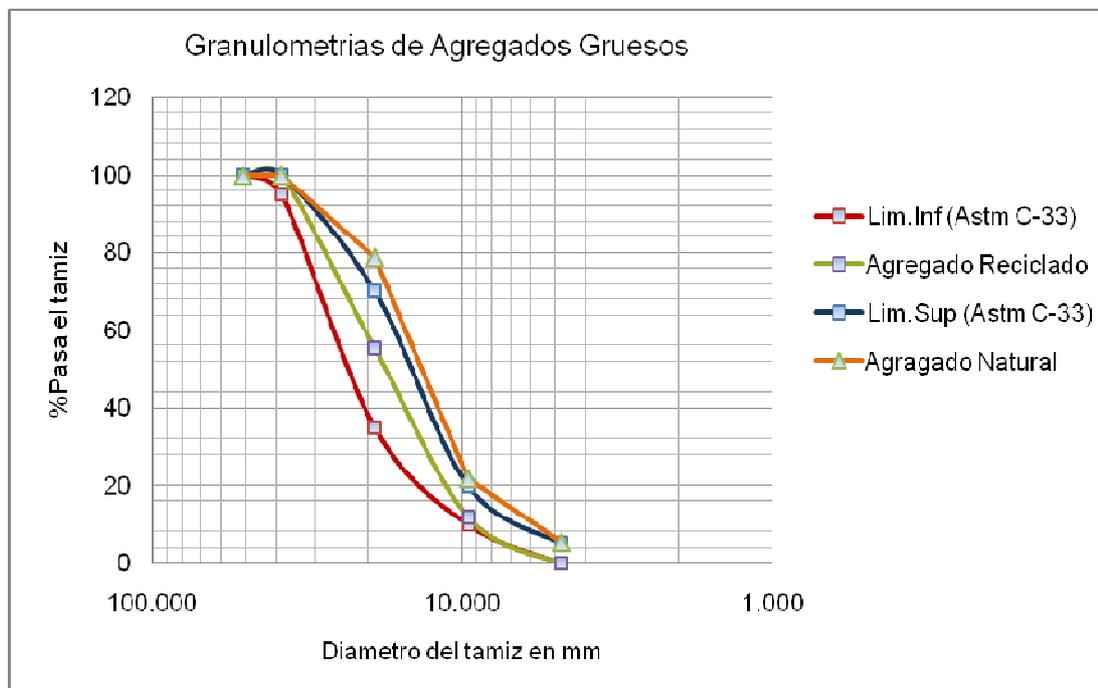
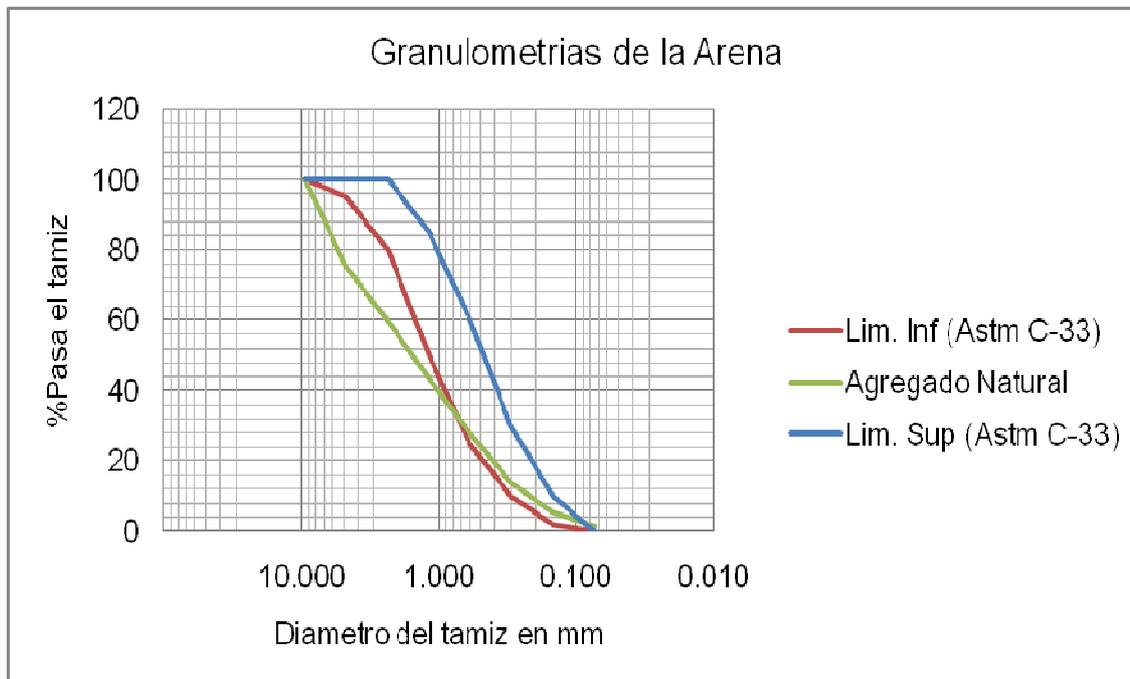


Tabla 32. Granulometría del agregado fino

Tamiz		% Pasa el tamiz		
Pulgadas	Tamaño (mm)	Límite Inferior (Astm C-33)	Arena	Límite Superior (Astm C-33)
3/8"	9,525	100	100	100
N 4	4,763	95	75,35	100
N 8	2,381	80	59,47	100
N 16	1,191	50	43,46	85
N 30	0,595	25	28	60
N 50	0,298	10	13,78	30
N 100	0,149	2	5,12	10
N 200	0,074	0	1,42	0

Figura 26. Granulometrías de la arena



3.3 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS AGREGADOS:

La exigencia química que se debe hacer a los agregados para evitar su reacción en la masa de concreto, son la de evitar sustancias presentes agresivas.

El concreto es generalmente muy resistente al ataque químico de ácidos, siempre y cuando se utilice una mezcla apropiada y el concreto esté densificado en forma correcta, sin embargo hay algunas excepciones.

La pasta de cemento hidráulico endurecida es un material sílice-calcáreo con un fuerte carácter básico; los líquidos con un pH inferior a 6.5, pueden atacar el concreto. "El ataque es más severo a un valor de pH menor a 5.5 y es muy severo a un pH menor a 4.5"²².

El mecanismo de deterioro del concreto causado por ácidos es el resultado, generalmente de una reacción entre estas sustancias (agente agresor) y todos los compuestos cálcicos (hidróxido de calcio, silicato cálcico hidratado y aluminato cálcico hidratado) del cemento, que se convierten en sales cálcicas de ácido actuante.

²² GUZMÁN, D. "Durabilidad y patología del concreto". 2002, pág. 98

3.3.1 Solidez – sanidad. La importancia para el estudio de esta propiedad radica en que los sulfatos de sodio, presentes en los suelos y agua con álcalis, son muchas veces responsables del deterioro de las estructuras de concreto, la causa es porque los sulfatos reaccionan químicamente con la cal y el aluminato de calcio hidratados en la pasta de cemento, formando sulfato de calcio y sulfoaluminato de calcio respectivamente, dicha reacciones van acompañadas de una considerable expansión, que culminan con agrietamiento y rompimiento de la masa de concreto.

El estudio de esta propiedad se realiza siguiendo el procedimiento estipulado en la norma NTC126. (Método de ensayo para determinar la solidez-sanidad de agregados); con respecto a los valores expresados en la tabla 33, se puede evidenciar que los agregados reciclados son buena cálida, debido a que el contenido de sulfatos no supera el 1%.

Tabla 33. Contenido de sulfatos

Características físicas	Unidad	Agregado grueso natural	Agregado reciclado	Norma	Requisito
Contenido de sulfatos, expresado como SO ₄	%	0	0,15	INV E-233	1%

Figura 27. Ensayo de solidez



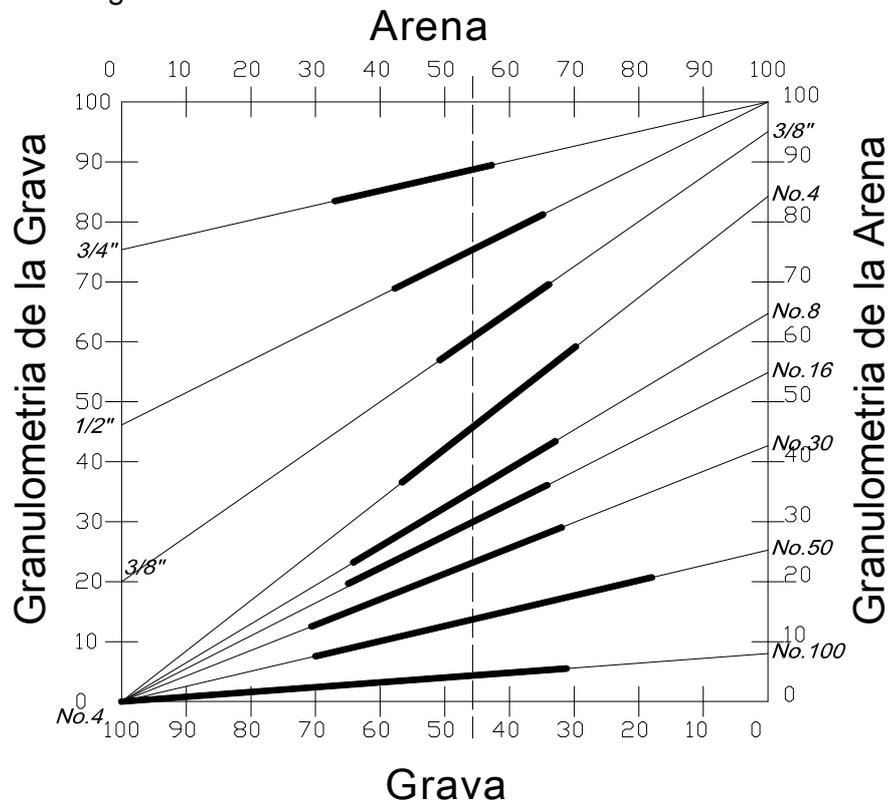
4. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

4.1 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

Una vez finalizada la etapa de "Caracterización de los Materiales", se realiza el diseño de mezclas de concreto a través del "MÉTODO GRÁFICO", se usa este método debido a que la arena no cumple con los rangos establecidos por la norma **NTC 174 (ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETOS)**; esta norma provee los límites granulométricos para agregado grueso y fino; se considera que este método es más representativo en el análisis y consecución de la gradación ideal que el método A.C.I.211.1 Debido a que permite observar sobre una gráfica de granulometría, la mezcla final de agregados teniendo en cuenta los porcentajes para cada agregado en particular.

4.1.1 Método gráfico:

Figura 28. Método gráfico



El procedimiento y los parámetros se describen a continuación:

Se realiza una cuadrícula de 10 x 10.

A lo largo de las ordenadas y en orden ascendente se numeran porcentajes iguales de 0 a 100.

En la abscisa superior se numeran porcentajes iguales de 100 a 0 y de derecha a izquierda, allí se leerá el porcentaje de agregado fino, referido al total.

En las ordenadas del lado izquierdo se marcan los porcentajes que pasan correspondientes al agregado fino anotando el número o abertura del tamiz correspondiente.

En las ordenadas del lado derecho se repite lo mismo con el agregado grueso.

En el eje inferior de las abscisas se leerá entonces el porcentaje de agregado grueso referido al agregado total.

Los puntos correspondientes a tamices de igual abertura, en las dos granulometrías se unen entre sí por una línea recta; estas líneas representan los porcentajes posibles de la mezcla de agregados que pueden pasar por cada uno de los tamices. El cuadro así elaborado permite calcular gráficamente la granulometría para cualquier mezcla de un agregado fino y un agregado grueso.

Se encuentra sobre el eje de las abscisas, una línea paralela a las ordenadas correspondiente a la mezcla deseada y la intersección de esta línea, con las líneas inclinadas indica el porcentaje que pasa el respectivo tamiz.

Sobre las líneas trazadas, según el párrafo anterior y para el tamaño máximo correspondiente, se marcaran los límites porcentuales (máximo y mínimo), que para cada tamiz disponga la curva de gradación ideal. La escala de lectura es la misma que la de las ordenadas.

Las franjas aisladas, definidas por los límites marcados anteriormente, deben comprender la línea vertical paralela a las ordenadas que indique el “porcentaje de agregado referido al agregado total” (Relación arena-agregado total), para que la granulometría de esta mezcla este comprendida dentro de los límites especificados por la curva de gradación ideal seleccionada.

Hechos los pasos anteriores, los “porcentajes que pasan” de la granulometría resultante, pueden leerse directamente en las ordenadas. Para ello debe recordarse que la intersección de la línea vertical paralela a las ordenadas con las líneas inclinadas, indican el porcentaje que pasa por el respectivo tamiz.

Los límites usados para obtener la gradación ideal para un tamaño máximo de agregado de una y media pulgada (1½”), se muestran a continuación; junto con el resultado de la optimización de la granulometría, estos límites son estipulados por ASOCRETO para la gradación ideal de materiales.

Para encontrar los porcentajes finales de agregado fino y agregado grueso que se utilizara durante la investigación se realiza varios diseños para las gradaciones ideales de “Fuller – Thompson Modificada”, “Weymouth”, y “Bolomey”,

Los resultados son muy cuestionables debido a que para la gradación ideal de “Fuller – Thompson Modificada” se estimaba un 44 % de arena, y un 56 % de Agregado grueso reciclado, lo que daba lugar a una mezcla muy poco manejable y áspera, con un asentamiento máximo de 25 mm; la gradación ideal de “Weymouth”, estimaba un 69% de arena, y un 31% de Agregado grueso reciclado, la razón por la cual no se realizó la mezcla con estos porcentajes fue por su elevado porcentaje de arena, lo que conduciría a una mezcla con baja resistencia a la compresión simple, además por el exeso de finos tendrá un requerimiento de agua elevado para la reacción del cemento; de similar forma sucedió con la teoría de “Bolomey”, que estimaba un 81% de arena, y un 19% de Agregado reciclado, razón por la cual fue totalmente descartado el intento de diseñar por esta teoría.

Tabla 34. Optimización de granulometrías

Método gráfico

Optimización de granulometría Agregado Reciclado

Tamiz	Tamaño(mm)	Límite Inferior	Límite Superior	Arena	Grava	Mezcla Ideal
"2"	50,80	100,0	100	100	100,00	100,00
"1 1/2"	38,10	100,0	100	100	96,86	98,46
"1"	25,40	80,0	87,0	100	79,86	90,13
"3/4"	19,05	68,0	79,0	100	48,27	74,65
"1/2"	12,70	55,0	68,0	100	25,88	63,68
"3/8"	9,52	47,0	62,0	100	17,09	59,38
N 4	4,76	32,0	48,0	75,35	3,73	40,26
N 8	2,38	22,0	38,0	59,47	1,83	31,23
N 16	1,19	15,0	30,0	43,46		22,16
N 30	0,59	10,0	23,0	28		14,28
N 50	0,29	7,0	18,0	13,78		7,03
N 100	0,14	5,0	14,0	5,12		2,61
N 200	0,074			1,42		0,72

Porcentaje de arena=0,51% Porcentaje de grava = 0,49%

Con los porcentajes optimizados de agregado reciclado y agregado fino para conseguir la gradación ideal y los datos obtenidos de la caracterización de los materiales, se realiza el diseño de mezclas

Figura 29. Gradación ideal Fuller – Thompson

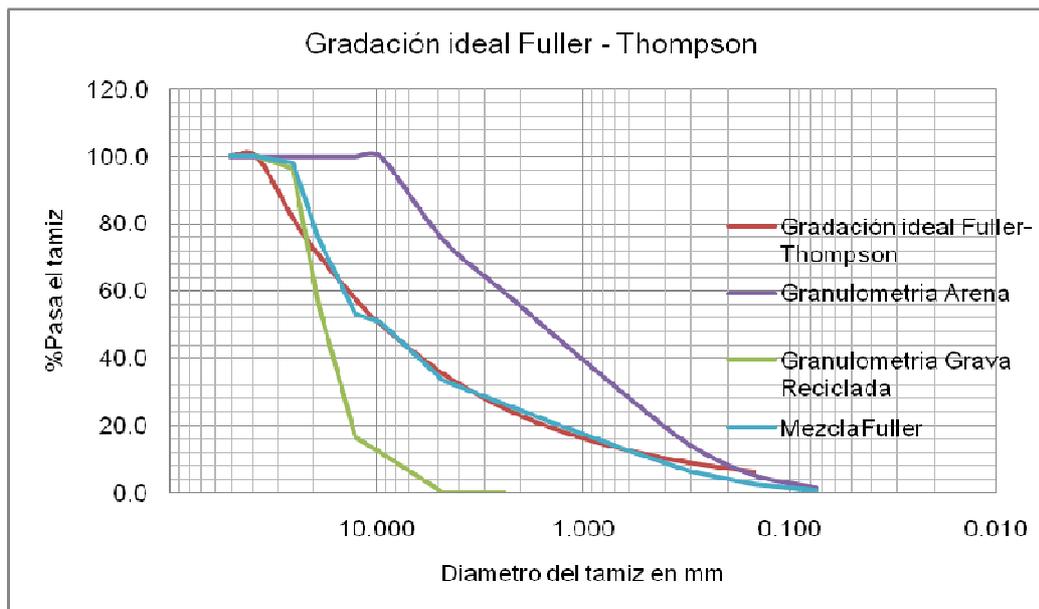


Figura 30. Gradación ideal Weythmouth

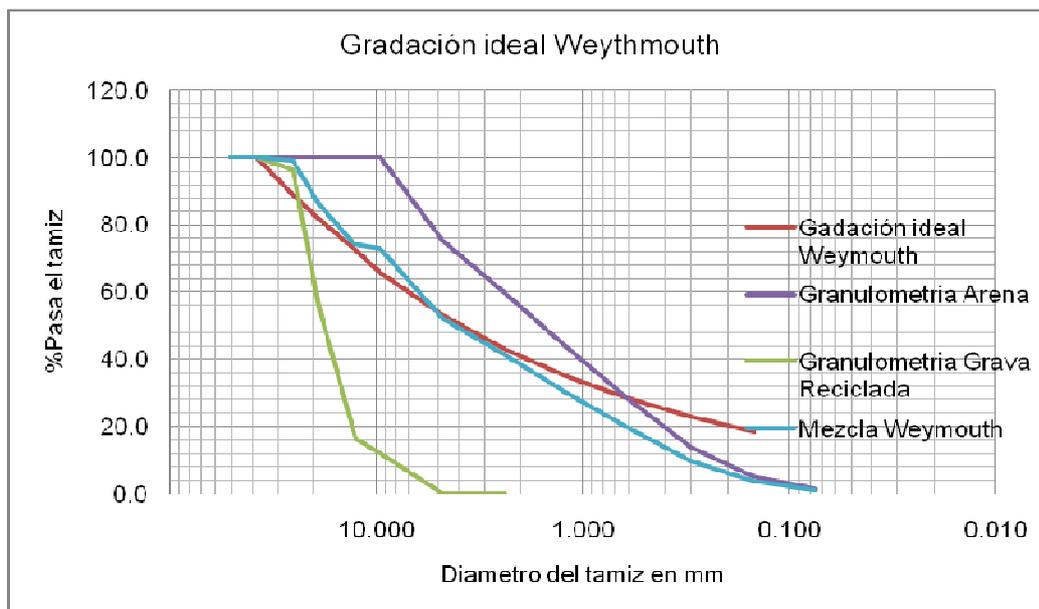


Figura 31. Gradación ideal Bolomey

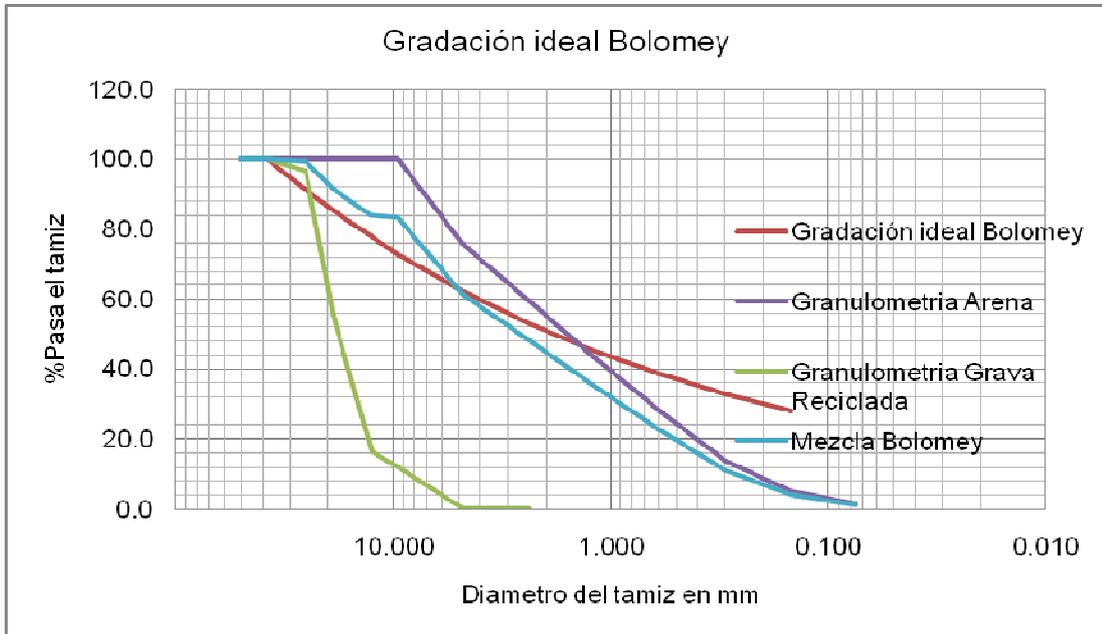


Figura 32. Gradación ideal límites de Asocreto



4.1.2 Diseño de mezcla de concreto. Siguiendo los parámetros y metodología para el diseño de mezcla 1 con una relación a/c = 0,45, se calcula las diferentes proporciones de materiales utilizadas en la elaboración de concreto reciclado con las relaciones 0,5 y 0,55, los resultados de los diseños de mezcla se encuentran en el Anexo B del presente trabajo.

Agregado grueso (grava reciclada)		
Densidad aparente seca:	2,42	gr/cm ³
Tamaño máximo:	1 1/2"	
Tamaño máximo nominal	1"	
Porcentaje de absorción:	5,42	%
Masa unitaria suelta:	1,20	gr/ cm ³
Porcentaje de humedad:	0,00	%

Agregado fino (arena negra)		
Densidad aparente seca:	2,65	gr/ cm ³
Porcentaje de absorción:	4,62	%
Masa unitaria suelta:	1,30	gr/ cm ³
Módulo de finura	3,73	
Porcentaje de humedad:	3,30	%

Porcentaje grava (%g)	0,49	49,00	%
Porcentaje arena (%f)	0,51	51,00	%

CEMENTO		
Peso específico	3,04	gr/cm ³
Masa Unitaria suelta	1,04	gr/cm ³

AGUA		
Peso específico	1,00	gr/cm ³
Masa Unitaria suelta	1,00	gr/cm ³

Asentamiento escogido	5,00	cm
Tamaño máximo del agregado		1 1/2"
Estimación del agua en la mezcla	A=	170,0 kg/m ³
Estimación de aire atrapado		a=0,01

Selección de las relaciones a/c Mezcla 1 0,45

Cálculos del contenido de cemento

C=A/AC =	377,78	kg/ m ³	Mezcla 1
-----------------	--------	--------------------	----------

Volumen que ocupará la masa de cemento

Vc=	0,12	m ³ / m ³	Mezcla 1
------------	------	---------------------------------	----------

Volumen de Agregados por metro cubico

Volumen de agregado=1- (Volumen Agua + Volumen Cemento + Volumen Aire)

Volumen de agregado (vt)= 0,71 0,01 Mezcla 1

Estimación del contenido de grava y arena

Como la densidad aparente de la grava ($d_g = 2420 \text{ kg/ m}^3$) difiere muy poco de la densidad de la arena ($d_f=2650 \text{ kg/ m}^3$) entonces se puede utilizar la siguiente expresión

$d_{prom} =$ densidad aparente promedio

$d_{prom} = (\%f) \cdot (d_f) + (\%g) \cdot (d_g)$

$d_{prom} = 2537,30 \text{ kg/ m}^3$

Pesos de la grava y arena

$W_f = d_{prom} \cdot V_t \cdot \%f$ 913,23 Mezcla 1

$W_g = d_{prom} \cdot V_t \cdot \%g$ 877,42 Mezcla 1

Cantidades para 1m³ de concreto

	Material	Peso	Densidad	Volumen
		W (Kg/ m ³)	D (Kg/ m ³)	V (m ³ / m ³)
Mezcla 1	Cemento	377,78	3040,00	0,12
	Agua	170,00	1000,00	0,17
	Aire	0,00	0,00	0,00
	Grava	877,42	2420,00	0,36
	Arena	913,23	2650,00	0,34

Proporciones iniciales en peso seco

Mezcla 1	AGUA	Cemento	Arena	Grava
Peso Material (kg/ m ³)	170,00	377,78	913,23	877,42
Proporciones en peso seco	0,45	1,00	2,42	2,32

Volumen de concreto a preparar

SLUMP=	1,00	*0,0055 m ³ =	0,01	m ³
CILINDROS=	2,00	*0,0053 m ³ =	0,01	m ³
		SUMATORIA	0,02	m ³
	Desperdicio 10%		0,00	m ³
Volumen de concreto a preparar=			0,02	m ³

C1= 5,01 kg

MATERIAL	Proporción	Peso seco	Peso Húmedo	Agua agregado
AGUA (kg)	0,45	2,26	—	
CEMENTO (kg)	1,00	5,01	—	
ARENA (kg)	2,17	10,88	11,24	0,36
GRAVA (kg)	2,02	10,12	10,12	0,00

MATERIAL	Absorción	Agua Libre	APORTE
AGUA (kg)			
CEMENTO (kg)			
ARENA (kg)	0,50	-0,14	
GRAVA (kg)	0,55	-0,55	-0,69

MATERIAL	PESO
Agua de mezcla teórica =	2,95 kg
Cemento=	5,01 kg
Arena=	11,24 kg
Grava Reciclada =	10,12 kg

CORRECCIÓN POR ASENTAMIENTO

Para lograr el asentamiento escogido se necesito

Agua Real. A/c 0,45= 2,75 Kg
 Agua Teórica. A/c 0,45= 2,06 Kg
 Relación a/c real= 0,41

Corrección para A/c 0,45

	AGUA	Cemento	Arena	Grava	SUMATORIA
Proporción Usada	0,41	1,00	2,17	2,02	
Peso Material (kg)	0,41	1,00	2,17	2,02	
Vol.Abs.Mat (dm ³)	0,41	0,33	0,82	0,83	2,39

X= 418,06 Kg

	AGUA	Cemento	Arena	Grava	SUMATORIA
Proporción peso seco	0,41	1,00	2,17	2,02	
Peso Material (kg/ m ³)	171,45	418,06	907,39	843,67	2340,56
Vol.Abs.Mat (dm ³ / m ³)	171,45	137,52	342,41	348,63	1000,00

	AGUA	Cemento	Arena	Grava	SUMATORIA
Vol. ABS. (dm ³ / m ³)	171,45	125,33	354,60	348,63	1000,00
Peso Material (kg/ m ³)	171,45	380,99	939,70	843,67	2335,81
Prop. Peso Seco	0,45	1,00	2,47	2,21	

Volumen de concreto a preparar

Humedad Finos (%)= 3,30 Humedad Gruesos (%)= 0,00

SLUMP=	1,00	*0,0055 m ³ =	0,01	m ³
CILINDROS=	1,00	*0,0053 m ³ =	0,01	m ³
		SUMATORIA	0,01	m ³
15% Desperdicio			0,001620	m ³
Volumen de concreto a preparar=			0,012420	m ³

C1= 2,13 kg

MATERIAL	Proporción	Peso seco	Peso Húmedo	Agua agregado
AGUA (kg)	0,45	2,13	_	
CEMENTO (kg)	1,00	4,73	_	
ARENA (kg)	2,47	11,67	12,06	0,39
GRAVA (kg)	2,21	10,48	10,48	0,00

MATERIAL	Absorción	Agua Libre	APORTE
AGUA (kg)			
CEMENTO (kg)			
ARENA (kg)	0,54	-0,15	
GRAVA (kg)	0,57	-0,57	-0,72

MATERIAL	PESO
Agua de mezcla teórica =	2,85 kg
Cemento=	4,73 kg
Arena=	12,06 kg
Grava Reciclada =	10,48 kg

4.1.3 Ajuste de la dosificación de los materiales. Con los diseños de mezclas se realizan cilindros de concreto utilizando agregados gruesos reciclados de acuerdo a los parámetros en la norma NTC 1377 (ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECIMENES DE CONCRETO PARA ENSAYOS DE LABORATORIO), se ejecuta las respectivas correcciones por humedad de los materiales y por asentamiento según la norma NTC 396 (METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO), establecidas en el método de diseño de mezclas, con el fin de ajustar la dosificación definitiva que se empleara en la conformación de los cilindros definitivos de la prueba piloto.

4.1.4 Elaboración de mezclas definitivas, y especímenes de prueba. Con el ajuste a la dosificación de los materiales, se determina que el asentamiento de 5 cm se logra con una proporción en peso de 1:2,47:2,21 y una relación a/c de 0,45, teniendo esto como base, y considerando que la variación de los especímenes de concreto es más crítica de una batchada a otra, se establece que las mezclas definitivas para la prueba piloto se realizan por pares de cilindros tomados de diferentes mezclas de concreto producidas manualmente.

4.2 CONFORMACIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO

Para la elaboración de los cilindros se realizó de la siguiente forma:

Con moldes de hierro fundido no absorbente de 15 cm de diámetro interno, por 30 cm de alto, estos se engrasan con aceite pesado para evitar que la mezcla se adhiera a sus paredes y facilitar la extracción posterior del cilindro de prueba.

Varilla compactadora de acero lisa de 60 cm de largo y 1,6 cm de diámetro en su extremo redondeado.

Mazo con cabeza de caucho con un peso de 0,6 Kg \pm 0,2 Kg.

Herramienta menor como: recipientes metálicos de mezclado resistentes, con fondo plano e impermeables, limpios y húmedos, llanas, palustre y baldes.

Balanza con aproximación de 0,01 Kg.

Se determina el sitio donde se realizarán y permanecerán los cilindros las 24 horas siguientes a su preparación, teniendo en cuenta que deberá ser un lugar plano sin vibraciones y alteraciones de ninguna índole.

Figura 33. Preparación del sitio de ensayo.



Se pesan los agregados y el cemento a usar de acuerdo a las proporciones por peso obtenidas del diseño de mezcla de concreto y enseguida se los coloca en recipientes.

Figura 34. Pesaje de los materiales.



Sobre una superficie lisa, libre de absorción de agua se colocan el agregado fino y el cemento luego se mezclan de forma manual hasta obtener su homogeneidad.

Figura 35. Mezclado cemento y agregado fino



Figura 36. Homogenización cemento y agregado fino



A la anterior mezcla se adiciona el agregado grueso y se mezcla nuevamente hasta homogenizar la mezcla.

Figura 37. Adición agregado reciclado



Se agrega el agua y se mezcla la masa hasta que el concreto sea homogéneo y con la consistencia deseada.

Figura 38. Adición del agua de mezclado



Figura 39. Adición del agua de mezclado



Figura 40. Homogenización de la mezcla de concreto



Inmediatamente después se realiza el ensayo de asentamiento del concreto, usando para este, una porción seleccionada y representativa del concreto antes preparado, ésta se coloca dentro de un molde tronco cónico de 20,3 cm de diámetro en la base mayor y 10,2 cm de diámetro en la base menor con una altura de 30,5 cm, , humedecido y colocado sobre una superficie no absorbente y plana, en tres capas que correspondan cada una a un tercio del volumen interior del mismo y se compacta con la varilla de compactación antes descrita con 25 golpes, luego de terminar la ultima capa, se enrasa el molde y se levanta en un movimiento uniforme sin producir torsión o movimiento lateral 30 cm por encima en un tiempo de 7 segundos; todo el movimiento desde el llenado del molde hasta su retiro debe durar máximo 2 minutos 30 segundos.

Figura 41. Medida del asentamiento de la Mezcla de Concreto



Una vez establecido que el asentamiento es el adecuado, con el concreto restante se conforman los cilindros, se introduce dentro de los moldes metálicos con la ayuda de un palustre una porción de concreto que ocupe un tercio del volumen del molde, evitando la segregación del agregado grueso, se distribuye complementariamente con la varilla de compactación antes de empezar la consolidación. La consolidación consiste en la compactación de 3 capas con una serie de 25 golpes por cada capa distribuidos uniformemente en toda la sección transversal del molde, se golpea con el mazo por la parte exterior del molde para cerrar los huecos dejados por la compactación y sacar las burbujas de aire que puedan haber quedado atrapadas dentro de la masa de concreto, luego de apisonar la ultima capa, con una llana se realiza el acabado al cilindro

Figura 42. Compactación de la capa de concreto en el molde



Figura 43. Vibrado de la capa compactado



Figura 44. Finalización del proceso de compactación y vibrado



Figura 45. Afinado del cilindro terminado



Figura 46. Cilindros terminados



Los moldes son retirados a las 24 horas después de fundidos.

Se curan después a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ con agua libre (agua saturada con cal) en toda su superficie a toda hora desde el momento de moldeado hasta el momento del ensayo.

Figura 47. Curado de cilindros terminados



Con parámetros que se establece en el proyecto, como es la variable relación agua-cemento (a/c) de las mezclas, no se realiza la corrección por resistencia, debido a que el objeto es observar cual es la variación en la resistencia a la compresión que se obtiene si se cambia la relación a/c.

En el proceso de ajuste por asentamiento, se toman cilindros de concreto que, aunque no son válidos para nuestro estudio estadístico, ya que son formados con mezclas no idóneas con relaciones a/c superiores a las estipuladas en el proyecto, nos muestran una idea del comportamiento de la mezcla; su posterior ensayo a los 7 días nos brindan los primeros datos de resistencia a la compresión.

4.3 ELABORACIÓN DE LA PRUEBA PILOTO

Uno de los objetivos es sentar las bases para la utilización del agregado reciclado como una alternativa a los agregados convencionales en la región, es de suma importancia diseñar un experimento que este fundamente en el análisis estadístico de variables cuantitativas, para lo cual se realiza una prueba piloto para el ensayo de compresión simple, que brinde una idea de la media y la desviación estándar de los cilindros de concreto fabricados con agregados reciclados.

La prueba piloto de compresión simple consiste en la mezcla manual de concreto elaborado con agregados gruesos reciclados con unas proporciones en peso de 1:2,47:2,21 para una relación a/c de 0,45, y la fabricación de doce (12) cilindros de concreto según la norma NTC 1377 (ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECIMENES DE CONCRETO PARA ENSAYOS DE LABORATORIO); se establece que la prueba piloto se realice con esta relación a/c debido a que en investigaciones anteriores se concluye que los concretos con agregados reciclados no alcanzan valores de resistencia a la compresión altos con relaciones a/c superiores a 0,45.

4.4 ENSAYO A COMPRESIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO

Los cilindros de concreto elaborados en la prueba piloto, son desencofrados y puestos a curado por 28 días según la norma NTC 3512 (CUARTOS DE MEZCLADO, CAMARAS Y CUARTOS HUMEDOS Y TANQUES PARA EL ALMACENAMIENTO DE AGUA, EMPLEADOS EN LOS ENSAYOS DE CEMENTOS HIDRÁULICOS Y CONCRETOS).

Después de cumplido el tiempo estipulado, se procede a tomar el peso y diámetro de los especímenes y a continuación se realiza el proceso de refrentado según la norma NTC 504 (REFRENTADO DE CILINDROS DE CONCRETO).

Figura 48. Refrentado de cilindros de concreto



Posteriormente de ese procedimiento, se realiza el ensayo a compresión simple según la norma NTC 673 (ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS NORMALES DE CONCRETO).

Figura 49 Ensayo de resistencia a la compresión



Figura 50. Cilindro después del ensayo de resistencia a la compresión simple



Como se puede observar en la imagen la falla de los cilindros de concreto fue en forma de cono y rotura vertical; presentando primero una falla vertical y luego desprendiéndose de ella dos planos inclinados, esto hace evidenciar que el ensayo de compresión de cilindros se realizó de la forma correcta, aplicando una carga sobre la superficie superior del cilindro a una velocidad especificada mientras ocurre la falla.

4.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA PILOTO

Los valores encontrados son muy satisfactorios, debido a que indican parcialmente que los agregados gruesos reciclados son aptos para usarse en obras civiles con solicitaciones de cargas moderadas, ya que si bien es cierto, la relación a/c que se manejó en el experimento es baja ($a/c=0,45$), la resistencia de un hormigón está en la resistencia del eslabón más débil que lo conforma, en este caso, el mortero y no el agregado reciclado como se esperaba; se observa además que el tipo de falla para todos los cilindros es cónica y rotura vertical

4.5.1 Cilindros conformados con agregado reciclado. En la siguiente tabla se presentan los resultados de los ensayos de compresión simple para cilindros de concreto conformados con agregado reciclado, realizado en la prueba piloto

Tabla 35. Resultados de ensayos a la compresión simple para concretos con agregado reciclado

	Fecha de Fabricación	Relación a/c	Proporciones en Peso	Peso del cilindro al desencofre (Kgf)	Peso del cilindro al rompimiento (Kgf)	Diámetro (cm)	Resistencia 28 días (kg/cm ²)	Resistencia 28 días (Psi.)	Resistencia especificada (Psi.)
1	23-Dic-09	0,45	1:2,47:2,21	12.010,00	13.300,00	15,5	252,79	3588	2500 a 3000
	23-Dic-09		1:2,47:2,21	11.110,00	12.130,00	15	268,23	3807	2500 a 3000
2	23-Dic-09		1:2,47:2,21	11.890,00	12.900,00	15,3	267,60	3798	2500 a 3000
	23-Dic-09		1:2,47:2,21	11.710,00	12.970,00	15,4	262,53	3726	2500 a 3000
3	24-Dic-09		1:2,47:2,21	11.180,00	12.220,00	15	263,14	3735	2500 a 3000
	24-Dic-09		1:2,47:2,21	11.250,00	12.280,00	15	249,55	3542	2500 a 3000
4	24-Dic-09		1:2,47:2,21	11.290,00	12.290,00	15	247,86	3518	2500 a 3000
	24-Dic-09		1:2,47:2,21	11.880,00	12.950,00	15,5	249,61	3543	2500 a 3000
5	24-Dic-09		1:2,47:2,21	11.300,00	12.330,00	15	264,83	3759	2500 a 3000
	24-Dic-09		1:2,47:2,21	11.280,00	12.320,00	15	264,83	3759	2500 a 3000
6	24-Dic-09		1:2,47:2,21	11.950,00	13.030,00	15,2	261,22	3708	2500 a 3000
	24-Dic-09		1:2,47:2,21	11.960,00	13.020,00	15,2	268,93	3817	2500 a 3000

Utilizando La estadística para resolver, organizar y analizar datos numéricos encontrados en el experimento de los ensayos de cilindros de concreto conformados con agregado reciclado se calcula la media aritmética muestral y la desviación estándar los resultados son los siguientes

$$\text{Media aritmetica} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N} = \frac{\sum X_i}{N} = 260,09 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} (3.692 \text{ PSI})$$

$$\text{Desviacion estandar (S)} = \sqrt{(\sum X_i - \bar{X})^2 / (N - 1)} = 7,90 \text{ Kgf/cm}^2 (112 \text{ Psi.})$$

Los valores de resistencia a la compresión simple se obtiene que la media aritmética muestral de los datos obtenidos es de 260,09 Kgf/cm² (3.692 Psi.), y la desviación estándar muestral es de 7,90 Kgf/cm² (112 Psi.), con lo que se establece que se es viable la fabricación de concreto conformado con agregado reciclado que soporte resistencias superiores a 3.000 Psi.; su variabilidad es muy pequeña entre pares de cilindros aun si estos se realizan de forma manual.

4.5.2 Cilindros conformados con agregado grueso natural. Como base de comparación para la característica de resistencia a la compresión simple de los cilindros conformados con agregado reciclado, se elaboran especímenes de control con agregado grueso convencional. Cabe observar que los dos agregados gruesos recibieron el mismo proceso de trituración, en la misma maquinaria, y con los mismos operarios.

Para estos especímenes de concreto se utilizan iguales proporciones por peso de materiales utilizadas en el diseño de mezclas de concreto reciclado anteriormente descritas debido a que el objetivo de los mismos es observar cual es el comportamiento en comparación de los materiales convencionales usando la misma dosificación óptima lograda para los materiales reciclados; los elementos se realizaron también manualmente en pares de cilindros, con los mismos procedimientos de mezclado, confección de cilindros, curado de cilindros, refrentado de cilindros y ensayo de resistencia a la compresión simple de especímenes de concreto, descritos anteriormente para los agregados reciclados, de estos cilindros se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 36. Resultados de ensayos a la compresión simple para concretos con agregado natural

	Fecha de fabricación	REL A/C	Proporciones en Peso	Peso Desencofre (Kgf)	Peso Rompimiento (Kgf)	Diámetro (cm)	Resistencia 28 días (kgf/cm ²)	Resistencia 28 días (Psi.)	Resistencia especificada (Psi.)
1	28-dic-09	0,45	1:2,47:2,21	13102	12930	15	276,72	3928	2500 a 3000
	28-dic-09	0,45	1:2,47:2,21	12826	13020	15	271,62	3855	2500 a 3000
2	28-dic-09	0,45	1:2,47:2,21	13060	13750	15,3	271,51	3854	2500 a 3000
	28-dic-09	0,45	1:2,47:2,21	12877	13710	15,2	271,73	3857	2500 a 3000
3	28-dic-09	0,45	1:2,47:2,21	13030	13280	15,2	274,58	3897	2500 a 3000
	28-dic-09	0,45	1:2,47:2,21	13095	13411	15,1	269,52	3825	2500 a 3000
4	29-dic-09	0,45	1:2,47:2,21	12849	12995	15,1	272,72	3871	2500 a 3000
	29-dic-09	0,45	1:2,47:2,21	12931	13780	15,1	267,60	3798	2500 a 3000
5	29-dic-09	0,45	1:2,47:2,21	13356	13400	15,2	276,78	3928	2500 a 3000
	29-dic-09	0,45	1:2,47:2,21	13376	13374	15,2	276,62	3926	2500 a 3000
6	29-dic-09	0,45	1:2,47:2,21	13018	13641	15,1	274,56	3897	2500 a 3000
	29-dic-09	0,45	1:2,47:2,21	12940	13152	15,3	276,71	3927	2500 a 3000

Para estos datos de resistencia a la compresión simple se obtuvo que la media aritmética muestral de es: 273,29 Kgf/cm² (3879 Psi.), y la desviación estándar es: 3,10 Kgf/cm² (44 Psi.), con lo que se establece que el concreto convencional tiene una variabilidad menor entre especímenes de concreto y que se logran concretos de mejores resistencia con este material para relaciones a/c bajas aun cuando los cilindros se realicen de forma manual.

4.6 ESTABLECIMIENTO DEL TAMAÑO DE MUESTRA DEFINITIVA

Figura 51. Cilindros muestra final



Con la media igual a 260,09 kgf/cm² (3692 Psi.), y la desviación estándar muestral de 7,90 kgf/cm² (112 Psi.) obtenidos del ensayo de compresión simple para especímenes de concreto reciclado, se establece el tamaño muestral total, cabe señalar que los ensayos de la prueba piloto hacen parte del total de ensayos requeridos para la muestra definitiva²³. Siguiendo el procedimiento para encontrar el tamaño muestral a partir de la media y la desviación estándar, se aplica la siguiente fórmula:

$$n = \frac{z^2 * (f * s)^2}{e^2}$$

Donde,

Z²= El nivel de confianza o seguridad (1- α) prefijado da lugar a un coeficiente (Z). Para una seguridad del 95% = 1,96; para una seguridad del 99% = 2,58.

S= Desviación estándar.

f= Factor de modificación de la desviación estándar establecido en la norma NSR-98 en la tabla C 5-1 cuando hay disponibles menos de 30 ensayos.

e= El error o porcentaje de error equivale a elegir una probabilidad de aceptar una hipótesis que sea falsa como si fuera verdadera, o la inversa; Comúnmente se aceptan entre el 4% y el 6% como error sin embargo está establecido que para la fabricación de concreto es el 5%, tomando en cuenta de que no son complementarios la confianza y el error.

²³ Disponible en Internet: www.wikipedia.com

Teniendo en cuenta los anteriores datos, se obtiene lo siguiente tabla

Tabla 37. Tamaño muestral definitivo

Confiabilidad	99,73%	99,73%	99,00%	99,00%	98,00%	98,00%	96,00%	96,00%	95,00%	95,00%
Factor Z	3,00	3,00	2,58	2,58	2,33	2,33	2,05	2,05	1,96	1,96
Ensayos prueba piloto	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Factor NSR-98 Tabla C 5-1	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
Porcentaje de error	5,0%	3,0%	5,0%	3,0%	5,0%	3,0%	5,0%	3,0%	5,0%	3,0%
Error Kg/cm²	13,00	7,80	13,00	7,80	13,00	7,80	13,00	7,80	13,00	7,80
Error Psi.	184,58	110,75	184,58	110,75	184,58	110,75	184,58	110,75	184,58	110,75
Tamaño de muestra	5	13	4	10	3	8	2	6	2	6

Como puede observarse en la tabla 37, se realiza el análisis estadístico para diferentes grados de confiabilidad, siguiendo los parámetros de la norma NSR -98 en la tabla C 5-1 donde especifica que se debe aplicar un factor de modificación para la desviación estándar cuando hay disponibles menos de 30 ensayos, esto no es requerimiento del análisis estadístico, pero se implementa como factor de seguridad, se analizan también dos porcentajes de error con el fin de considerar su influencia, cabe resaltar que el porcentaje de error normal para la fabricación de concreto está alrededor del 5% y un error más pequeño significa un tamaño muestral más grande y por lo tanto una mayor exactitud.

Por lo que se toma como resultado entonces que el nivel de confiabilidad óptimo será el de 95% y un error de 3,0% con lo que se obtiene un tamaño muestral de 6 cilindros, una cantidad mucho menor que el número de cilindros realizados para la prueba piloto, por tal razón se optó por realizar 12 cilindros, la misma cantidad de muestra estimada para la prueba piloto.

4.7 ELABORACIÓN DE ENSAYOS DEFINITIVOS

Debido a que el análisis estadístico indica como resultado la elaboración de 12 cilindros de concreto con agregado reciclado para que sean fallados a compresión simple, se procede a la dosificación de materiales para las relaciones a/c de 0,50 y 0,55 respectivamente, estas dosificaciones se realizan siguiendo el método de dosificación de mezclas de concreto antes descrito, y con sus respectivas correcciones por humedad de materiales y asentamiento.

Las memorias de cálculo de los diseños de mezclas con relaciones a/c de 0,50 y 0,55 se encuentran en los Anexo B.

El resultado de este proceso se obtiene las siguientes dosificaciones óptimas para las diferentes relaciones a/c.

Tabla 38. Proporciones por peso para un diseño de mezcla con agregado reciclado y una relación a/c 0,5

MATERIAL	Proporciones	Peso Seco (kgf)	Peso Húmedo (kgf)	Agua de Agregado.	Agua de Absorción	Agua Libre	Aporte
AGUA	0,50	24,35	–				
CEMENTO	1,00	48,70	–				
AG.FINO	2,84	138,18	142,74	4,56	6,38	-1,82	
AG.GRUESO	2,46	119,82	119,82	0,00	6,49	-6,49	-8,32

Tabla 39. Proporciones por peso para un diseño de mezcla con agregado reciclado y una relación a/c 0,55

MATERIAL	Proporciones	Peso Seco (kgf)	Peso Húmedo (kgf)	Agua de Agregado.	Agua de Absorción	Agua Libre	Aporte
AGUA	0,55	24,35	–				
CEMENTO	1,00	44,27	–				
AG.FINO	3,21	142,04	146,72	4,69	6,56	-1,87	
AG.GRUESO	2,71	119,82	119,82	0,00	6,49	-6,49	-8,37

Con las anteriores proporciones en peso seco se obtienen las siguientes cantidades de materiales para la fabricación de 2 cilindros de concreto con un desperdicio.

Tabla 40. Pesos finales de materiales según relación $a/c = 0,5$

a/c = 0,50	MATERIAL	PESO	
	Agua de mezcla teórica	32,67	kg
	Cemento	48,70	kg
	Agregado fino	142,74	kg
	Agregado Grueso	119,82	kg

Tabla 41. Pesos finales de materiales según relación $a/c = 0,55$

a/c = 0,55	MATERIAL	PESO	
	Agua de mezcla teórica	32,72	kg
	Cemento	44,27	kg
	Agregado fino	146,72	kg
	Agregado Grueso	119,82	kg

Para el análisis del concreto fabricado con agregado tradicional se tomaron las mismas cantidades de materiales reemplazando para cada caso, el peso del agregado grueso por material convencional.

Todos los especímenes de concreto se colocaron a curado según la norma NTC 3512 (CUARTOS DE MEZCLADO, CAMARAS Y CUARTOS HUMEDOS Y TANQUES PARA EL ALMACENAMIENTO DE AGUA, EMPLEADOS EN LOS ENSAYOS DE CEMENTOS HIDRÁULICOS Y CONCRETOS).y posteriormente se sometieron al ensayo de compresión simple según la normas NTC 673 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS NORMALES DE CONCRETO)

5. ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO FABRICADO CON AGREGADOS RECICLADOS

Partiendo de la necesidad de observar el comportamiento mecánico de los agregados reciclados dentro de la estructura de concreto, se exponen las propiedades más importantes del concreto no convencional en estado fresco, como son su manejabilidad, la segregación y el peso volumétrico.

En estado endurecido se presenta la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad. Todas estas propiedades dependen en gran medida de las materias primas utilizadas para la elaboración del concreto y de las proporciones de las mezclas. A continuación se describen estas propiedades.

5.1.1 Comportamiento del concreto en estado fresco:

Manejabilidad o trabajabilidad: La manejabilidad es el grado de facilidad o dificultad con que el concreto puede ser mezclado, manipulado, transportado, colocado y terminado, sin que se pierda su homogeneidad y sin segregación ni exudación; También está definida por la norma americana ASTM C125 como “aquella propiedad que determina el esfuerzo requerido para manipular una cantidad de concreto fresco mezclado con una pérdida mínima de homogeneidad”²⁴

La manejabilidad es uno de los factores más difíciles de controlar dentro de los concretos fabricados con agregados reciclados debido a que esta propiedad depende de muchos factores como: la gradación de los agregados, el contenido de agua en la mezcla, la relación a/c, la fluidez de la pasta, el contenido de aire, forma y textura superficial de los agregados.

El ensayo utilizado para medir la manejabilidad es el del asentamiento o “slump” descrito en la norma NTC-396 (“MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO”), empleando el cono de Abrams.

Como se puede visualizar en la siguiente tabla donde se presentan los asentamientos para las diferentes relaciones a/c, es evidente la diferencia marcada que existe en la manejabilidad que presenta el concreto conformado con

²⁴ ANUARIO DE NORMAS American Society for Testing and Materials “C125 Terminología relacionada con el hormigón y áridos para el hormigón”, USA 1980, VOL. 04 pp. 17

agregado natural con respecto al elaborado con agregado reciclado. Los concretos con agregados naturales presentan una mezcla húmedas debido a que este tipo de agregados son mas compactos en su estructura y por esto tiene menor absorción de agua que los agregados reciclados; con respecto a los datos obtenidos en el concreto reciclado esta dentro de los rangos permisibles ($\pm 2,5\text{cm}$) para un asentamiento de 5 cm, de acuerdo a la norma ASTM C-94.

Tabla 42 Asentamientos para un diseño de mezcla con relación a/c = 0,45

Tipo	Descripción	Concreto con agregado Reciclado	Concreto con agregado Natural
Relación a/c	Numero de Muestra	Asentamiento (cm)	Asentamiento (cm)
0,45	1	4,8	14,1
	2	4,3	14,3
	3	5	14
	4	4,6	14,2
	5	5	14,5
	6	5	14

Tabla 43 Asentamientos para un diseño de mezcla con relación a/c = 0,50

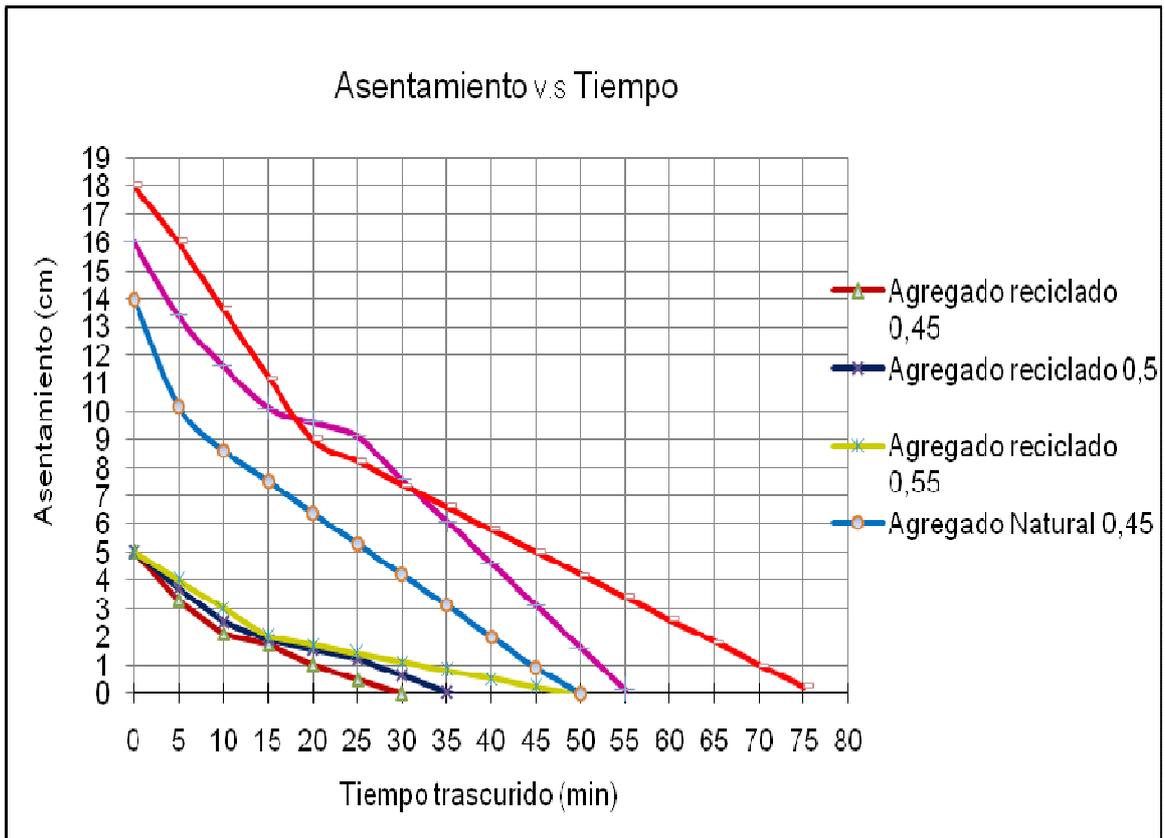
Tipo	Descripción	Concreto con agregado Reciclado	Concreto con agregado Natural
Relación a/c	Numero de Muestra	Asentamiento (cm)	Asentamiento (cm)
0,5	1	5	16,3
	2	5,4	16,5
	3	5,3	16,2
	4	5	16,3
	5	5,1	16
	6	5	16

Tabla 44 Asentamientos para un diseño de mezcla con relación a/c = 0,55

Tipo	Descripción	Concreto con agregado Reciclado	Concreto con agregado Natural
Relación a/c	Numero de Muestra	Asentamiento (cm)	Asentamiento (cm)
0,55	1	5	18,2
	2	5,5	18,5
	3	5	18,5
	4	5	18,3
	5	5,2	18,1
	6	5	18

Si se analiza la gráfica Asentamiento vs Tiempo, los concretos con agregado reciclado poseen una tasa menor de pérdida de asentamiento en el tiempo en comparación con los concretos con agregados natural, para un mismo asentamiento inicial.

Figura 52. Asentamiento vs Tiempo



Segregación: La segregación en una mezcla de concreto se define como la separación de sus constituyentes por falta de cohesividad, de modo que la distribución de las partículas deja de ser continua; dicho en otras palabras, la segregación de un concreto sucede cuando los agregados se separan del resto del concreto.

Las principales causas de la segregación del concreto son las diferencias en los tamaños de las partículas, la densidad de los constituyentes de la mezcla y una mala gradación de los agregados.

A pesar de que no existe una prueba de laboratorio que pueda medir la segregación, la prueba de asentamiento da una idea aproximada para determinar si el concreto presenta segregación, con respecto a los concretos con agregados reciclados se observa que ninguna de las mezclas de concreto presenta segregación.

Peso volumétrico del concreto: Este se obtiene de acuerdo con el procedimiento establecido en la norma ASTM 138 (PESO UNITARIO, RENDIMIENTO, Y CONTENIDO DE AIRE DEL HORMIGON FRESCO),

Los resultados son los siguientes:

Tabla 45. Peso volumétrico para un diseño de mezcla con relación a/c = 0,45

Relación a/c	Muestra	Agregado Reciclado		Agregado Natural	
		Peso volumétrico fresco Kg/m ³	Clasificación RCDF	Peso volumétrico fresco Kg/m ³	Clasificación RCDF
0,45	1	2134,1	Concreto Clase 2	2292,4	Concreto Clase 1
	2	2044,3	Concreto Clase 2	2210,9	Concreto Clase 1
	3	2067,2	Concreto Clase 2	2313,1	Concreto Clase 1
	4	2160,0	Concreto Clase 2	2203,0	Concreto Clase 1
	5	2107,6	Concreto Clase 2	2360,7	Concreto Clase 1
	6	2183,4	Concreto Clase 2	2272,0	Concreto Clase 1

Tabla 46. Peso volumétrico para un diseño de mezcla con relación a/c = 0,50

Relación a/c	Muestra	Agregado Reciclado		Agregado Natural	
		Peso volumétrico fresco Kg/m ³	Clasificación RCDF	Peso volumétrico fresco Kg/m ³	Clasificación RCDF
0,5	1	2114,7	Concreto Clase 2	2174,3	Concreto Clase 2
	2	2097,6	Concreto Clase 2	2202,4	Concreto Clase 1
	3	2076,8	Concreto Clase 2	2140,4	Concreto Clase 2
	4	2154,5	Concreto Clase 2	2149,1	Concreto Clase 2
	5	2098,2	Concreto Clase 2	2205,6	Concreto Clase 1
	6	2173,9	Concreto Clase 2	2211,3	Concreto Clase 1

Tabla 47. Peso volumétrico para un diseño de mezcla con relación a/c = 0,55

Relación a/c	Muestra	Agregado Reciclado		Agregado Natural	
		Peso volumétrico fresco Kg/m ³	Clasificación RCDF	Peso volumétrico fresco Kg/m ³	Clasificación RCDF
0,55	1	2100,0	Concreto Clase 2	2144,3	Concreto Clase 2
	2	2063,6	Concreto Clase 2	2258,4	Concreto Clase 1
	3	2066,5	Concreto Clase 2	2266,4	Concreto Clase 1
	4	2067,9	Concreto Clase 2	2179,0	Concreto Clase 2
	5	2090,2	Concreto Clase 2	2211,3	Concreto Clase 1
	6	2046,2	Concreto Clase 2	2170,5	Concreto Clase 2

Como se puede apreciar en las tablas, el peso volumétrico de los concreto con agregado reciclado son menores en relación con los alcanzados por los concretos con agregados naturales. Esto debido a que el peso volumétrico del concreto varía dependiendo de la densidad relativa del agregado, junto con los contenidos de agua y de cemento en la mezcla, los cuales se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado.

Por otra parte, el concreto con agregado reciclado presenta valores de peso volumétrico en estado fresco en un rango de 1900 y 2200 kg/m³; se clasifica como concreto de resistencia normal empleado para fines estructural clase dos²⁵ según El reglamento de construcción del Distrito Federal de México NRF-157 (CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO). .

5.1.2 Comportamiento del concreto en estado endurecido:

Adhesión: Se conoce con el nombre de adhesión en la interface agregado- pasta a la interacción que existe en la zona de contacto agregado-pasta la cual es producida por fuerza de origen físico-química.

Esta depende de la calidad de la pasta y en gran medida, del tamaño forma rigidez y textura de las partículas de agregado. A pesar que las normas colombianas no especifican un método que permita medir la buena o mala adherencia de los agregados, es claro que aumenta con la rugosidad de las partículas.

En el concreto con agregado reciclado se logra la adhesión entre la pasta de cemento endurecida y los agregados, esto se ve reflejado en los valores de resistencia al concreto.

²⁵ Véase Glosario

Figura 53. Imagen de Adherencia del concreto reciclado



5.1.2.1 Resistencia a la compresión. La resistencia a compresión simple del concreto es la capacidad del mismo para resistir esfuerzos de compresión y constituye una de sus propiedades más importantes, debido a que a partir de ella son evaluadas otras características mecánicas.

En términos generales, la gran mayoría de estructuras son diseñadas bajo la suposición de que el concreto resiste únicamente esfuerzos de compresión, por consiguiente para propósitos de diseño estructural, la resistencia a la compresión es el criterio de calidad, y de allí que los esfuerzos de trabajo estén prescritos por los códigos en términos de porcentajes de la resistencia a la compresión.

Debido a que el objetivo de la presente investigación es obtener mezclas de concreto con una resistencia a la compresión simple entre 2.500 – 3.000 Psi., se toma un valor de relación a/c de 0,55 según la figura 11.4 “Correspondencia entre la resistencia a compresión y relación agua – cemento”²⁶ con el fin de alcanzar una resistencia a la compresión de 3.000 Psi. y las relaciones de 0,50 y 0,45 se toman según investigaciones previas de concretos con agregados reciclados donde se establece que estos concretos tienden a obtener resistencias mayores a relaciones a/c menores a 0,5.

²⁶ SANCHEZ, Diego. “Tecnología del Concreto y del Mortero”. Bhandar Editores. Biblioteca de la Construcción, 1 ed. 237 p.

Los valores de resistencia a compresión de las mezclas de concreto se obtienen siguiendo el procedimiento establecido en la norma NTC 676 “ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CILINDROS NORMALES DE CONCRETO” y se presentan en las tablas 48, 49 y 50.

Figura 54. Resistencia a la compresión simple



Tabla 48 Resistencia a la compresión de los concretos con relación a/c 0,45. Para una resistencia especificada (2500-3000) Psi.

Numero	Tipo	Concreto con agregado reciclado		Concreto con agregado natural		Reducción de resistencia (%)
		Resistencia (kgf/cm ²)	Resistencia (Psi.)	Resistencia (kgf/cm ²)	Resistencia (Psi.)	
1	0,45	252,79	3588	276,72	3928	8,65
	0,45	268,23	3807	271,62	3855	1,25
2	0,45	267,6	3798	271,51	3854	1,44
	0,45	262,53	3726	271,73	3857	3,39
3	0,45	263,14	3735	274,58	3897	4,17
	0,45	249,55	3542	269,52	3825	7,41
4	0,45	247,86	3518	272,72	3871	9,12
	0,45	249,61	3543	267,6	3798	6,72
5	0,45	264,83	3759	276,78	3928	4,32
	0,45	264,83	3759	276,62	3926	4,26
6	0,45	261,22	3708	274,56	3897	4,86
	0,45	268,93	3817	276,71	3927	2,81
Promedio de Resistencia		260,1	3691,7	273,4	3880,3	4,9

Tabla 49 Resistencia a la compresión de los concretos con relación a/c 0,50. Para una resistencia especificada (2500-3000) Psi.

Numero	Tipo	Concreto con agregado reciclado		Concreto con agregado natural		Reducción de resistencia
Muestra	Relación a/c	Resistencia (kgf/cm ²)	Resistencia (Psi.)	Resistencia (kgf/cm ²)	Resistencia (Psi.)	(%)
1	0,5	248,93	3533	220,58	3131	-12,85
	0,5	228,48	3243	218,92	3107	-4,36
2	0,5	225,28	3198	164,18	2330	-37,22
	0,5	218,47	3101	177,04	2513	-23,40
3	0,5	234,13	3323	233,88	3320	-0,10
	0,5	243,97	3463	228,54	3244	-6,75
4	0,5	219,73	3119	260,48	3697	15,64
	0,5	252,27	3581	237,66	3373	-6,15
5	0,5	228,76	3247	249,94	3547	8,47
	0,5	236,15	3352	246,72	3502	4,28
6	0,5	246,17	3494	197,84	2808	-24,43
	0,5	245,11	3479	189,29	2687	-29,49
Promedio de Resistencia		235,62	3344	218,76	3105	-9,70

Tabla 50. Resistencia a la compresión de los concretos con relación a/c 0,55. Para una resistencia especificada (3000) Psi.

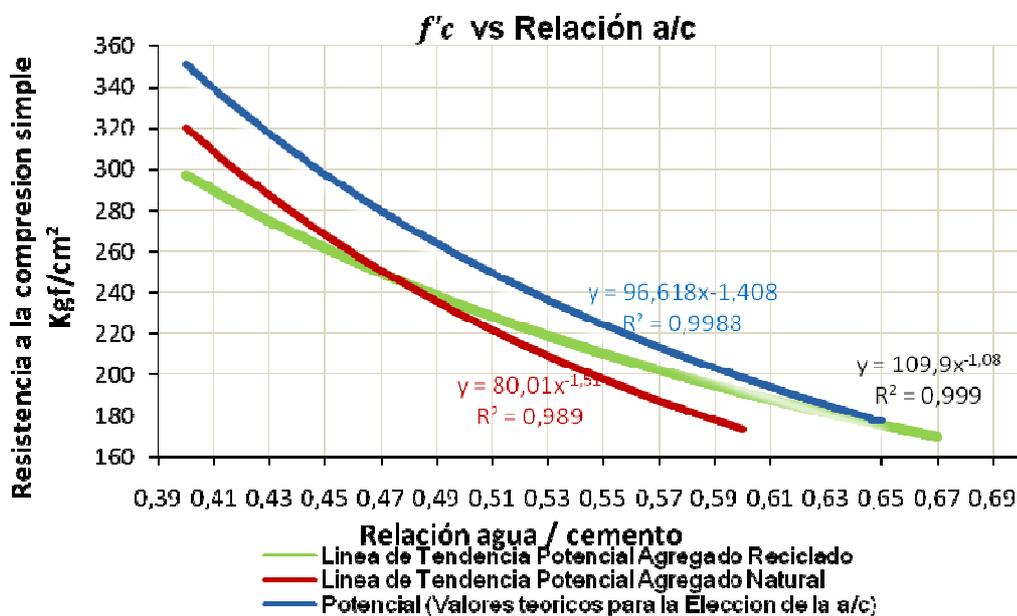
Numero	Tipo	Concreto con agregado reciclado		Concreto con agregado natural		Reducción de resistencia
Muestra	Relación a/c	Resistencia (kgf/cm ²)	Resistencia (Psi.)	Resistencia (kgf/cm ²)	Resistencia (Psi.)	(%)
1	0,55	213,30	3027	226,76	3218	5,93
	0,55	220,84	3135	241,49	3428	8,55
2	0,55	200,62	2848	172,60	2450	-16,24
	0,55	198,97	2824	165,82	2354	-19,99
3	0,55	214,17	3040	193,01	2739	-10,96
	0,55	208,27	2956	203,57	2889	-2,31
4	0,55	204,90	2908	198,14	2812	-3,41
	0,55	213,30	3027	207,57	2946	-2,76
5	0,55	216,78	3077	215,44	3058	-0,62
	0,55	217,29	3084	204,97	2909	-6,01
6	0,55	193,41	2745	184,94	2625	-4,58
	0,55	209,93	2980	212,38	3014	1,15
Promedio de Resistencia		209,32	2971	202,22	2870	-4,27

Los primeros resultados de resistencia a la compresión simple de concreto conformado con agregado reciclado para una relación a/c de 0,45 están disminuidos en un rango del (2% a 10%) con respecto al concreto conformado con agregado natural; ratificando la publicación de Jorge Muñoz, en 1975, en la que afirma que “es posible obtener concretos aceptables de buena calidad usando desechos de concreto como agregado grueso cuya resistencia será del orden de 90% de la que se obtendría con un agregado normal para una relación agua/cemento determinada”²⁷.

A pesar de que los resultados iniciales indican que el concreto de agregado reciclado presenta una resistencia menor que el concreto de agregado natural; al variar la relación a/c en 0,50 y 0,55 se presenta el efecto contrario, la resistencia de los concretos reciclados aumenta en promedio con respecto a las resistencia presentada por los concretos naturales en un 9,47% y en un 4,27% para sus respectivas relaciones a/c.

En la Figura 55 resistencia a las compresión ($f'c$) vs relación agua-cemento (a/c) se describe el comportamiento del concreto con agregado natural, el concreto con agregado reciclado y los valores teóricos de resistencia a la compresión vs relación a/c.

Figura 55. Resistencia a la compresión ($f'c$) vs Relación (a/c)



²⁷ MUÑOZ, J “Utilización de desechos de concreto como agregado grueso”. Universidad nacional de ingeniería, 1975, pág. 125.

La reducción de la resistencia en el concreto con agregado natural esta atribuida a la cantidad de agua que requiere el agregado reciclado para lograr la hidratación del cemento, por lo que se observa que para relaciones a/c menores a 0,50 las características físico-mecánicas del agregado predominan en el comportamiento del concreto por lo cual se obtienen mayores resistencias a compresión en los concretos conformados con agregado natural, sin embargo para relaciones a/c mayores a 0,50, la elevada absorción del agregado reciclado disminuye la cantidad de agua de mezclado durante el proceso de hidratación del cemento, razón por la cual, los concretos con agregado reciclado obtienen mayor resistencia a las alcanzadas por los concretos con agregado natural.

De acuerdo al diseño de mezclas realizado al concreto con agregado reciclado y sus posteriores resultados de resistencia a la compresión simple para las diferentes relaciones a/c, se indican en la tabla 51 las proporciones en volumen suelto en función de la resistencia obtenida.

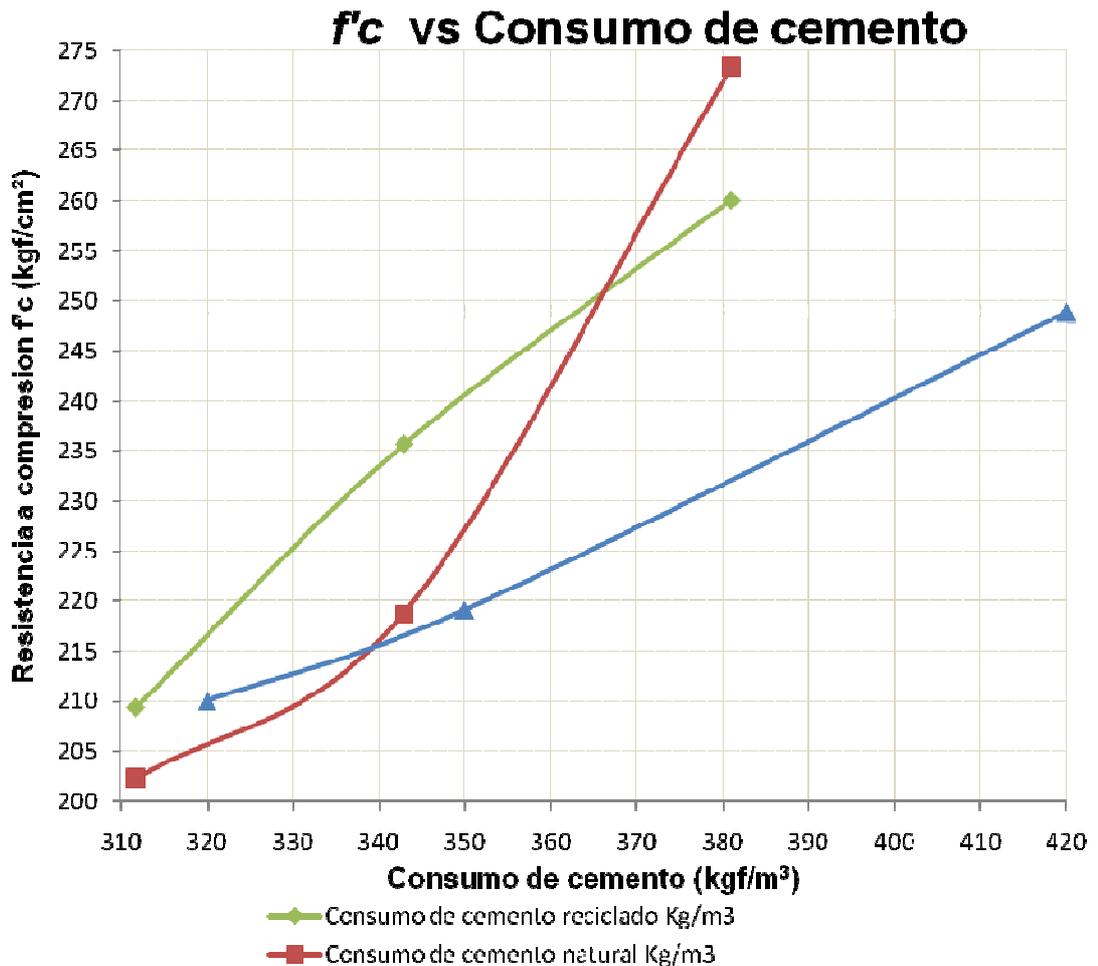
Tabla 51 Tabla de proporciones en volumen suelto en función de la resistencia especificada

Proporción en volumen suelto	Cemento		Agua (lt)	Agregado fino (m^3/m^3)	Agregado Grueso (m^3/m^3)	Resistencia (Psi.)	Resistencia (kgf/cm^2)
	kgf	Bulto					
1:1,97:1,92	380,99	7,60	171,45	0,72	0,70	3.692	258,44
1:2,16:2,05	357,76	7,20	168,15	0,74	0,70	3.500	245
1:2,27:2,13	342,80	6,90	171,45	0,75	0,70	3.344	234,08
1:2,43:2,25	317,49	6,34	175,06	0,76	0,70	3.000	210
1:2,57:2,35	311,72	6,20	171,45	0,77	0,70	2.971	207,97

De la anterior tabla se observa que para lograr un concreto reciclado con una resistencia a la compresión simple de 3.000 Psi. ($210 kgf/cm^2$) se requiere un consumo de cemento de 317,5 kgf (6,3 bultos), valor que es menor al empleado tradicionalmente de 350 kgf (7 bultos), así mismo para lograr una resistencia a la compresión de 3.500 Psi. ($245 kgf/cm^2$), se requiere un consumo de cemento de 357,76 kgf (7,2 bultos), valor que es menor al empleado tradicionalmente de 380 kgf (7,6 bultos).

La siguiente gráfica representa el comportamiento de la resistencia del concreto con agregado reciclado y el concreto con agregado natural frente a la variación en el consumo de cemento.

Figura 56. Resistencia a la compresión ($f'c$) vs Contenido de cemento



El gráfico indica que a consumos de cemento menores a 365 kgf/m³, el concreto con agregado reciclado obtiene mayores resistencias a la compresión y un comportamiento eficiente frente a los concretos con agregado natural, lo cual corrobora que el concreto reciclado tiene mayores resistencias cuanto mayor sea la relación a/c.

5.1.2.2 Resistencia a la flexión. Aunque la resistencia a la compresión ha sido el factor relevante en el análisis del desempeño de un concreto, actualmente es necesario otro tipo de confrontaciones como el esfuerzo a la flexión. Pruebas a las que el concreto reciclado con escombros ha mostrado un alentador desempeño

La resistencia a la flexión “Es una medida de la resistencia a la tracción del concreto”²⁸: En los métodos de diseño de pavimentos de concreto, se considera la resistencia a la flexión, medida a 28 días, evaluada mediante su módulo de rotura, como uno de los parámetros para determinar el espesor de los pavimentos debido a que la flexión en los pavimentos de concreto hidráulico, bajo las cargas aplicadas por los neumáticos, producen esfuerzos de compresión y tensión. Los esfuerzos de compresión son pequeños en relación de la misma, y sin mayor incidencia en el espesor de la losa, por lo tanto el concreto hidráulico que se utiliza en los pavimentos se especifica por su resistencia a la flexión,

Comúnmente se evalúa por medio de ensayos de flexión sobre vigas de sección cuadrada de 15 cm de lado y 45 cm de longitud, con cargas aplicadas en los tercios de la luz. El procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la flexión de concreto es que estipula la norma I.N.V.E.- 414 (RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO METODO DE VIGA SIMPLE CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ).

Figura 57 Ensayo a la flexión con cargas en dos puntos.



²⁸ Altamirano, L. “Pavimentos rígidos” Chile 2003, pág. 35

La resistencia a la flexión o módulo de rotura de concreto con agregado se calcula mediante la siguiente fórmula siempre y cuando la falla ocurra dentro del tercio medio de la luz libre de la viga:

$$f_r = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

f_r = **Módulo de rotura en MPa**

P = Carga de rotura aplicada en Newton.

L = Luz entre apoyos extremos en mm

b = Ancho de viga en mm.

d = Altura de la viga en mm.

Los resultados de módulo de rotura para los diferentes diseños de mezclas de concreto con agregado reciclado, se resumen en las tablas 53,54 y 55.

Tabla 52. Resistencia a la flexión en concretos con agregado reciclado. Para un diseño de mezcla con una relación a/c = 0,45

No. Muestra	Tipo Relación a/c	Carga aplicada Newton (N)	Luz entre apoyos (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Módulo de rotura (MPa)	Módulo de rotura (Kgf/cm ²)
1	0,45	28420	450	150	150	3,8	37,9
2	0,45	27440	450	150	150	3,7	36,6
3	0,45	31458	450	150	150	4,2	41,9
4	0,45	30635	450	150	150	4,1	40,8
5	0,45	33986	450	150	150	4,5	45,3
6	0,45	34045	450	150	150	4,5	45,4
7	0,45	34898	450	150	150	4,7	46,5
8	0,45	34976	450	150	150	4,7	46,6
9	0,45	30870	450	150	150	4,1	41,2
10	0,45	32046	450	150	150	4,3	42,7
11	0,45	31997	450	150	150	4,3	42,7
12	0,45	32193	450	150	150	4,3	42,9
Promedio de Resistencia						4,3	42,6

Tabla 53. Resistencia a la flexión en concretos con agregado reciclado. Para un diseño de mezcla con una relación a/c = 0,5

No. Muestra	Tipo Relación a/c	Carga aplicada Newton (N)	Luz entre apoyos (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Módulo de rotura (MPa)	Módulo de rotura (Kgf/cm ²)
1	0,5	24833	450	150	150	3,3	33,1
2	0,5	24676	450	150	150	3,3	32,9
3	0,5	28244	450	150	150	3,8	37,7
4	0,5	26842	450	150	150	3,6	35,8
5	0,5	30762	450	150	150	4,1	41,0
6	0,5	29037	450	150	150	3,9	38,7
7	0,5	31585	450	150	150	4,2	42,1
8	0,5	31605	450	150	150	4,2	42,1
9	0,5	27636	450	150	150	3,7	36,8
10	0,5	27734	450	150	150	3,7	37,0
11	0,5	28518	450	150	150	3,8	38,0
12	0,5	29135	450	150	150	3,9	38,8
Promedio de resistencia a la flexión						3,8	37,8

Tabla 54. Resistencia a la flexión en concretos con agregado reciclado. Para un diseño de mezcla con una relación a/c = 0,55

No. Muestra	Tipo Relación a/c	Carga aplicada Newton (N)	Luz entre apoyos (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Módulo de rotura (MPa)	Módulo de rotura (Kgf/cm ²)
1	0,55	25068	450	150	150	3,3	33,4
2	0,55	24931	450	150	150	3,3	33,2
3	0,55	25166	450	150	150	3,4	33,6
4	0,55	25882	450	150	150	3,5	34,5
5	0,55	27411	450	150	150	3,7	36,5
6	0,55	26264	450	150	150	3,5	35,0
7	0,55	27166	450	150	150	3,6	36,2
8	0,55	27440	450	150	150	3,7	36,6
9	0,55	24990	450	150	150	3,3	33,3
10	0,55	24794	450	150	150	3,3	33,1
11	0,55	25970	450	150	150	3,5	34,6
12	0,55	25774	450	150	150	3,4	34,4
Promedio de Resistencia a la flexión						3,5	34,5

La resistencia a la compresión simple se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, “para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2,65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión”²⁹, partiendo de este concepto los resultados de resistencia a la flexión en concretos con agregado reciclado indican valores por encima de este valor.

El INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO recomienda que “Los valores de resistencia a flexión con los que se debe diseñar pavimentos debe variar entre 3,8 MPa a 6 MPa”³⁰ los resultados de los concretos no convencionales son buenos debido a que presentan valores promedios de módulo de rotura con un intervalo de 3,5 Mpa a 4,3 Mpa;

En Colombia el INSTITUTO NACIONAL DE VIAS (INVIAS) junto con El INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO (ICPC) y el MINISTERIO DE TRANSPORTE publicaron el MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito; en el capítulo 3 “características del concreto para pavimentos”³¹ presentan los valores de resistencia a la flexión que deben alcanzar los concretos para el diseño de pavimentos

Figura 58 Resistencia que debe alcanzar el concreto (INVIAS)

Calidad del Concreto	Número de camiones por día			
	> 300	150 -300	25 - 150	< 25
A flexión (MPa)	4.5	4.2	4.0	3.8

Los valores de resistencia a la flexión en la tabla indican que los concretos con agregado reciclado son adecuados para el diseño de pavimentos donde el tráfico sea menor de 300 camiones por día, esto convierte a los concretos no convencionales en una alternativa de diseño de pavimentos

Los resultados de módulo de rotura, demuestran la investigaciones del profesor de materiales Buck “La resistencia al esfuerzo de la flexión del concreto que incluyó áridos reciclados es igual y en algunos casos mayor que la arrojada por la mezcla de referencia”³²

²⁹SANCHEZ, Diego. “Tecnología del Concreto y del Mortero, 1 ed. 128 p

³⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO “Presentación CPC_M2/2”

³¹ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS “manual de diseño de pavimentos de concreto” pag 82-83

³² BUCK,A “Recycled Concrete as a source of aggregate” Germany 1977, pp. 212-220

5.1.2.3 Módulo de elasticidad estático (NTC 4025):

Figura 59 Ensayo de módulo de elasticidad y relación de poisson



Se define el módulo de elasticidad estático del concreto como la pendiente de la parte inicial de la curva esfuerzo-deformación unitaria del concreto y aumenta con la resistencia del concreto a compresión simple. Para su determinación se emplea el denominado *módulo secante*, que se obtiene de la pendiente de la recta que une el origen de la curva de esfuerzos vs deformación unitaria del concreto, con un punto correspondiente a un esfuerzo de $0,45 f'c$.

Esta propiedad del concreto es importante en el análisis estructural para la predicción de las deflexiones producidas por cargas de corta duración en los elementos a flexión y aunque es un valor que es variable según la resistencia del concreto a compresión, su valor puede asumirse como 200.000 kg/cm^2 , para muchos casos en que no sea necesaria demasiada precisión, la NSR-98 sugiere un expresión para su cálculo de: $E_c = 3.900 \cdot \sqrt{f'c}$ (en MPa) (C.8-2d*) como un valor promedio de la información nacional experimental sin distinguir por tipo de agregado.

Según la metodología descrita en la norma NTC 4025 (MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y LA RELACIÓN DE POISSON EN CONCRETO A COMPRESIÓN), se realizaron los ensayos los cuales dieron como resultado los siguientes datos

Tabla 55: Características físicas de especímenes para ensayo de módulo de elasticidad

Cilindro No.	a/c	Peso (Kgf)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Volumen (cm³)	Peso volumétrico (Kgf/m³)
7	0,5	12,07	15,67	30,30	192,81	5.842,28	2.065,97
8	0,5	11,88	15,40	31,00	186,27	5.774,23	2.057,42
9	0,5	11,87	15,46	31,40	187,65	5.892,23	2.014,86
10	0,5	11,08	14,96	30,30	175,88	5.329,07	2.078,79
11	0,5	11,55	15,20	31,00	181,50	5.626,62	2.052,21
12	0,5	11,51	15,25	31,10	182,72	5.682,56	2.024,97
19	0,55	11,76	15,34	31,20	184,92	5.769,39	2.038,35
20	0,55	11,61	15,27	31,00	183,08	5.675,61	2.044,71
21	0,55	11,06	14,65	31,10	168,64	5.244,68	2.108,80
22	0,55	11,08	14,98	31,00	176,15	5.460,52	2.029,66
23	0,55	11,60	15,37	30,70	185,47	5.693,86	2.036,41
24	0,55	11,80	15,38	31,20	185,80	5.797,12	2.035,50

Los cilindros señalados corresponden a la pareja escogida para realizar el ensayo y determinar así el módulo de elasticidad, con su pareja se obtiene la resistencia a la compresión simple que sirve como base de cálculo para obtener el 40% y 80% de la carga máxima aplicada durante el ensayo de módulo de elasticidad para cada ciclo de carga y descarga, y así obtener la curva esfuerzo vs deformación unitaria.

La fórmula para el cálculo del módulo de elasticidad es:

$$E_c = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0.00005)}$$

Donde:

E_c , Módulo de elasticidad secante, MPa.

S_2 , Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última. Mpa.

S_1 , Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal, ϵ_1 de las 50 millonésimas MPa.

ϵ_2 , Deformación longitudinal producida por el esfuerzo S_2 .

Tabla 56 Resultados del ensayo de módulo de elasticidad

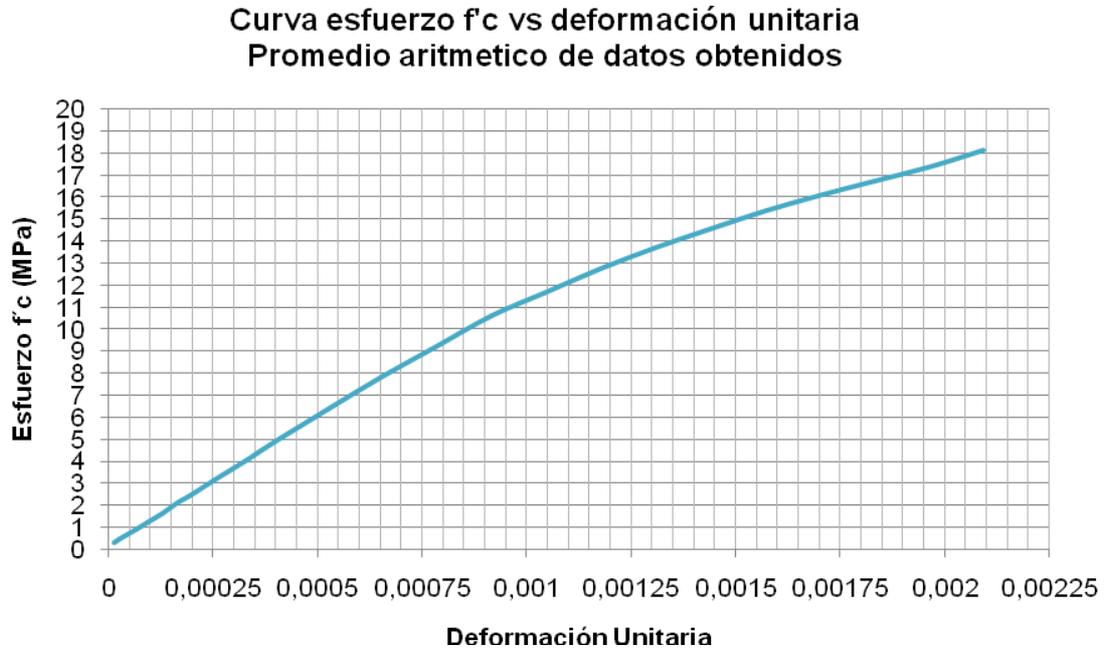
Cilindro No.	a/c	Resistencia compresión (kg/cm²)	Módulo de Elasticidad de ensayo (Mpa) 3.900*√f'c	Módulo de Elasticidad de ensayo (MPa)	Porcentaje de diferencia (%)
7	0,50	230,22	18.712,73	12.233,50	35%
8	0,50	246,42	-	-	-
9	0,50	217,05	18.169,66	11.114,04	39%
10	0,50	231,98	-	-	-
11	0,50	239,55	-	-	-
12	0,50	213,72	18.029,49	11.807,19	35%
Promedio				11.718,24	36%

Cilindro No.	a/c	Resistencia compresión (kg/cm²)	Módulo de Elasticidad de ensayo (Mpa) 3.900*√f'c	Módulo de Elasticidad de ensayo (MPa)	Porcentaje de diferencia (%)
19	0,55	206,47	17.721,28	11.961,92	32%
20	0,55	224,21	-	-	-
21	0,55	234,17	-	-	-
22	0,55	208,41	17.804,13	11.126,88	38%
23	0,55	208,45	-	-	-
24	0,55	199,78	17.431,71	11.851,90	32%
Promedio				11.646,90	34%

Los datos iniciales para realizar el ensayo de módulo de elasticidad y los correspondientes resultados para cada cilindro se encuentran descritos en el Anexo C.

A continuación se indica la gráfica de “Esfuerzo vs deformación unitaria” obtenida de los esfuerzos promedio en los diferentes ensayos de módulo de elasticidad.

Tabla 57. Curva esfuerzo vs deformación unitaria (promedio aritmético de datos obtenidos)



De los resultados obtenidos en el ensayo, se destaca una disminución del módulo de elasticidad estático en los concretos con agregado reciclado del 35% respecto a los valores obtenidos según la norma NSR-98 $E_c = 3.900 \cdot \sqrt{f'c}$ (en MPa)(C.8-2d*) para agregados naturales, originando mayores deflexiones para los elementos estructurales sometidos a flexión conformados con este material.

5.1.2.4 Relación de Poisson (NTC 4025). Es el valor de la relación entre la deformación transversal y la deformación axial correspondiente resultante del esfuerzo axial uniformemente distribuido por debajo del límite de proporcionalidad del material.

$$\mu = \frac{(\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1})}{(\varepsilon_2 - 0.00005)}$$

Donde:

μ , Relación de Poisson

ϵ_{t2} , Deformación transversal en la altura media del espécimen producida por el esfuerzo S_2 .

ϵ_{t1} , Deformación transversal en la altura media del espécimen producida por el esfuerzo S_1 .

Los datos del ensayo para determinar la relación de Poisson se encuentran en el Anexo C, con los cuales se obtiene los siguientes resultados.

Tabla 58 Relación de poisson para concreto con agregado reciclado

<i>Cilindro No.</i>	<i>a/c</i>	<i>Relación de Poisson de ensayo</i>	<i>Relación de Poisson NSR-98</i>	<i>Diferencia en porcentaje</i>
7	0,50	0,26	0,20	28%
9	0,50	0,24	0,20	18%
12	0,50	0,25	0,20	25%
	Promedio	0,25	0,20	24%

<i>Cilindro No.</i>	<i>a/c</i>	<i>Relación de Poisson de ensayo</i>	<i>Relación de Poisson NSR-98</i>	<i>Diferencia en porcentaje</i>
19	0,55	0,24	0,20	18%
22	0,55	0,24	0,20	19%
24	0,55	0,27	0,20	34%
	Promedio	0,25	0,20	24%

Se observa que aumenta la relación de poisson un 24% para los concretos reciclados en comparación con los concretos con agregado natural, lo que significa que los concretos reciclados tienen una mayor deformación horizontal para una misma deformación vertical, haciéndolos mas elásticos al momento de soportar esfuerzos.

5.1.2.5 Prueba de pulso ultrasónico o velocidad de onda (NTC 4325):

Figura 60 Ensayo de pulso ultrasónico



Este ensayo es un método no destructivo, el cual consiste en la medición del tiempo en que un pulso ultrasónico de vibración longitudinal atraviesa el concreto, se usa para determinar la uniformidad del concreto, para medir y detectar agrietamientos, así como los vacíos y otros defectos del concreto, para medir los cambios en las propiedades del concreto a través del tiempo, además de medir el deterioro del concreto ocasionado por el fuego, y realizar.

La velocidad de onda, también es usada por algunos autores para determinar la calidad del concreto, basándose en que a la medida que un concreto tenga un peso unitario alto su resistencia es superior (siempre y cuando la densidad del agregado sea constante) por poseer mayor contenido de cemento, esta clasificación se resume en la siguiente tabla.

Tabla 59 Clasificación de la calidad del concreto de peso normal con base en la velocidad de pulso ultrasónico

Velocidad (m/seg)	Calidad del concreto
Más de 4.500	Excelente
3.500 - 4.500	Bueno
3.000 - 3.500	Regular
2.000 - 3.000	Malo
Menos de 2.000	Muy Malo

Los resultados obtenidos en el ensayo se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 60 Resultados de ensayo de velocidad de onda

Cilindro No.	a/c	Altura (cm)	Tiempo (μs)	Velocidad de onda (Km/s)	Resistencia a compresión (kg/cm^2)	
7	0,50	30,30	82,55	3,67	230,22	
8	0,50	31,00	83,38	3,72	246,42	
9	0,50	31,40	82,65	3,80	217,05	
10	0,50	30,30	82,90	3,66	231,98	
11	0,50	31,00	85,23	3,64	239,55	
12	0,50	31,10	84,45	3,68	213,72	
				Promedio	3,69	229,82

Cilindro No.	a/c	Altura (cm)	Tiempo (μs)	Velocidad de onda (Km/s)	Resistencia a compresión (kg/cm^2)	
19	0,55	31,20	82,30	3,79	206,47	
20	0,55	31,00	82,17	3,77	224,21	
21	0,55	31,10	83,30	3,73	234,17	
22	0,55	31,00	80,87	3,83	208,41	
23	0,55	30,70	81,20	3,78	208,45	
24	0,55	31,20	82,60	3,78	199,78	
				Promedio	3,78	213,58

Según los resultados obtenidos en el ensayo de pulso ultrasónico el concreto elaborado a partir de agregado reciclado se clasifica en el rango de "Bueno" por poseer una velocidad de onda promedio de 3,7 km/seg para una relación a/c de 0,50 y de 3.8 km/seg para una relación a/c de 0,55.

5.2 CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

La metodología de diseño de mezclas de concreto y los criterios de aceptación del concreto tiene por objeto asegurar la calidad estructural de la obras. Para ello estos criterios de calidad se fundamentan en dos factores principales: la determinación de la resistencia a la compresión y la aplicación de las técnicas de control estadístico de calidad

Los procedimientos estadísticos proporcionan valiosos medios para evaluar el comportamiento de los resultados obtenidos en la resistencia a la compresión de cilindros; para esto se procede a elaborar tablas de análisis de resultados de resistencias, en las que se contemplan campos como:

La relación agua-cemento (a/c): utilizada en el diseño de la mezcla de concreto.

Promedio aritmético (f'_{cr}): es la suma aritmética de los resultados de resistencia de todas las pruebas individuales.

Intervalo promedio R: se determina por la suma aritmética de los intervalos dentro de la prueba dividida entre el número total de pruebas efectuadas.

Desviación estándar (S): como el promedio aritmético es una medida de la tendencia central que caracteriza a un conjunto de pruebas y nos muestra una idea de cuan espaciado están los datos con respecto al promedio aritmético.

Coefficiente de variación (v): es un porcentaje de la dispersión de los datos, está determinado por la siguiente formula.

$$v = S * \frac{100}{f'_{cr}}$$

f'_c = Resistencia nominal del concreto a compresión. Está determinado por las siguientes ecuaciones:

$$f'_c = f'_{cr} + 35 - (2,33*S)$$
$$f'_c = f'_{cr} - (1,34*S)$$

Desviación estándar de la prueba (S1) = se determina mediante la siguiente formula y su valor depende de la cantidad de ensayos (cilindros) dentro de la prueba según los factores indicados en la tabla.

$$S1 = \frac{1}{d^2} * R$$

Tabla 61. Factores para calcular la desviación estándar dentro de la prueba

Numero de cilindros	d^2	$\frac{1}{d^2}$
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299
6	2.534	0.3946
7	2.704	0.3698
8	2.847	0.3512
9	2.970	0.3367
10	3.078	0.3249

Coficiente de variación de la prueba (V1) = esta determinado por la siguiente ecuación

$$V1 = S1 * \frac{100}{f'_{cr}}$$

Tabla 62. Coeficiente de variación del concreto reciclado, para una resistencia promedio de 260 kgf/cm² con una relación a/c = 0,45

Relación a/c	Ensayo No	Resistencia a 28 días (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Promedio. Móvil(kg/cm ²)	Intervalo (kg/cm ²)
0,45	1	253	260,51		15,44
	2	268			
	3	268	265,07	262,88	5,07
	4	263		266,12	
	5	263	256,35	264,42	13,58
	6	250		258,41	
	7	248	248,74	253,52	1,76
	8	250		249,01	
	9	265	264,83	254,10	0,00
	10	265		259,76	
	11	261	265,07	263,63	7,72
	12	269		264,99	
Promedio Aritmético f'_{cr}		260			
Intervalo promedio R					3,63
Desviación estándar (S)		7,90			
Coeficiente de variación (v)		3,0%			
$f'_{c} = f'_{cr} + 35 - (2,33*S)$		277			
$f'_{c} = f'_{cr} - 1,34*S$		250			
Desviación estándar de la prueba (S1)		3,21			
Coeficiente de variación de la prueba (V)		1,2%			

Tabla 63. Coeficiente de variación del concreto reciclado, para una resistencia promedio de 236 kgf/cm² con una relación a/c 0,5

Relación a/c	Ensayo No	Resistencia a 28 días (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Promedio. Móvil(kg/cm ²)	Intervalo (kg/cm ²)
0,5	1	248	238,70		20,45
	2	228			
	3	225	221,87	234,23	6,82
	4	218		224,07	
	5	234	239,05	225,96	9,85
	6	243		232,19	
	7	219	236,00	232,61	32,54
	8	252		238,66	
	9	228	232,46	233,58	7,40
	10	236		239,06	
	11	246	245,64	237,03	1,07
	12	245		242,48	
Promedio Aritmético f'_{cr}		236			
Intervalo promedio R					6,51
Desviación estándar (S)		11,60			
Coeficiente de variación (v)		4,9%			
$f'_{c} = f'_{cr} + 35 - (2,33*S)$		243,60			
$f'_{c} = f'_{cr} - 1,34*S$		220,08			
Desviación estándar de la prueba (S1)		5,77			

Coeficiente de variación de la prueba (V)		2,4%			
---	--	------	--	--	--

Tabla 64. Coeficiente de variación del concreto reciclado, para una resistencia promedio de 209 kgf/cm² con una relación a/c 0,55

Relación a/c	Ensayo No	Resistencia a 28 días (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Promedio. Movil(kg/cm ²)	Intervalo (kg/cm ²)
0,55	1	213	217,07		7,54
	2	221			
	3	201	199,80	211,59	1,65
	4	199		206,81	
	5	214	211,22	204,59	5,90
	6	208		207,14	
	7	205	209,10	209,11	8,40
	8	213		208,82	
	9	217	217,03	211,66	0,51
	10	217		215,79	
	11	193	201,67	209,16	16,52
	12	210		206,88	
Promedio Aritmético f'_{cr}		209			
Intervalo promedio R					3,38
Desviación estándar		8,33			
Coeficiente de variación (v)		4,0%			
$f'_{c} = f'_{cr} + 35 - (2,33*S)$		224,90			
$f'_{c} = f'_{cr} - 1,34*S$		198,15			
Desviación estándar de la prueba (S1)		2,99			

Coeficiente de variación de la prueba (V)		1,4%			
---	--	------	--	--	--

5.2.1 Calificación del control. De acuerdo con las estipulaciones del comité A.C.I 214 y la norma NTC 2275 (PROCEDIMIENTO RECOMENDADO PARA LA EVALUACIÓN DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN), califican el grado de control existente en términos de la desviación estándar y el coeficiente de variación de la prueba. Para tal efecto, el comité de la A.C.I 704 ha preparado tablas que contemplan los valores límites.

Tabla 65. Normas para el control del concreto, con relación a la variación dentro de la prueba

Coeficiente de variación para grados de control, en %				
Excelente	Muy bueno	Bueno	Aceptable	Pobre
Pruebas de control de campo				
por debajo de 3	de 3 a 4	de 4 a 5	de 5 a 6	sobre 6
Mezclas de prueba en el laboratorio				
Por debajo de 2	de 2 a 3	de 3 a 4	de 4 a 5	sobre 5

Tabla 66. Normas para el control del concreto, con relación a la variación total

Desviación estándar para diferentes grados de control, en kg/cm²				
Excelente	Muy bueno	Bueno	Aceptable	Pobre
Pruebas de control de campo				
por debajo de 25	de 25 a 35	de 35 a 40	de 40 a 50	sobre 50
Mezclas de prueba en el laboratorio				
por debajo de 15	de 15 a 17	de 17 a 20	de 20 a 25	sobre 25

5.2.2 Criterios de aceptación. Las normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente (NSR 98) establecen que el concreto debe dosificarse y producirse para asegurar una resistencia característica ($f'c$); como es imposible producir un concreto completamente homogéneo dadas las diferentes causas de variación en sus propiedades, uno de los requerimientos exigidos para la calificación del concreto es que el promedio aritmético $f'cr$ debe ser superior a la resistencia especificada $f'c$.

Partiendo de este concepto y visualizando los resultados presentados en los concretos con agregado reciclado, los promedios aritméticos f'_{cr} de los diseños de mezclas con relaciones a/c 0,45 y 0,55 cumplen con el requerimiento del promedio superior a la resistencia especificada f'_c ; en el segundo caso el diseño de mezcla con relación a/c= 0,5 el promedio aritmético f'_{cr} presenta un resultado inferior que la resistencia especificada f'_c .

Los datos más cercanos para cumplir una resistencia especificada de 2.500 a 3.000 Psi. utilizando concreto con agregado reciclado los tiene el caso 3 (relación a/c= 0,55) además si se desea garantizar al menos 2500 Psi. (175 kg/cm²), con una probabilidad de falla del 1% (según la Norma NSR 98), se deberá diseñar una mezcla con un $f'_{cr} = 209$ kg/cm². Es decir con un factor de sobre diseño de 34 kg/cm² (485.71 Psi).

Adicionalmente a esto los tres diseños de mezclas empleados en la investigación presentan valores promedios aritméticos f'_{cr} de resistencia a la compresión simple que aseguran una resistencia a la compresión alta por encima del valor de resistencia especificado de 2.500 a 3.000 Psi

Con respecto a la desviación estándar de los valores de resistencia a la compresión simple de concretos con agregado reciclado son bajas en todos los casos, las normas para el control del concreto estipuladas por la A.C.I 214 y la norma NTC 2275 (PROCEDIMIENTO RECOMENDADO PARA LA EVALUACIÓN DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN), califican los resultados como "Excelentes" con una desviación estándar (S) por debajo del 15, con respecto al Coeficiente de variación de la prueba (V) se puede decir que las normas mencionadas anteriormente juzgan a los resultados como "Muy bueno" para los dos primeros casos; diseños de mezclas con relaciones a/c= 0,45 y 0,5, el tercer caso al presentar un coeficiente de variación de 3 a 4 las normas lo califican como "Bueno"

De otra parte sabiendo que es improbable que las pruebas de resistencia, obtenidas de un mismo lote de concreto (volumen de concreto compuesto por varias batchadas de una misma clase de concreto, producido con igual diseño, materiales y bajo condiciones similares), arrojen un mismo valor de resistencia, es lógico pensar que los resultados giren alrededor de un valor central y dentro de un rango de valores.

Por esta razón se construyen el gráfico de frecuencias para los resultados de resistencia obtenidas en los diferentes diseños de mezclas.

Figura 61 Distribución de frecuencias de ensayos de resistencia del concreto reciclado para una relación a/c 0,45 y su correspondiente distribución normal

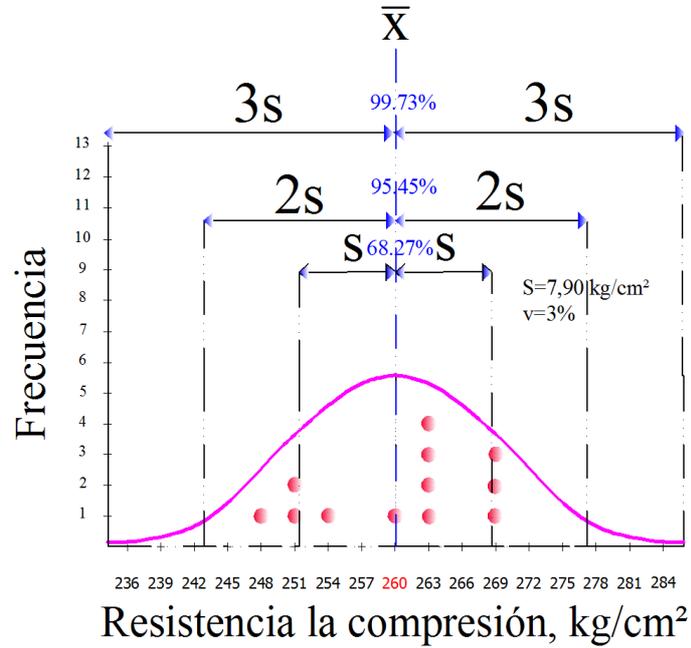


Figura 62. Distribución de frecuencias de ensayos de resistencia del concreto reciclado para una relación a/c 0,5 y su correspondiente distribución normal

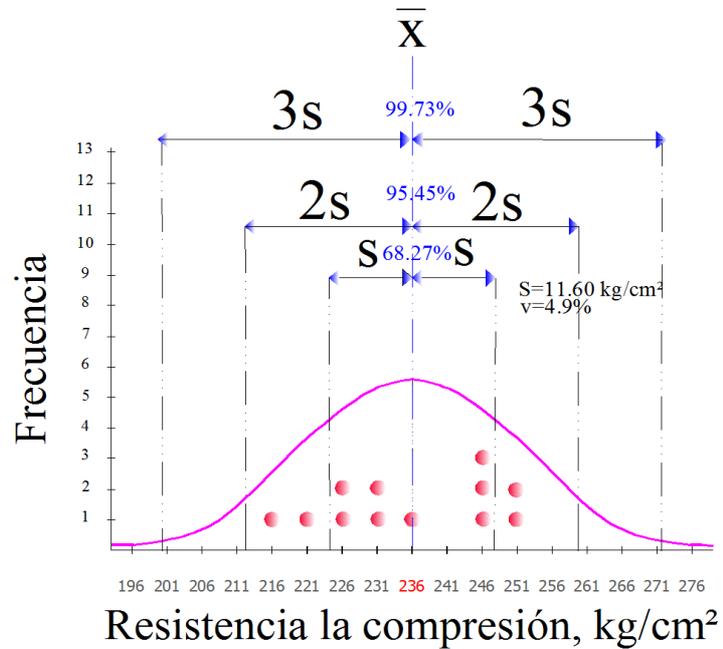
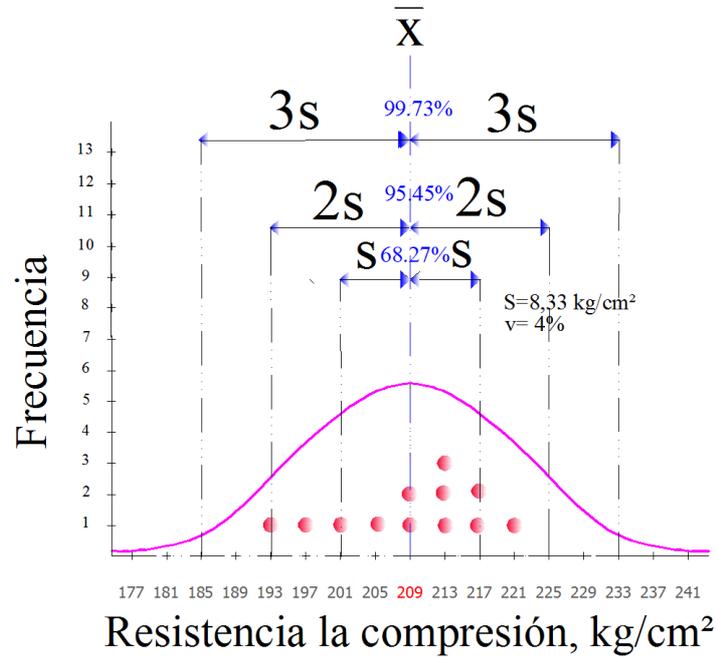


Figura 63. Distribución de frecuencias de ensayos de resistencia del concreto reciclado para una relación a/c 0,55 con su correspondiente distribución normal



En Los diferentes gráficos de “Distribución de frecuencias” se puede visualizar la distribución de los datos los cuales giran alrededor de la media de tendencia central (promedio aritmético); Los resultados de resistencia se encuentran enmarcados dentro de una curva muy definida llamada a su vez “campana de Gauss” la cual permite apreciar que la mayoría de datos se encuentran comprendidos en un radio de acción de $X \pm S$ y que el total de los datos se encuentran enmarcados en un radio de acción de $X \pm 2S$.

Los resultados de los ensayos a compresión en cilindros fabricados a partir de agregados con agregado reciclados presentados en la investigación son buenos en vista que el análisis de control estadístico de calidad concluye en su diferentes criterios de aceptación calificaciones satisfactorias para este tipo de concreto.

6. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PRODUCCIÓN DE AGREGADO NO CONVENCIONAL

Durante la ejecución de un proyecto de construcción, los precios del material a emplearse son objeto de riguroso control, se estudia a continuación la parte económica del proceso de producción del agregado reciclado.

Figura 64. Ejemplo de una planta de producción de agregado



6.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES:

Para la producción del agregado, y teniendo como precedente anteriores investigaciones, donde el material fino (pasante del tamiz No. 4) resultado del reciclaje de estructuras de concreto, no es apto para la conformación de nuevos concretos debido al aumento en los requerimientos de agua para la hidratación del cemento, la planta de reciclaje estimada en el análisis solo produce agregado grueso; desde una pulgada y media (1½"), hasta el retenido en el tamiz No. 4.

Se considera además que la tercera parte del material para ser reciclado que ingresa posee en su interior acero de refuerzo, el cual tiene que ser removido con ayuda del martillo hidráulico, por otra parte la permanencia del sistema de trituración se considera estacionario, y se realiza una inversión inicial para la adquisición de los equipos nuevos.

Debido a que la planta de reciclaje se instala en la escombrera donde se encuentran los desechos de concreto, y por ser ésta del municipio, no se tienen en cuenta los gastos relacionados con el lote.

En las siguientes imágenes se esquematiza el proceso de producción de agregado reciclado

Figura 65 Proceso de producción de agregado reciclado

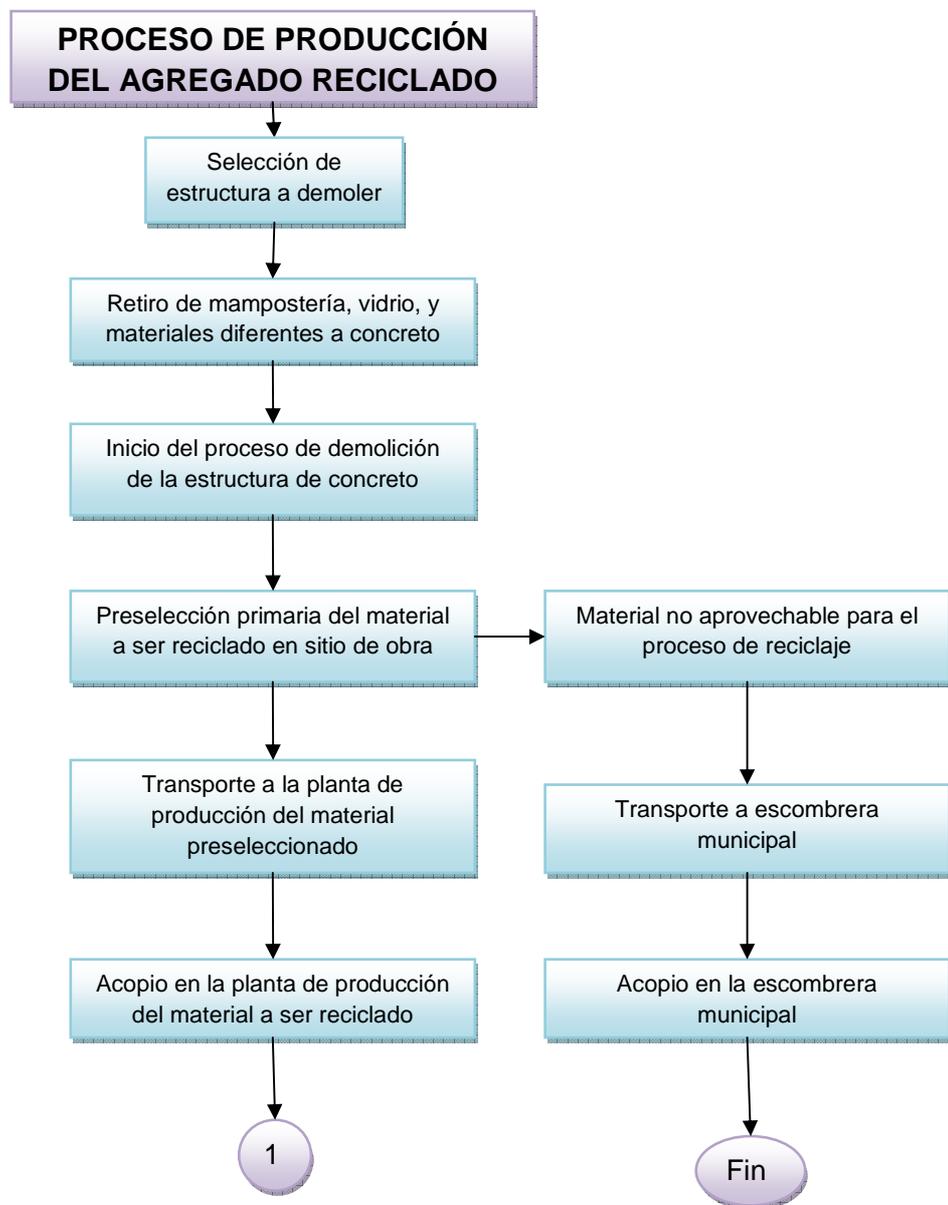
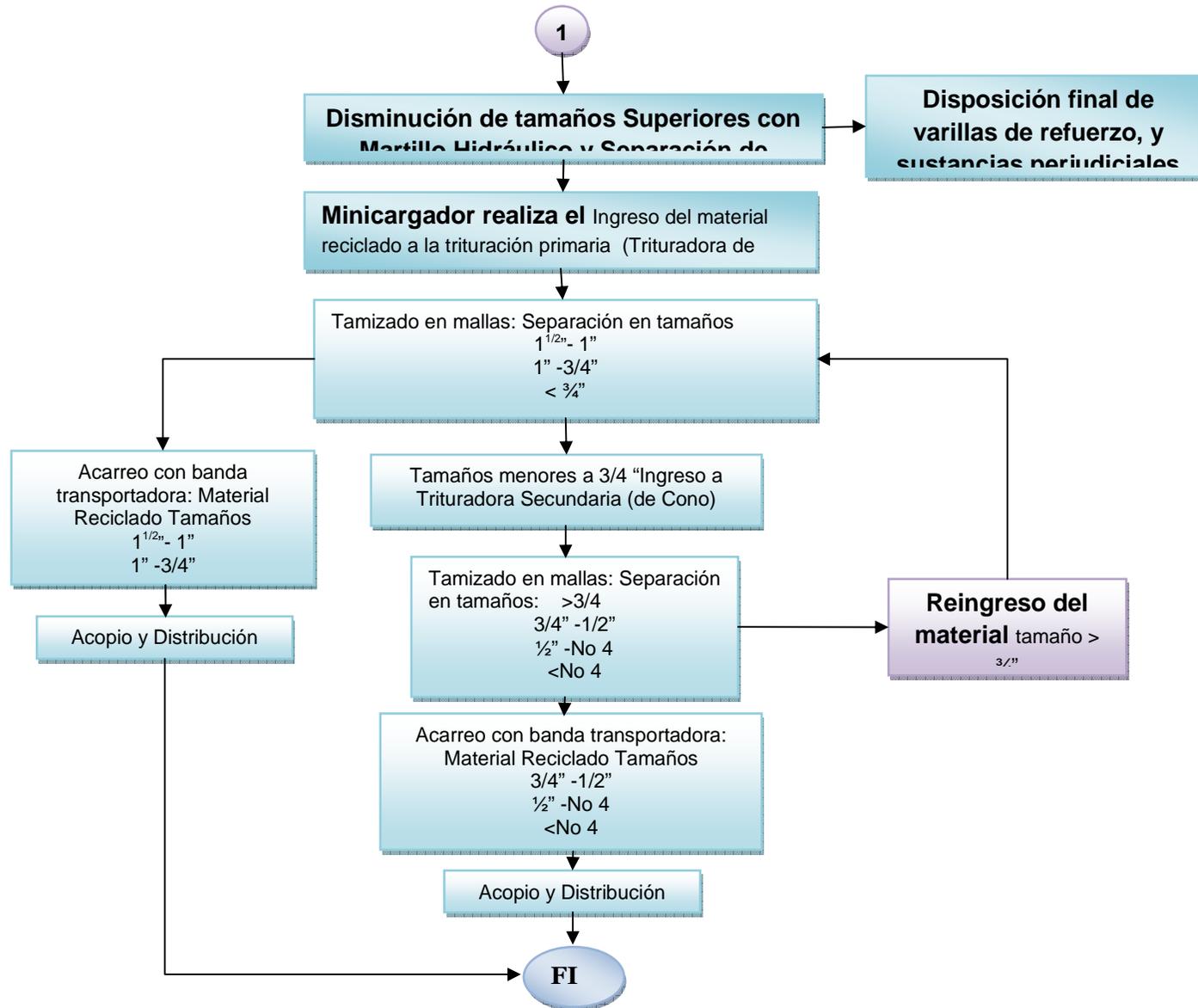


Figura 66. Proceso de producción de agregado reciclado (continuación)



6.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL AGREGADO RECICLADO

El proceso comienza en el momento en que el material de escombros preseleccionado en la obra de demolición, entra en la planta de producción, este es dispuesto en el sitio de acopio designado para tal fin, de ahí con la ayuda del minicargador Bobcat S185 equipado con un martillo hidráulico, comienza el proceso de reducción de sobretamaños al máximo de admisión de la trituradora de quijadas y el proceso de separación del acero de refuerzo embebido dentro de la matriz del concreto a reciclar, luego los ayudantes seleccionan el material removiendo los componentes perjudiciales como mampostería, vidrio, plástico, madera, materia orgánica y el acero de refuerzo antes separado, desde ahí el operador del segundo minicargador Bobcat S185 realiza la operación de suministrar material a la trituradora de quijadas; el material resultante de la trituración, es colocado sobre la zaranda vibratoria de tres niveles No. 1, el nivel superior retiene los materiales con tamaño superior a 1½" (38,1 mm), el intermedio retiene los materiales con tamaño superior a 1" (24,5 mm), el nivel inferior retiene el material con tamaño superior a ¾" (19,05 mm), el material retenido por estas mallas pasa a una tolva y a su respectiva banda transportadora que lo conduce hasta el arrume de tamaño 1½"-1" y 1"-¾", el pasante de la malla del nivel inferior es recolectado por una tolva que ingresa el material a una banda transportadora que conduce a la trituradora de cono para continuar con el proceso de trituración secundaria, el material resultante de esta trituración, es colocado sobre la zaranda vibratoria de tres niveles No.2, el nivel superior retiene los materiales con tamaño superior a ¾" (19,05 mm), el intermedio retiene los materiales con tamaño superior a ½" (24,5mm), el nivel inferior retiene el material con tamaño superior al tamiz No. 4 (4,76 mm), el material retenido por estas mallas pasa a una tolva y a su respectiva banda transportadora que los conduce hasta el arrume de tamaños ¾"- ½" y ½"- ¾", el pasante de la malla del nivel inferior es recolectado por una tolva que ingresa el material a una banda transportadora que conduce al arrume de tamaños menores al tamiz No.4, el material retenido por la malla del nivel superior es conducido por banda transportadora hacia la zaranda vibratoria No. 1, para su clasificación.

Desde ahí, el minicargador, realiza el proceso de carga de volquetas para la distribución según pedido del material ya procesado.

Las Figuras siguientes representan el proceso de producción de agregado reciclado

Figura 67. Proceso gráfico de producción de agregado reciclado

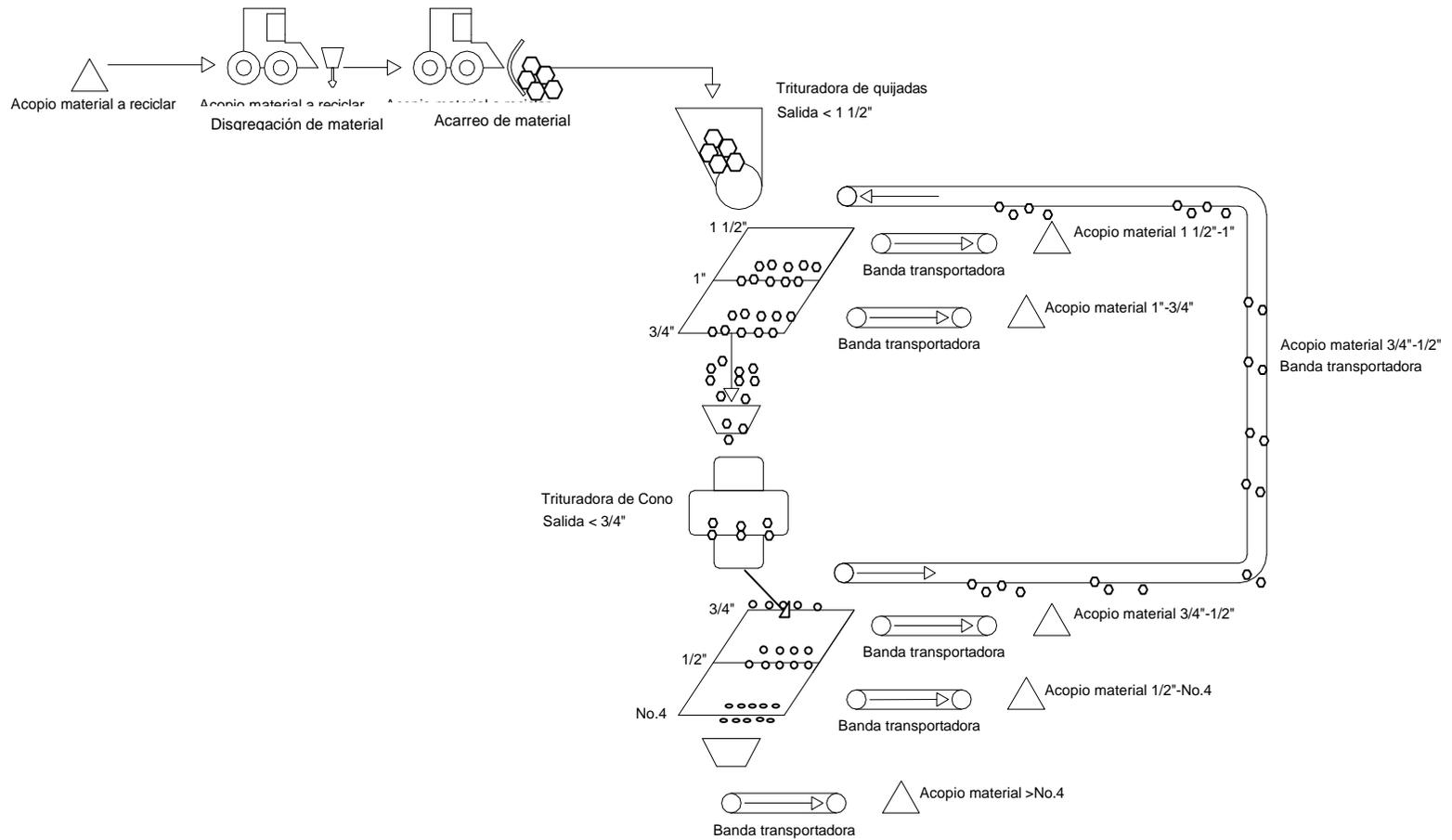


Figura 68. Planta de producción de agregado reciclado

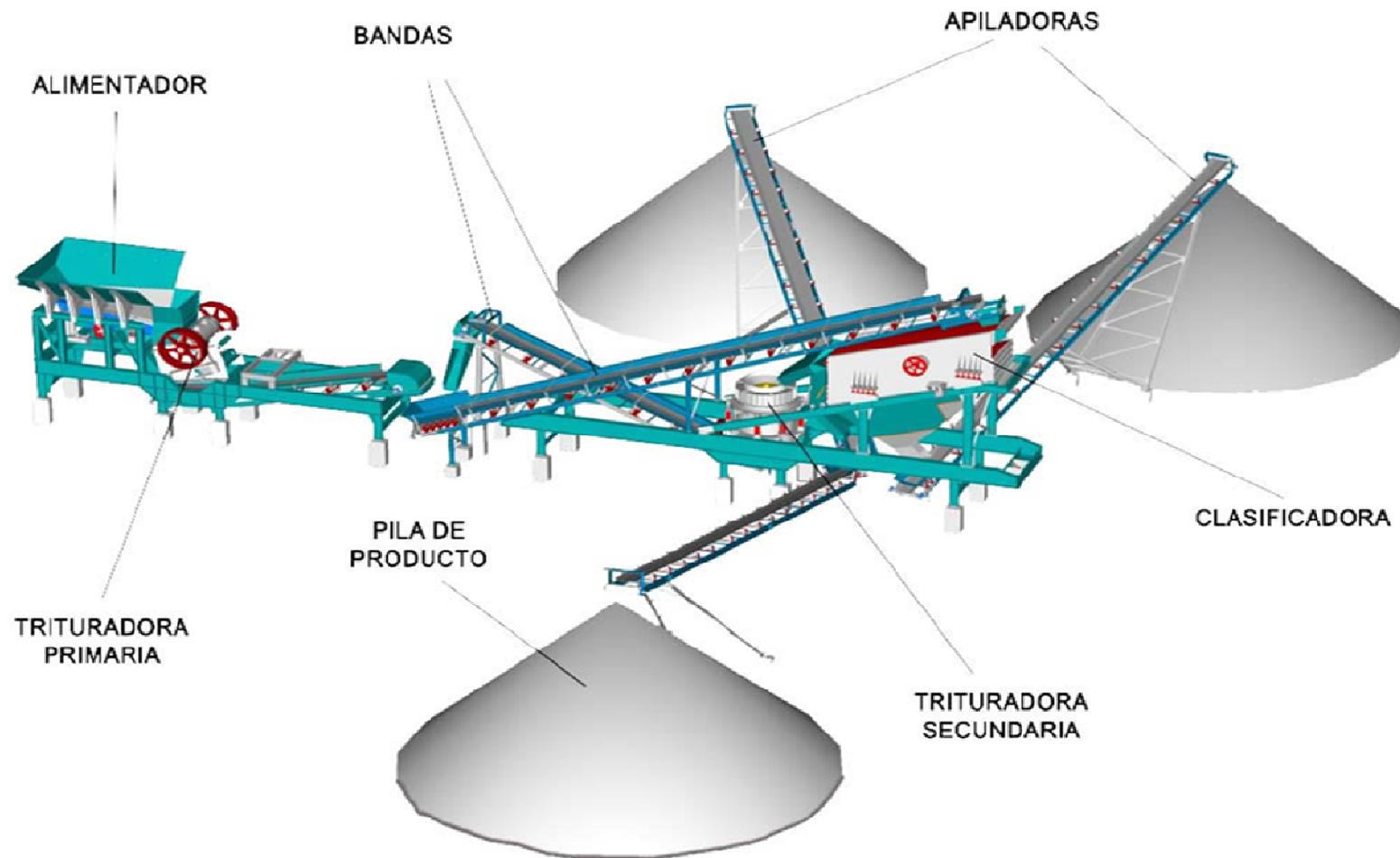


Tabla 67. Listado de maquinaria y equipo empleados para el análisis económico

Equipo	Características	Función	Capacidad	Tamaño de alimentación	Tamaño de salida
Siete tolvas	Metálica de 2,0 x 2,0 x 4,0 m. Lamina de ¼. Troncocónicas con soportes laterales para amarre y cuatro patas de soportes	Permiten el ingreso a las bandas transportadoras.	40 m ³ /h		
Siete bandas Transportadoras	8" x 12 m Tipo minero con rodillo en conos. Con motor reductor para accionamiento.	Permite la llegada del material triturado a la zaranda y después al arrume	37,5 m ³ /h		
Trituradora de Mandíbula	400 x 600 mm Tipo Pesado Montada en balineras.	Trituración primaria del material	35 m ³ /h	40 cm	< 1 ½"
Trituradora de cono	2234 x 1370 x 1675 mm Tipo Pesado Montada en balineras	Trituración secundaria del material	16.67 m ³ /h	2,54 cm	< 1,8 cm

Tabla 68. Listado de maquinaria y equipo empleados para el análisis económico (Continuación)

Equipo	Características	Función	Capacidad	Tamaño de alimentación	Potencia
Dos zarandas Vibratoria	1,2 x 3,7 m Tres Niveles de clasificación. Tres salidas con motor diesel. Frecuencia de vibrado 960 rpm.	Permite clasificar el material	24,17 m ³ /h	< 20 cm	15 kw
Minicargador	Bobcat S185	Entrega de material en la trituradora de mandíbulas, trasladar el material	0.45 m ³ Velocidad: 8 km/h		61 HP
Minicargador con martillo hidráulico	Bobcat S185 y martillo hidráulico HB880	Reducción de sobretamaños y, separación de estructuras metálicas embebidas en el material a reciclar	6,15 m ³ /h		61HP

Figura 69. . Minicargador frontal Bobcat S185



Figura 70. Minicargador con Martillo Hidraulico Bobcat S185



Figura 71. Trituradora de mandíbulas



Figura 72. Trituradora de cono



Figura 73 Banda transportadoras de rodillos



Figura 74 Zaranda vibratoria (tres niveles)



6.3 COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL AGREGADO RECICLADO

Para calcular el costo de la producción del agregado reciclado; se realiza un análisis de los costos fijos de la empresa como son: el cálculo de los costos

horarios de las máquinas, el costos por salario del mano de obra, además se obtiene el valor de los costo variables en los que incurre la empresa.

6.3.1 Análisis de costos horarios para maquinaria. El proceso para el análisis del costo horario de la maquinaria se realiza según la metodología establecida por la ACIC (Asociación Colombiana de Ingenieros Constructores), el cual estima los costos horarios para maquinaria como la sumatoria de los costos fijos o de propiedad, los costos de operación, y el costos por salarios de operación de la máquina.

A continuación se explica cada uno de los costos:

COSTO FIJO O DE PROPIEDAD: Comprende los gastos del propietario de una máquina para tenerla en su posesión y en su trabajo, comprende la sumatoria de los costos por:

- **DEPRECIACIÓN:** Es la disminución gradual del precio de adquisición de la máquina ocasionado por el desgaste y el transcurso del tiempo.

$$depreciación = \frac{\text{Valor depreciable } (\$)}{\text{Vida económica } (h)}$$

Valor depreciable: Valor de adquisición - valor de rescate - valor de neumáticos.

Valor de adquisición: Los genera los valores promedios por medio de la ACIC, es el costo de la máquina.

Valor de rescate: Puede obtenerse un porcentaje entre el 5% - 20% con respecto al valor de adquisición al momento de realizar su venta.

Valor de los neumáticos: Es un costo que es excluido del análisis debido a que su desgaste es mayor al resto de la máquina.

Vida económica: Numero de horas durante el cual se puede operar la máquina con eficiencia y obteniendo los mayores beneficios económicos, se alarga con mantenimiento preventivo de la máquina.

- **INTERESES:** Son los cargos adicionales que hace el banco o institución financiera para comprar el equipo, en promedio son del orden del 25% y se aplica al valor medio del equipo.

- **SEGUROS:** Costos de aseguramiento de la máquina para tratar de cubrir su utilización, en promedio son del orden del 5% - 15% y se aplica al valor medio del equipo.
- **IMPUESTOS:** Considera todos los impuestos por propiedad de la máquina, como es el impuesto de renta, en promedio es del orden del 2% y se aplica al valor medio del equipo.
- **BODEGAJE Y ESTACIONAMIENTO:** Según el ACIC se considera como el 2.5% del valor medio del equipo.

$$\text{Valor medio} = \frac{(N + 1)}{2 * N} * \text{Valor inicial de depreciación} \left(\frac{\$}{h} \right)$$

$$\text{Valor inicial de depreciación} = \frac{\text{Valor depreciable}}{\text{Vida económica el primer año}} \left(\frac{\$}{h} \right)$$

$$\text{Vida económica el primer año} = \frac{\text{vida económica}}{N}$$

N: Numero de años de la vida económica.

COSTOS VARIABLES O DE OPERACIÓN: Son los costos en los cuales se incurre por la utilización de la maquinaria, es la suma de los costos de:

- **COMBUSTIBLES:** Depende de la potencia de la máquina y del esfuerzo que tenga que realizar, generalmente es proporcional a la potencia, se considera que en condiciones medias de trabajo las máquinas trabajan a un 67% de la potencia, según la clasificación de la máquina dada por al ACIC se obtiene un factor de consumo (FCc)

$$\text{combustibles} = 67\% * FCc * potencia * \$combustible \left(\frac{\$}{h} \right)$$

FCc: Factor de consumo de combustible (gal*pot/h).

Potencia: Potencia de la máquina.

\$Combustible: Precio en el mercado del galón de combustible.

Tabla 69. Clasificación de equipos según ACIC

Grupo II	Grupo III	Grupo IV
<ol style="list-style-type: none"> 1. Camiones estacas hasta 6.5 Ton. 2. Camiones tanque hasta 5 metros cúbicos. 3. Camiones volteo hasta 6.5 Ton. 4. Compresoras hasta 1200 pies cúbicos por minuto. 5. Mezcladoras de concreto portátiles 6. Máquina de soldar. 7. Motor estacionario hasta 100 H.P. 8. Motores marinos. 9. Petrolizadoras hasta 10 metros cúbicos. 10. Camioneta (Pick-up) hasta una tonelada. 11. Vibradoras. 12. Pisones. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bandas transportadoras portátiles y fijas. 2. Pavimentadoras. 3. Bombas para concreto. 4. Camiones volteo y estacas de 6.5 a 12 Ton. 5. Camiones tanque de más de cinco metros cúbicos. 6. Dragas. 7. Grúas. 8. Mezcladoras de concreto estacionarias o montadas en camión. 9. Motocompactor. 10. Motoconformadora. 11. Plantas eléctricas mayores de 5 Kw. 12. Motores estacionarios de más de 100 H.P. 13. Compresoras de más de 1200 pies cúbicos por minuto. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Camiones de 12 Ton en adelante. 2. Locomotoras. 3. Motoescrepas. 4. Perforadoras de pozo profundo. 5. Retroexcavadoras. 6. Tractores de arrastre y empuje. 7. Cargadores frontales.

Tabla 70. Tabla de factores de consumo según ACI

	<i>Gasolina</i>	<i>Diesel</i>
<i>TIPO DE MÁQUINA</i>	<i>FCc</i>	<i>FCc</i>
1	0,0165	0,0181
2	0,02359	0,0163
3	0,02927	0,0204
4	0,04041	0,02726

- **LUBRICANTES:** Son los costos por aceites de motor, transmisión, controles hidráulicos, grasas, en este valor no tiene tanta incidencia la potencia de la máquina debido a que los lubricantes tienen unas horas de funcionamiento límite, se calcula como la suma de:

Aceite de motor: Se calcula mediante la fórmula

$$\text{Aceite de motor} = \text{potencia} * 0.0009 + \frac{\text{Cap. carter}}{\text{Horas entre cambio de aceite}} \left(\frac{\$}{h} \right)$$

Potencia: Potencia del motor (HP)

Cap.Carter: Es la capacidad expresada en galones del carter de aceite de la máquina.

Aceite de transmisión y aceite de controles hidráulicos: Se calculan según la potencia de la máquina como un factor de consumo

$$\text{Aceite de transmisión} = FCt * \$actransmisión \left(\frac{\$}{h} \right)$$

$$\text{Aceite de controles hidráulicos} = FCh * \$acconthid \left(\frac{\$}{h} \right)$$

FCt: Factor de consumo de aceite de transmisión.(gal/h)

FCh: Factor de consumo de aceite de controles hidráulicos. (gal/h)

\$actransmisión: Costo del galón de aceite de transmisión.

\$acconthid: Costo del galón de aceite de controles hidráulicos.

Tabla 71. Factores de consumo de aceite de transmisión y controles hidráulicos

Potencia (HP)	FCt (gal/h)	Potencia	FCh (gal/h)
40 - 50	0,01	40 - 100	0,01
50 - 100	0,02	100 - 200	0,02
100 - 200	0,03	200 - 300	0,03
200 - 300	0,04	300 - 400	0,04
300 - 400	0,05	400 - 500	0,05
400 - 500	0,06		

- **NEUMÁTICOS:** Puede ser muy variable su estimación debido a los diversos factores que afectan su gasto, pero en general puede decirse que su vida útil depende del operador, tipo de trabajo, terreno, pendientes y velocidades a las cuales está trabajando la máquina.

$$\text{Costo por neumáticos} = \frac{\text{Costos de los neumáticos}}{\text{vida util en horas de los neumáticos}}$$

Tabla 72. Tablas de valores de vida útil de neumáticos

Tipo de máquina	Vida útil neumáticos
Motoniveladora	3500 h
Volqueta	1000 h
Compactador	4000 h
Cargador	2000 h
Retrocargador	3000 h
Compactador simple	3500 h

- **REPARACIONES, FILTROS Y MANO DE OBRA:** Se basa en un porcentaje de la depreciación horaria, de donde el 25% son costos de mano de obra y el 75% son costos de repuestos, para Colombia el valor de los repuestos se incrementa en un 50% debido a la dificultad para conseguirse, por lo tanto el porcentaje queda en el 123,75%

$$\text{Reparaciones, filtros y mano de obra} = 123,75\% * \text{depreciación horaria}$$

6.3.2 Costos horarios por máquina:

Tabla 73. Resumen de los costos horarios del Minicargador Bob Cat S185

MÁQUINA		Minicargador Bob Cat S185
COSTOS FIJOS		
Cantidad		1
Valor de adquisición		\$ 71.288.000
Porcentaje de rescate		20%
Valor rescate (5%-20%)		\$ 14.257.600
Valor neumáticos		\$ 2.766.400
Vida económica	horas	14.000
Valor depreciable		\$ 54.264.000
Depreciación	/ hora	\$ 3.876
Interés	%	15
Seguros (5 - 15%)	%	5
Impuestos (2%)	%	2
Bodegaje y estacionamiento (2,5%)	%	2,5
Número de años de vida económica		7
Vida económica primer año		2000
Valor inicial de depreciación	/ hora	\$ 27.132
Valor medio		\$ 15.504
Costo horario por i.s.i.b	/ hora	\$ 3.798
Total costos fijos	/ hora	\$ 7.674
COSTOS VARIABLES		
COMBUSTIBLE		
Tipo de combustible		DIESEL
Potencia real	hp	61
Porcentaje de potencia de trabajo	%	67
Tipo de máquina		4
Factor de consumo de combustible	gal*pot/h	0,02726
Costo de galon de combustible		\$ 5.800
Total por combustible	/ hora	\$ 6.462

Tabla 74. Resumen de los costos horarios del Minicargador Bob Cat S185 (continuación)

COSTOS VARIABLES		Minicargador Bob Cat S185
MÁQUINA		
LUBRICANTES		
ACEITE DE MOTOR		
Capacidad del carter	gal	3
Número de horas entre cambio	horas	250
Costo galón de aceite		\$ 50.000
Costo por aceite de motor	/ hora	\$ 3.345
ACEITE TRASMISION		
Costo por aceite de trasmisión	/ hora	\$ 500
ACEITE DE CONTROLES HIDRAULICOS		
Costo galón de aceite		\$ 20.000
Costo aceite de controles hidráulicos	/ hora	\$ 600
Total costos por lubricantes	/ hora	\$ 9.625
FILTROS Y MANO DE OBRA		
Costo de filtros y mano de obra	/ hora	\$ 6.776
NEUMÁTICOS		
Costo de neumáticos		\$ 2.766.400
Vida útil de neumáticos	hora	\$ 2.000
Total costo por neumáticos		\$ 1.383
REPARACIONES		
Costo de reparación	/ hora	\$ 4.797
TOTAL COSTOS VARIABLES DE OPERACIÓN		\$ 19.563
TOTAL COSTOS HORARIOS POR MÁQUINA		\$ 27.238

Siguiendo los parámetros y metodología para el minicargador Bob Cat S185, se calcula los costos horarios para las diferentes máquinas empleadas en proceso de fabricación de agregado reciclado, los resultados de los análisis para las diferentes otras máquinas se encuentran en el Anexo D del presente trabajo.

El resultado del análisis de costos horarios para la maquinada a emplear en la producción de agregado reciclado se muestra a continuación:

Tabla 75. Análisis de costos de maquinaria

Costo horario				
MÁQUINA	Minicargador Bob Cat S185	Minicargador Bob Cat S185 con martillo hidráulico	Trituradora de cono	Trituradora de Mandíbulas
COSTOS FIJOS (\$/h)	\$ 7.674	\$ 10.323	\$ 27.767	\$ 27.767
COSTOS VARIABLES				
Combustible (\$/h)	\$ 6.462	\$ 6.462	\$ 3.801	\$ 3.801
Lubricantes (\$/h)	\$ 4.245	\$ 4.245	\$ 4.100	\$ 4.200
Filtros y mano de obra(\$/h)	\$ 2.677	\$ 2.677	\$ 1.975	\$ 2.000
Neumáticos (\$/h)	\$ 1.383	\$ 1.383	\$ 0	\$ 0
Reparaciones (\$/h)	\$ 4.797	\$ 6.452	\$ 23.100	\$ 23.100
Total costos variables de operación (\$/h)	\$ 19.563	\$ 21.219	\$ 32.976	\$ 33.101
Total costos horarios por máquina (\$/h)	\$ 27.238	\$ 31.542	\$ 60.742	\$ 60.867

6.3.3 Costos por salario de operador. Para la producción de agregado reciclado es necesario contar con personal permanente en la planta de reciclaje de concreto, el cual se encarga de diferentes labores como son: el control en la recepción del concreto a reciclar, la operatividad de las máquinas, la inspección del agregado producido y muchas más funciones que tienen que ver con el adecuado procedimiento de gestión de calidad. El cálculo del costo salarial del operador y del auxiliar se realiza en función del salario mínimo legal fijado por el gobierno nacional a partir del 1 de enero de 2010

El costo de la mano de obra por hora es el siguiente, teniendo en cuenta un total de 8 horas de trabajo diario de lunes a sábado, para un total de 240 horas al mes legales.

LIQUIDACIÓN	AYUDANTE OPERADOR	
Salario mínimo (Año 2010)	\$ 515.000	\$ 772.500
Auxilio transporte (Año 2010)	\$ 61.500	\$ 61.500
SALARIO INTEGRAL	\$ 576.500	\$ 834.000
APORTES PARAFISCALES	AYUDANTE OPERADOR	
Sena (2%)	\$ 10.300	\$ 15.450
ICBF (3%)	\$ 15.450	\$ 23.175
Caja de compensación (4%)	\$ 20.600	\$ 30.900
SUBTOTAL APOORTE PARAFISCALES (9%)	\$ 46.350	\$ 69.525
CARGAS PRESTACIONALES		
Cesantías (8,33%)	\$ 48.022	\$ 69.472
Prima de servicio (8,33%)	\$ 48.022	\$ 69.472
Vacaciones (4,17%)	\$ 21.476	\$ 32.213
Intereses sobre las cesantías (1%) mensual	\$ 5.763	\$ 8.337
SUBTOTAL CARGOS PRESTACIONALES (21.83%)	\$ 123.283	\$ 179.494
Deducciones de nómina (conceptos a cargo del empleado)		
Salud empleado (4%)	\$ 20.600	\$ 30.900
Pensión Empleado (4%)	\$ 20.600	\$ 30.900
SUBTOTAL APOORTE DE SALUD A CARGO DEL EMPLEADOR (8%)	\$ 41.200	\$ 61.800
Seguridad social a cargo del empleador		
Salud empresa (8,5%)	\$ 43.775	\$ 65.663
Pensión Empresa (12%)	\$ 61.800	\$ 92.700
A.R.P (0,522%)	\$ 2.688	\$ 4.032
SUBTOTAL SEGURIDAD SOCIAL A CARGO DEL EMPLEADOR (21.02%)	\$ 108.263	\$ 162.395
COSTO MENSUAL (59,85%)	\$ 895.596	\$ 1.307.214
COSTO HORARIO	\$ 3.732	\$ 5.447

6.3.4 Rendimiento del sistema de producción. Para el cálculo del rendimiento en el sistema de fabricación de agregado reciclado se coloca como ejemplo el minicargador Bob Cat S185, el cual estará encargado de suministrar el material de concreto reciclado a la trituradora primaria del sistema de producción, con base en la figura siguiente en la cual se colocan las distancias que tiene que recorrer esta máquina para completar un ciclo de descargue de material, se calcula el rendimiento de la máquina.

Figura 75 Ciclo de cargue y descargue de material

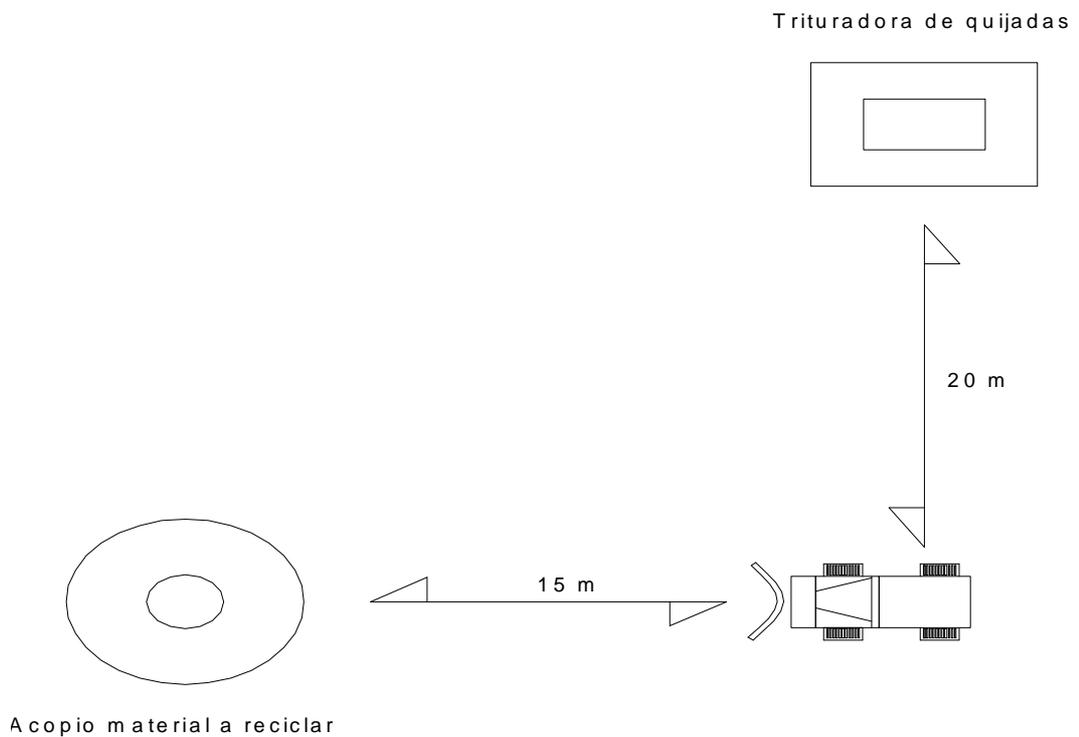


Tabla 76. Rendimiento del minicargador Bob Cat S185

Máquina	Capacidad (m ³)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Tiempo Descarga (min)	Tiempo carga (min)	Tiempo ciclo (min)	Rendimiento (m ³ /h)
Minicargador Bob Cat S185	0,45	100	8	1,5	0,5	2,75	9,82

Para realizar el estudio de los rendimientos de los equipos, se considera que la producción varía según la etapa en la que se encuentre el material resultante

producto del proceso de trituración. Con la granulometría del agregado reciclado emplea en los diseño de las mezcla de concreto se obtiene los volúmenes reales de material reciclado procesados por cada máquina en las diferentes etapas de producción.

Tabla 77. Granulometría agregado reciclado

Tamaño	% que pasa el tamiz
2"	100
1 1/2"	96,86
1"	79,86
3/4"	48,27
1/2"	25,88
3/8"	17,09
No. 4	3,73
No. 8	1,83

Tabla 78. Porcentaje de material utilizado en Intervalos de Tamiz

Intervalo de tamaño	Porcentaje de material
1 1/2" - 1"	17,00%
1" - 3/4"	31,59%
3/4" - 1/2"	22,39%
3/4" - No. 8	48,27%
1/2" - No. 4	22,15%
No. 4 - No. 8	1,90%

Utilizando los porcentajes de material que procesa los diferentes equipos, y sus respectivos rendimientos, se calcula la cantidad de horas que requiere cada máquina para procesar el volumen de material asignado a ella, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 79. Rendimiento en la producción de agregado reciclado

Máquina	Rendimiento m³/h	Porcentaje de material procesado	m³	Horas x máquina	h/m³
Minicargador Bob Cat S185	9,82	100,00%	9,82	1,000	0,102
Minicargador Bob Cat S185 con martillo hidráulico	6,15	33,33%	3,27	0,532	0,163
Trituradora de Mandíbulas Agregado reciclado < 1 1/2"	35,00	100,00%	9,82	0,281	0,029
Zaranda Vibratoria No. 1 Agregado reciclado	24,17	100,00%	9,82	0,406	0,041
Banda Transportadora Agregado reciclado (1 1/2 " - 1")	37,50	17,00%	1,67	0,045	0,027
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado (1 1/2 " - 1")	40,00	17,00%	1,67	0,042	0,025
Banda Transportadora Agregado reciclado (1" - 3/4")	37,50	31,59%	3,10	0,083	0,027
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado (1" - 3/4")	40,00	31,59%	3,10	0,078	0,025
Banda Transportadora Agregado reciclado < 3/4"	37,50	48,27%	4,74	0,126	0,027
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado < 3/4"	40,00	48,27%	4,74	0,118	0,025
Trituradora de cono Agregado reciclado < 3/4"	16,67	48,27%	4,74	0,284	0,060
Zaranda Vibratoria No. 2 Agregado reciclado	24,17	48,27%	4,74	0,196	0,041
Banda Transportadora Agregado reciclado >3/4 "	37,50	3,00%	0,29	0,008	0,027
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado >3/4 "	40,00	3,00%	0,29	0,007	0,025
Banda Transportadora Agregado reciclado (3/4 " - 1/2")	37,50	22,39%	2,20	0,059	0,027
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado (3/4 " - 1/2")	40,00	22,39%	2,20	0,055	0,025
Banda Transportadora Agregado reciclado (1/2" - No. 4)	37,50	22,15%	2,17	0,058	0,027
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado 1/2" - No. 4	40,00	22,15%	2,17	0,054	0,025
Banda Transportadora Agregado reciclado <No.4	37,50	1,90%	0,19	0,005	0,027
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado <No.4	40,00	1,90%	0,19	0,005	0,025

Con los resultados de rendimiento para cada tipo de máquina y los m³ producidos se calcula el tiempo total requerido para la fabricación de agregado reciclado además de rendimiento total de la producción.

$$\text{Tiempo de producción} = \sum h/m^3 = 0,8 h$$

$$\text{Rendimiento producción} = \frac{\text{Tiempo de producción} \left(\frac{h}{m^3}\right)}{\text{capacidad del cucharón} \left(\frac{h}{m^3}\right)} = 0,08 \left(\frac{h}{m^3}\right)$$

6.3.5 Costo del agregado reciclado por intervalo de tamaño. Con los valores obtenidos de la Tabla 65, se realiza el análisis de precios unitarios por m³, dependiendo del intervalo de tamaño requerido en la producir agregado reciclado. En la siguientes discriminando las máquinas empleadas en el proceso de fabricación, se considera dentro del análisis que las horas de ayudante son las horas en las cuales están operando las máquinas, y dentro de ellas están se contemplan las horas que se demoran en el retiro del acero de refuerzo.

Tabla 80. Análisis de precios unitarios agregado reciclado (1 1/2" - 1")

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS AGREGADO RECICLADO				
DESCRIPCIÓN: PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO TAMAÑO (1 1/2"-1") UND = M ³				
MÁQUINARIA Y EQUIPOS				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
Minicargador Bob Cat S185	h	0,102	\$ 27.237,82	\$ 2.774,22
Minicargador Bob Cat S185 martillo hidráulico	h	0,163	\$ 31.541,55	\$ 5.128,71
Trituradora de Mandíbulas Producción de agregado reciclado <11/2"	h	0,029	\$ 60.867,30	\$ 1.739,07
Zaranda Vibratoria No. 1 Agregado reciclado	h	0,041	\$ 13.164,71	\$ 544,75
Banda Transportadora Agregado reciclado (1 1/2 " - 1")	h	0,027	\$ 9.596,03	\$ 255,89
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado (1 1/2 " - 1")	h	0,025	\$ 2.270,83	\$ 56,77
Banda Transportadora Agregado reciclado (1" - 3/4")	h	0,027	\$ 9.596,03	\$ 255,89
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado < 3/4"	h	0,025	\$ 2.270,83	\$ 56,77
Total Equipo				\$ 10.812,07

Tabla 81. Análisis de precios unitarios agregado (1 1/2" - 1") (continuación)

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
AGREGADO RECICLADO				
DESCRIPCIÓN: PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO TAMAÑO (1 1/2"-1") UND = M³				
MANO DE OBRA				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Ayudante	h	0,438	\$ 3.731,65	\$ 1.633,48
Operador	h	0,264	\$ 5.446,73	\$ 1.440,41
TOTAL DE LA MANO DE OBRA				\$ 3.073,89
COSTO TOTAL POR M³ DE AGREGADO RECICLADO (1 1/2"-1")				\$ 13.885,96

Tabla 82. Análisis de precios unitarios agregado reciclado (1"- 3/4")

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
AGREGADO RECICLADO				
DESCRIPCIÓN: PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO TAMAÑO (1"-3/4") UND = M³				
MÁQUINARIA Y EQUIPOS				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Minicargador Bob Cat S185	h	0,102	\$ 27.237,82	\$ 2.774,22
Minicargador Bob Cat S185 martillo hidráulico	h	0,163	\$ 31.541,55	\$ 5.128,71
Trituradora de Mandíbulas Producción de agregado reciclado <11/2"	h	0,029	\$ 60.867,30	\$ 1.739,07
Zaranda Vibratoria No. 1 Agregado reciclado	h	0,041	\$ 13.164,71	\$ 544,75
Banda Transportadora Agregado reciclado (1"-3/4")	h	0,027	\$ 9.596,03	\$ 255,89
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado (1 " - 3/4")	h	0,025	\$ 2.270,83	\$ 56,77
Banda Transportadora Agregado reciclado >3/4"	h	0,027	\$ 9.596,03	\$ 255,89
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado >3/4"	h	0,025	\$ 2.270,83	\$ 56,77
Total Equipo				\$ 10.812,07

Tabla 83. Análisis de precios unitarios agregado (1"- 3/4") (continuación)

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
AGREGADO RECICLADO				
DESCRIPCIÓN: PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO TAMAÑO (1"-3/4") UND = M3				
MANO DE OBRA				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Ayudante	h	0,438	\$ 3.731,65	\$ 1.633,48
Operador	h	0,264	\$ 5.446,73	\$ 1.440,41
TOTAL DE LA MANO DE OBRA				\$ 3.073,89
COSTO TOTAL POR M³ DE AGREGADO RECICLADO (1"-3/4")				\$ 13.885,96

Tabla 84. Análisis de precios unitarios agregado reciclado (3/4" - 1/2")

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
AGREGADO RECICLADO				
DESCRIPCIÓN: PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO TAMAÑO (3/4"-1/2") UND = M³				
MÁQUINARIA Y EQUIPOS				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
Minicargador Bob Cat S185	H	0,102	\$ 27.237,82	\$ 2.774,22
Minicargador Bob Cat S185 martillo hidráulico	H	0,163	\$ 31.541,55	\$ 5.128,71
Trituradora de Mandíbulas Producción de agregado reciclado <11/2"	H	0,029	\$ 60.867,30	\$ 1.739,07
Zaranda Vibratoria No. 1 Agregado reciclado	h	0,041	\$ 13.164,71	\$ 544,75
Banda Transportadora Agregado reciclado < 3/4"	h	0,027	\$ 9.596,03	\$ 255,89
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado < 3/4"	h	0,025	\$ 2.270,83	\$ 56,77
Trituradora de Cono Producción de agregado reciclado <3/4"	h	0,060	\$ 60.742,30	\$ 3644,5
Zaranda Vibratoria No. 2 Agregado reciclado	h	0,041	\$ 13.164,71	\$ 544,7
Banda Transportadora Agregado reciclado (3/4 " - 1/2")	h	0,027	\$ 9.596,03	\$ 255,89
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado (3/4 " - 1/2")	h	0,025	\$ 2.270,83	\$ 56,77
Total Equipo				\$ 15.001,36

Tabla 85. Análisis de precios unitarios agregado (3/4" - 1/2") (continuación)

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
AGREGADO RECICLADO				
DESCRIPCIÓN: PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO TAMAÑO (3/4"-1/2") UND = M³				
MANO DE OBRA				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Ayudante	h	0,539	\$ 3.731,65	\$ 2.011,80
Operador	h	0,264	\$ 5.446,73	\$ 1.440,41
TOTAL DE LA MANO DE OBRA				\$ 3.452,20
COSTO TOTAL POR M³ DE AGREGADO RECICLADO (3/4"-1/2")				\$ 18.453,56

Tabla 86. Análisis de precios unitarios agregado reciclado (1/2" - N4)

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
AGREGADO RECICLADO				
DESCRIPCIÓN: PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO TAMAÑO (1/2"-No 4) UND = M³				
MÁQUINARIA Y EQUIPOS				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Minicargador Bob Cat S185	H	0,102	\$ 27.237,82	\$ 2.774,22
Minicargador Bob Cat S185 martillo hidráulico	H	0,163	\$ 31.541,55	\$ 5.128,71
Trituradora de Mandíbulas Producción de agregado reciclado <11/2"	H	0,029	\$ 60.867,30	\$ 1.739,07
Zaranda Vibratoria No. 1 Agregado reciclado	h	0,041	\$ 13.164,71	\$ 544,75
Banda Transportadora Agregado reciclado < 3/4"	h	0,027	\$ 9.596,03	\$ 255,89
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado < 3/4"	h	0,025	\$ 2.270,83	\$ 56,77
Trituradora de Cono Producción de agregado reciclado <3/4"	h	0,060	\$ 60.742,30	\$ 3644,5
Zaranda Vibratoria No. 2 Agregado reciclado	h	0,041	\$ 13.164,71	\$ 544,7
Banda Transportadora Agregado reciclado (1/2 "- No 4)	h	0,027	\$ 9.596,03	\$ 255,89
Tolva de Alimentación de Banda Agregado reciclado (1/2 "- No 4)	h	0,025	\$ 2.270,83	\$ 56,77
Total Equipo				\$ 15.001,36

Tabla 87. Análisis de precios unitarios agregado (1/2" - N4) (continuación)

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
AGREGADO RECICLADO				
DESCRIPCIÓN: PRODUCCIÓN DE AGREGADO RECICLADO TAMAÑO (1/2"-No 4) UND = M3				
MANO DE OBRA				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Ayudante	h	0,539	\$ 3.731,65	\$ 2.011,48
Operador	h	0,264	\$ 5.446,73	\$ 1.440,41
TOTAL DE LA MANO DE OBRA				\$ 3.452,20
COSTO TOTAL POR M³ DE AGREGADO RECICLADO (1/2"-No 4)				\$ 18.453,56

6.3.6 Análisis de costos indirectos. El análisis de costos indirectos, se basa en una estimación de los costos que se tienen que incurrir para el funcionamiento y operación de la planta de producción del agregado reciclado.

Tabla 88. Análisis de costos de administración

1	INSTALACIONES DE LA OBRA		\$ 5.000.000
1.1	Adecuación de vías de acceso	\$ 1.000.000	
1.2	Oficina de administración	\$ 3.000.000	
1.3	Bodega	\$ 1.000.000	
2	INSTALACIONES DE SERVICIOS		\$ 950.000
2.1	Energía eléctrica	\$ 250.000	
2.2	Agua	\$ 250.000	
2.3	Teléfono	\$ 450.000	
3	GASTOS DE MOVILIZACION Y TRANSPORTE DE PERSONAL		\$1.800.000
3.1	Movilización a la obra	\$ 500.000	
3.2	Transporte	\$ 1.000.000	
3.3	Desmovilización al final	\$ 300.000	
4	GASTOS DE MOVILIZACION DE EQUIPOS		\$ 550.000
4.1	Movilización de herramientas, equipo menor y equipo de oficina	\$ 150.000	
4.2	Movilización de maquinaria pesada:		
4.2.1	Minicargador S185 con martillo	\$ 200.000	
4.2.2	Minicargador S185	\$ 200.000	

Tabla 89. Análisis de costos de administración (Continuación)

5	SALARIOS Y PRESTACIONES DEL PERSONAL TECNICO Y PROFESIONAL		\$ 39.500.000
5.1	Gerente de la planta	\$ 15.000.000	
5.2	Subgerente de la planta	\$ 10.000.000	
5.3	Jefe de planta	\$ 8.000.000	
5.4	Asesor calidad	\$ 2.000.000	
5.5	Asesores técnicos	\$ 1.500.000	
5.6	Contador, etc.	\$ 3.000.000	
6	SALARIOS Y PRESTACIONES DEL PERSONAL AUXILIAR		\$ 9.500.000
6.1	Auxiliares de planta	\$ 5.000.000	
6.2	Secretaria	\$ 2.000.000	
6.3	Vigilantes	\$ 1.500.000	
6.4	Mensajeros	\$ 1.000.000	
7	GASTOS GENERALES		\$ 9.700.000
7.1	SERVICIOS PUBLICOS		\$ 1.500.000
7.1.1	Agua	\$ 500.000	
7.1.2	Luz	\$ 500.000	
7.1.3	Teléfono	\$ 500.000	
7.2	DOCUMENTACIÓN		\$ 700.000
7.2.1	Papelería	\$ 300.000	
7.2.2	Computadores e impresoras	\$ 200.000	
7.2.3	Fotocopiado	\$ 100.000	
7.2.4	Mensajería	\$ 100.000	
7.3	IMPUESTOS Y GARANTIAS		\$ 3.000.000
7.3.1	Pólizas de manejo	\$ 300.000	
7.3.2	Pólizas de cumplimiento	\$ 500.000	
7.3.3	Seguros generales	\$ 600.000	
7.3.4	Impuestos de timbre	\$ 300.000	
7.3.5	Gastos de legalización de contratos	\$ 300.000	
7.3.6	Publicidad y vallas	\$ 1.000.000	
8	GASTOS FINANCIEROS		\$ 4.500.000
TOTAL GASTOS DE ADMINISTRACIÓN			\$ 67.000.000

Tabla 90. Calculo de porcentaje de A.U.I

COSTO DIRECTO MÁQUINARIA		\$ 686.034.000
COSTO DIRECTO MANO DE OBRA	Costo M.O*240*12	\$ 26.433.728
COSTO DIRECTO C.D		\$ 712.467.728
IMPREVISTOS % x C.D.	5,6%	\$ 39.870.159
ADMINISTRACIÓN % x C.D.	9,4%	\$ 67.000.000
COSTOS INDIRECTOS	I + A	\$ 106.870.159
SUBTOTAL	C.D. + C.I.	\$ 819.337.887
UTILIDADES %x (C.D.+C.I.)	5%	\$ 40.966.894
COSTO TOTAL	C.D. + C.I. + U	\$ 860.304.781

6.4 COSTO PÓR M³ DE AGREGADO RECICLADO CON GRANULOMETRIA ESPECIFICADA

Con los costos de agregado reciclado por intervalo de tamaño y los costos indirectos, además de la granulometría de material reciclado utilizada en el diseño de mezcla de concreto, se calcula el costo total de producir 1 m³ de agregado reciclado con una gradación especificada.

En la siguiente tabla se muestra el análisis de precio unitario.

Tabla 91. Costo por m³ de agregado reciclado con granulometría especificada

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
AGREGADO RECICLADO				
DESCRIPCIÓN: Agregado reciclado dosificación ideal			UND:	m³
MÁQUINARIA Y EQUIPO				
<i>Detalle</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor unitario</i>	<i>Valor total</i>
Agregado reciclado de 1 1/2" - 1"	%	18,72%	\$ 13.885,96	\$ 2.599,10
Agregado reciclado de 1" - 3/4"	%	33,31%	\$ 13.885,96	\$ 4.625,07
Agregado reciclado de 3/4" - 1/2"	%	24,11%	\$ 18.453,56	\$ 4.448,69
Agregado reciclado de 1/2" - No 4	%	23,87%	\$ 18.453,56	\$ 4.404,40
			Subtotal	\$ 16.077,27
			A.U.I 20%	\$ 3.215,45
			TOTAL	\$ 19.292,72

6.5 COSTO COMPARATIVO POR METRO CUBICO DE CONCRETO CONVENCIONAL Y NO CONVENCIONAL

El interés del profesional de la construcción está en producir un concreto con las especificaciones de resistencia a la compresión simple que demande la obra, además de obtener el concreto a un costo económico, Con el objetivo de incentivar al profesional de la construcción a elaborar proyectos con concreto reciclado se realizar un análisis comparativo del costo por metro cubico de concreto con agregado reciclado y concreto con agregado natural.

Considerando que el costo a 15 de julio de 2010 de los materiales es:

Agua (lt)*	50	pesos m/cte
Cemento (Bulto x 50 kgf)*	20.259	pesos m/cte
Arena (m ³)*	22.845	pesos m/cte
Triturado Natural de 1½" (m ³)*	30.172	pesos m/cte
Triturado Reciclado 1½" (m ³)*	19.293	pesos m/cte

* En estos costos no se tiene en cuenta el valor del transporte además del valor del IVA

6.5.1 Concreto fabricado con agregado reciclado. En siguientes tablas se presenta las cantidades de proporciones realizadas en el diseño de las mezclas de concreto durante el transcurso de la investigación y los precios unitarios correspondientes a la fabricación de concreto con reciclado.

Tabla 92. Proporciones de materiales por m³ de concreto reciclado, con una relación a/c = 0,45. f'c= 260,09 kg/cm² (3.692 Psi.) para una resistencia especificada (2.500 – 3.000) Psi.

Descripción	Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Sumatoria
Volumen Absoluto (dm ³ /m ³ concreto)	171,45	125,33	354,60	348,63	1000,00
Peso Material (Kgf/m ³ concreto)	171,45	380,99	939,70	843,67	2335,81
Volumen suelto (m ³ /m ³)	0,17	0,37	0,72	0,70	1,96
Proporción en Peso Seco	0,45	1,00	2,47	2,21	
Proporción en Volumen	0,47	1,00	1,97	1,92	

Cantidad de Cemento

7,6 Bultos (50kgf/bulto)

Tabla 93 Costo por m³ de concreto reciclado, con una relación a/c = 0,45 f'c= 260,09 kg/cm² (3.692 Psi.); resistencia especificada de (2.500 – 3.000) Psi.

Detalle	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Agua	lt	171,45	\$ 50,00	\$ 8.572,26
Cemento	Kgf	380,99	\$ 405,17	\$ 154.366,30
Arena	m ³	0,72	\$ 22.844,83	\$ 16.513,31
Agregado Reciclado	m ³	0,70	\$ 19.292,72	\$ 13.563,96
			TOTAL	\$ 193.015,83

Tabla 94. Proporciones de materiales por m³ de concreto reciclado, con una relación a/c = 0,50. f'c=235,62 Kg/cm² (3.344 Psi.) para una resistencia especificada (2.500 – 3.000) Psi.

Descripción	Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	SUMATORIA
Volumen Absoluto (dm ³ /m ³ concreto)	171,45	112,79	367,14	348,63	1000,00
Peso Material (Kgf/m ³ concreto)	171,45	342,89	972,91	843,67	2330,92
Volumen suelto (m ³ /m ³)	0,17	0,33	0,75	0,70	1,95
Proporción en Peso Seco	0,50	1,00	2,84	2,46	
Proporción en Volumen	0,52	1,00	2,27	2,13	

Cantidad de Cemento

6,9 Bultos (50kgf/bulto)

Tabla 95 Costo por m³ de concreto reciclado, con una relación a/c = 0,50 f'c=235,62 Kg/cm² (3.344 Psi.); resistencia especificada (2.500 – 3.000) Psi.

Detalle	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Agua	lt	171,45	\$ 50,00	\$ 8.572,26
Cemento	Kgf	342,89	\$ 405,17	\$ 138.929,67
Arena	m ³	0,75	\$ 22.844,83	\$ 17.096,93
Agregado Reciclado	m ³	0,70	\$ 19.292,72	\$ 13.563,96
			TOTAL	\$ 178.162,82

Tabla 96. Proporciones de materiales por m³ de concreto reciclado, con una relación a/c = 0,55. f'c=209,32 Kgf/ cm² (2.971 Psi.) para una resistencia especificada (2.500 – 3.000) Psi.

Descripción	Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	SUMATORIA
Volumen Absoluto (dm ³ /m ³ concreto)	171,45	102,54	377,39	348,63	1000,00
Peso Material (Kgf/m ³ concreto)	171,45	311,72	1000,09	843,67	2326,92
Volumen suelto (m ³ /m ³)	0,17	0,30	0,77	0,70	1,94
Proporción en Peso Seco	0,55	1,00	3,21	2,71	
Proporción en Volumen	0,57	1,00	2,57	2,35	

Cantidad de Cemento

6,2 Bultos (50kgf/bulto)

Tabla 97 Costo por m³ de concreto reciclado, con una relación a/c = 0,55 f'c=209,32 Kgf/ cm² (2.971 Psi.); resistencia especificada (2.500 – 3.000) Psi.

Detalle	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Agua	Lt	171,45	\$ 50,00	\$ 8.572,26
Cemento	Kgf	311,72	\$ 405,17	\$ 126.299,70
Arena	m ³	0,77	\$ 22.844,83	\$ 17.574,44
Agregado Reciclado	m ³	0,70	\$ 19.292,72	\$ 13.563,96
			TOTAL	\$ 166.010,36

6.5.2 Concreto fabricado con agregado natural. Para encontrar el valor de 1m³ de concreto con agregado natural se realiza el mismo análisis del concreto fabricado con agregado reciclado, se colocan iguales cantidades en peso para los diferentes materiales, pero el agregado grueso reciclado es sustituido por agregado grueso natural extraído de la cantera “BRICEÑO BAJO” propiedad del señor GERARDO PABON.

En las tablas a continuación se indican las proporciones utilizadas en el diseño de mezclas de concreto con agregado natural y sus respectivos precios unitarios obtenidos de la elaboración de concreto conformados con agregados naturales.

Tabla 98. Proporciones de materiales por m3 de concreto natural, con una relación a/c = 0,45. f'c= 273,29 kg/cm2 (3879 Psi.) para una resistencia especificada (3000 – 3.500) Psi.

Descripción	Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	SUMATORIA
Volumen Absoluto (dm ³ /m ³ concreto)	171,45	125,33	354,60	348,63	1000,00
Peso Material (Kgf/m ³ concreto)	171,45	380,99	939,70	843,67	2335,81
Volumen suelto (m ³ /m ³)	0,17	0,37	0,72	0,60	1,86
Proporción en Peso Seco	0,45	1,00	2,47	2,21	
Proporción en Volumen	0,47	1,00	1,97	1,65	

Cantidad de Cemento

7,6 Bultos (50kgf/bulto)

Tabla 99 Costo por m3 de concreto natural, con una relación a/c = 0,45 f'c= 273,09 kgf/cm2 (3.879 Psi.); resistencia especificada de (2.500 – 3.000) Psi.

Detalle	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Agua	lt	171,45	\$ 50,00	\$ 8.572,26
Cemento	Kgf	380,99	\$ 405,17	\$ 154.366,30
Arena	m ³	0,72	\$ 22.844,83	\$ 16.513,31
Agregado Natural	m ³	0,60	\$ 30.172,41	\$ 18.182,61
			TOTAL	\$ 197.634,49

Tabla 100 Proporciones de materiales por m3 de concreto natural, con una relación a/c = 0,50. f'c=218,76 Kgf/cm2 (3.105 Psi.) para una resistencia especificada (2.500 – 3.000) Psi.

Descripción	Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	SUMATORIA
Volumen Absoluto (dm ³ /m ³ concreto)	171,45	112,79	367,14	348,63	1000,00
Peso Material (Kgf/m ³ concreto)	171,45	342,89	972,91	843,67	2330,92
Volumen suelto (m ³ /m ³)	0,17	0,33	0,75	0,60	1,85

Tabla 101 Proporciones de materiales por m3 de concreto natural, con una relación a/c = 0,50. f'c=218,76 Kgf/cm2 (3.105 Psi) para una resistencia especificada (2.500 – 3.000) Psi (continuación)

Descripción	Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	SUMATORIA
Proporción en Peso Seco	0,50	1,00	2,84	2,46	
Proporción en Volumen	0,52	1,00	2,27	1,83	

Cantidad de Cemento 6,9 Bultos (50kgf/bulto)

Tabla 102 Costo por m3 de concreto natural, con una relación a/c = 0,50 f'c= 218,76 kg/cm2 (3.105 Psi); resistencia especificada de (2.500 – 3.000) Psi

Detalle	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Agua	lt	171,45	\$ 50,00	\$ 8.572,26
Cemento	Kgf	342,89	\$ 405,17	\$ 138.929,67
Arena	m3	0,75	\$ 22.844,83	\$ 17.096,93
Agregado Natural	m3	0,60	\$ 30.172,41	\$ 18.182,61
TOTAL				\$ 182.781,48

Tabla 103. Proporciones de materiales por m3 de concreto natural, con una relación a/c = 0,55. f'c= 202,22 Kgf/cm2 (2.870 Psi) para una resistencia especificada (2.500 – 3.000) Psi

Descripción	Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	SUMATORIA
Volumen Absoluto (dm ³ /m ³ concreto)	171,45	102,54	377,39	348,63	1000,00
Peso Material (Kgf/m ³ concreto)	171,45	311,72	1000,09	843,67	2326,92
Volumen suelto (m ³ /m ³)	0,17	0,30	0,77	0,60	1,84
Proporción en Peso Seco	0,55	1,00	3,21	2,71	
Proporción en Volumen	0,57	1,00	2,57	2,01	

Cantidad de Cemento 6,2 Bultos (50kgf/bulto)

Tabla 104. Costo por m³ de concreto natural, con una relación a/c = 0,55 f'c= 202,22 Kgf/cm² (2.870 Psi); resistencia especificada de (2.500 – 3.000) Psi

Detalle	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Agua	lt	171,45	\$ 50,00	\$ 8.572,26
Cemento	Kgf	311,72	\$ 405,17	\$ 126.299,70
Arena	m ³	0,77	\$ 22.844,83	\$ 17.574,44
Agregado Natural	m ³	0,60	\$ 30.172,41	\$ 18.182,61
			TOTAL	\$ 170.629,01

6.5.3 Concreto fabricado con agregado natural promedio de resistencia a la compresión de 210 kgf/cm² (3.000 Psi). Las cantidades de materiales indicadas en las tablas a continuación son el resultado del diseño de mezcla, para un concreto con una resistencia especificada de 210 kgf/cm² (3.000 Psi). Las proporciones visualizadas en las tablas son los resultados finales con sus respectivos ajustes por humedad y asentamiento.

La caracterización física de los materiales naturales son iguales, debido a que se utiliza agregado grueso natural extraído de la cantera “BRICEÑO BAJO” propiedad del señor GERARDO PABON

Tabla 105. Proporciones de materiales por m³ de concreto natural, con una relación a/c = 0,58. f'c= 210 kgf/cm² (3.000 Psi) para una resistencia especificada (2.500 – 3.000) Psi

Descripción	Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	SUMATORIA
Volumen Absoluto (dm ³ /m ³ concreto)	183,10	103,85	390,49	322,56	1000,00
Peso Material (Kgf/m ³ concreto)	183,10	315,69	1034,79	870,92	2404,51
Volumen suelto (m ³ /m ³)	0,18	0,30	0,80	0,62	1,90
Proporción en Peso Seco	0,58	1,00	3,28	2,76	
Proporción en Volumen	0,61	1,01	2,66	2,08	

Cantidad de Cemento

6,3 Bultos (50kgf/bulto)

Tabla 106. Costo por m³ de concreto natural, con una relación a/c = 0,58 f'c= 210 kgf/cm² (3.000 Psi); resistencia especificada de (3.000) Psi

<i>Detalle</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor unitario</i>	<i>Valor total</i>
Agua	lt	183,10	\$ 50,00	\$ 9.155,11
Cemento	Kgf	315,69	\$ 405,17	\$ 127.910,34
Arena	m ³	0,80	\$ 22.844,83	\$ 18.184,39
Agregado Natural	m ³	0,62	\$ 30.172,41	\$ 18.769,80
			TOTAL	\$ 174.019,65

6.5.4 Concretos fabricados utilizando agregado natural, con especificaciones en tablas y gráficas de diseño de mezclas de concreto. A este grupo pertenecen los concretos hipotéticos que se diseñan a partir de proporciones en volumen dadas en tablas, libros, guías para la construcción y demás. Son diseños que se encuentran en función de la resistencia que se quiere lograr, y que se usa frecuentemente por los profesionales de la construcción.

Se toma las proporciones que obtengan una resistencia a la compresión simple similar a las obtenidas por los concretos realizados con agregado reciclado.

Tabla 107. Proporciones teóricas de materiales por m³ de concreto natural, con una relación a/c = 0,43. Para una resistencia especificada (3555) Psi

Descripción	Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	SUMATORIA
Volumen Absoluto (dm ³ /m ³ concreto)	180,00	138,16	328,68	347,41	994,24
Peso Material (Kgf/m ³ concreto)	180,00	420,00	871,00	938,00	2409,00
Volumen suelto (m ³ /m ³)	0,18	0,40	0,67	0,67	1,92
Proporción en Peso Seco	0,43	1,00	2,07	2,23	
Proporción en Volumen	0,45	1,00	2,00	2,00	

Cantidad de Cemento

8,4 Bultos (50kgf/bulto)

Tabla 108. Costo por m3 de concreto natural teórico para un diseño de mezcla que garantice una resistencia a compresión $f'c = 3.555$ Psi

<i>Detalle</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor unitario</i>	<i>Valor total</i>
Agua	lt	180,00	\$ 50,00	\$ 9.000,00
Cemento	Kgf	420,00	\$ 405,17	\$ 170.172,41
Arena	m ³	0,67	\$ 22.844,83	\$ 15.306,03
Agregado Natural	m ³	0,67	\$ 30.172,41	\$ 20.215,52
			TOTAL	\$ 214.693,97

Tabla 109. Proporciones teóricas de materiales por m3 de concreto natural, con una relación a/c = 0,46. Para una resistencia especificada (3130) Psi

<i>Descripción</i>	<i>Agua</i>	<i>Cemento</i>	<i>Agregado Fino</i>	<i>Agregado Grueso</i>	<i>SUMATORIA</i>
Volumen Absoluto (dm ³ /m ³ concreto)	160,00	115,13	272,26	432,96	980,36
Peso Material (Kgf/m ³ concreto)	160,00	350,00	721,50	1169,00	2400,50
Volumen suelto (m ³ /m ³)	0,16	0,34	0,56	0,84	1,89
Proporción en Peso Seco	0,46	1,00	2,06	3,34	
Proporción en Volumen	0,48	1,00	2,00	3,00	

Cantidad de Cemento

7,0 Bultos (50kgf/bulto)

Tabla 110. Costo por m3 de concreto natural teórico para un diseño de mezcla que garantice una resistencia a compresión de $f'c = 3.130$ Psi

<i>Detalle</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor unitario</i>	<i>Valor total</i>
Agua	lt	160,00	\$ 50,00	\$ 8.000,00
Cemento	Kgf	350,00	\$ 405,17	\$ 141.810,34
Arena	m ³	0,56	\$ 22.844,83	\$ 12.678,88
Agregado Natural	m ³	0,84	\$ 30.172,41	\$ 25.193,97
			TOTAL	\$ 187.683,19

Tabla 111. Proporciones teóricas de materiales por m³ de concreto natural, con una relación a/c = 0,50. Para una resistencia especificada (3000) Psi

Descripción	Agua	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	SUMATORIA
Volumen Absoluto (dm ³ /m ³ concreto)	160,00	105,26	252,64	466,67	984,57
Peso Material (Kgf/m ³ concreto)	160,00	320,00	669,50	1260,00	2409,50
Volumen suelto (m ³ /m ³)	0,16	0,31	0,52	0,90	1,88
Proporción en Peso Seco	0,50	1,00	2,09	3,94	
Proporción en Volumen	0,52	1,00	2,00	3,50	

Cantidad de Cemento

6,4 Bultos (50kgf/bulto)

Tabla 112 Costo por m³ de concreto natural teórico para un diseño de mezcla que garantice una resistencia a compresión de f'c= 3.000 Psi

Detalle	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Agua	lt	160,00	\$ 50,00	\$8.000,00
Cemento	Kgf	320,00	\$ 405,17	\$129.655,17
Arena	m ³	0,52	\$ 22.844,83	\$11.765,09
Agregado Natural	m ³	0,90	\$ 30.172,41	\$27.155,17
			TOTAL	\$176.575,43

6.6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO NO CONVENCIONAL Y CONVENCIONAL

Debido a que uno de los principales intereses del constructor esta en producir concreto con la resistencia requerida a bajo costo, se evalúa la viabilidad económica del concreto con agregado reciclado por medio de tablas de comparación en las que se muestra el porcentaje de ahorro que se obtiene en la implementación del agregado reciclado para la fabricación de los diferentes concretos.

Tabla 113. Relación de costos según relación a/c para concreto realizado con agregado reciclado y agregado natural durante la investigación

Relación A/C	Reciclado (\$)	Natural (\$)	Disminución con respecto al concreto con agregado natural (%)
0,45	\$ 193.016	\$ 197.634	2,34%
0,50	\$ 178.163	\$ 182.781	2,53%
0,55	\$ 166.010	\$ 170.629	2,71%

Tabla 114. Relación de costos según resistencias obtenidas para concretos conformados con agregados reciclados y concretos con agregado natural diseñados según tablas de construcción con agregado natural

Resistencia aproximada Kg/cm² (Psi)	Reciclado (\$)	Natural (\$)	Disminución con respecto al concreto con agregado natural (%)
245 (3.500)	\$ 193.016	\$ 214.694	10,10%
217 (3.100)	\$ 178.163	\$ 187.683	5,07%
210 (3.000)	\$ 166.010	\$ 176.575	5,98%
210 (3.000)*	\$ 166.010	\$ 174.020	4,60%

* Concreto realizado según diseño de mezclas para garantizar 3000.Psi para los agregados naturales empleados en la investigación.

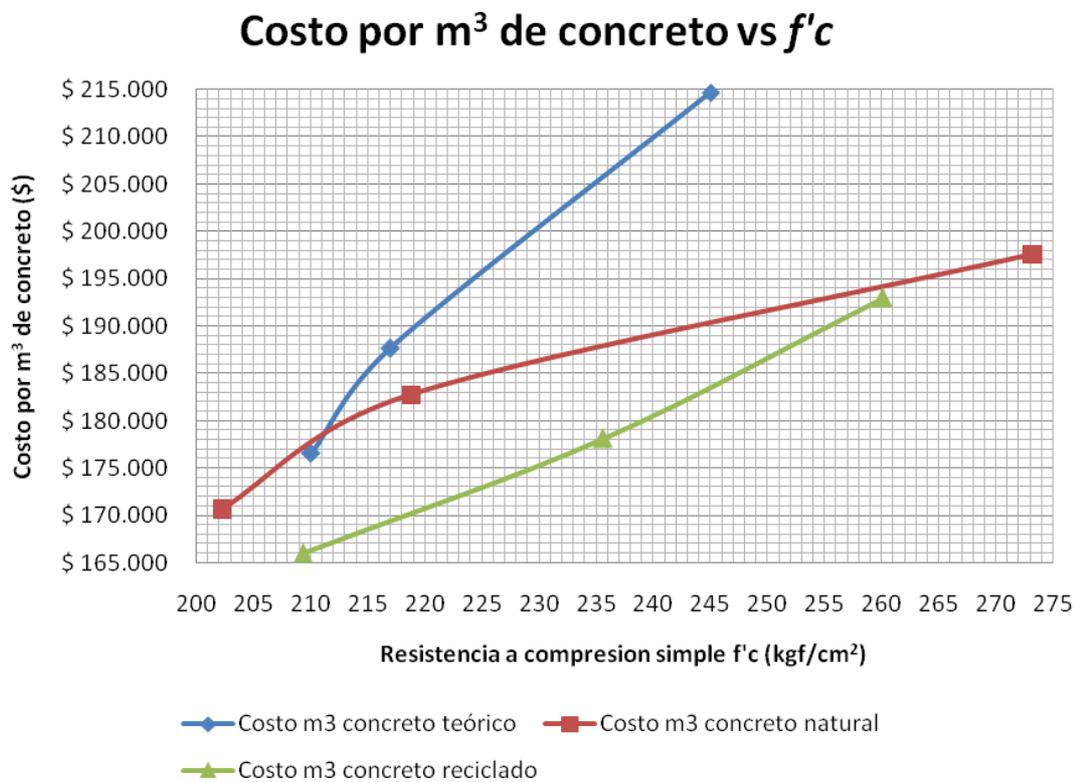
El Concreto con agregado grueso reciclado es económicamente factible con una disminución del costo por metro cubico de concreto que varía entre 2,3% y 2,7% frente al concreto fabricado con agregado natural; utilizando las proporciones realizadas durante la investigación, además de una disminución entre un 4,6 % y 10.1 % en comparación con las proporciones teóricas obtenidas en las tablas y gráficas de diseño de mezclas de concreto.

Con los resultados visualizados en las tablas anteriores de comparación de los dos concretos, se estimula a los profesionales de la construcción para que desarrollen proyectos en los que implementen el agregado reciclado en la fabricación de concreto.

En la siguiente gráfica se encuentra el costo por m³ (\$) de concreto representado por las ordenadas y la resistencia a la compresión simple f'c (kgf/cm²) indicado por las abscisas.

El gráfico representa 3 tipos de líneas las cuales se muestra el costo por m³ de concreto con agregado natural calculado con tablas de diseño de mezclas de concreto, costo por m³ de concreto con agregado reciclado y costos por m³ de concreto con agregado natural utilizando iguales proporciones de materiales que el concreto con agregado reciclado.

Figura 76. Gráfico f'c vs Costo por m³ de concreto



Como se puede observar en la gráfica, para una misma resistencia a la compresión simple, se obtiene que los concretos reciclados son más económicos que los concretos fabricados con agregado natural, este comportamiento se mantiene hasta los 260 Kgf/cm², en los que se observa que la tendencia de los agregados reciclados es aumentar el costo por encima de los concretos fabricados con agregado natural, de cualquier modo, el costo de fabricar concretos superiores a 210 Kgf/cm² con las proporciones de las tablas de construcción se incrementa en gran medida, siendo lo más sensato el realizar un diseño de mezcla adecuado para este tipo de concretos.

7. ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN

El proyecto de investigación denominado “EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL CONCRETO NO CONVENCIONAL FABRICADO A PARTIR DE AGREGADOS PROVENIENTES DEL RECICLAJE DE ESCOMBROS DE CONCRETO” se presentó y se socializo de diversas formas:

7.1 EVENTOS ACADÉMICOS NACIONALES E INTERNACIONALES (CONGRESOS, SEMINARIOS, TALLERES)

El proyecto participo en el VI congreso latinoamericano de estudiantes de Ingeniería. Civil, realizado en la ciudad de Guadalajara Jalisco del 16 al 21 de febrero; bajo la temática “ECOLOGÍA Y RECURSOS NATURALES”, En este evento se obtuvo una destacada participación y la asociación nacional de estudiantes de ingeniería civil ANEIC México galardono a la investigación con el título de mejor ponencia estudiantil presentada en el evento

77. Certificado ANEIC México Primer lugar en Ponencias Estudiantiles

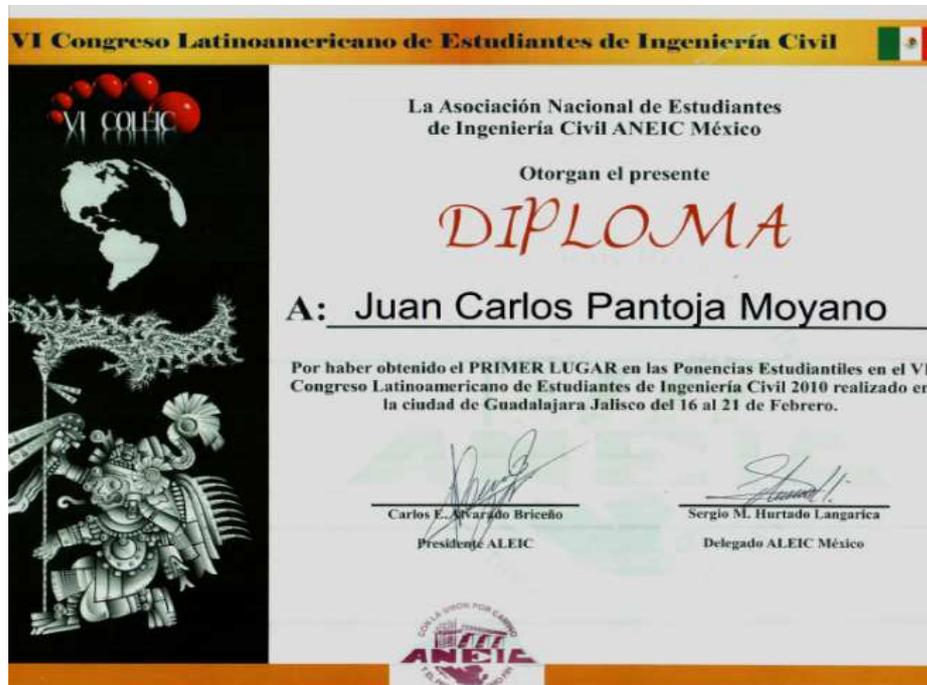


Figura 78. Certificado ANEIC México Primer lugar en Ponencias Estudiantiles



El proyecto se presentó en el XVIII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA CIVIL, realizado en la ciudad de Trujillo- Perú del 23 al 27 de agosto de 2010; bajo la temática "MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN".

Este evento académico es considerado el de mayor relevancia en el territorio de Perú, siendo el objetivo principal el contribuir con el desarrollo Nacional e Internacional, integrando conocimientos e investigaciones para poder tener alternativas de solución a los problemas que aqueja a los países de la región, evento en el cual se obtuvo una destacada participación.

Figura 79 Certificado CONEIC Trujillo Ponente Estudiantil



Figura 80 Certificado CONEIC Trujillo Ponente Estudiantil



7.2 DIFUSIÓN EN MEDIOS INFORMATIVOS DE CARÁCTER REGIONAL, NACIONAL E INCLUSO INTERNACIONAL (RADIO, TELEVISIÓN, PRENSA)

Con el propósito de dar a conocer el proyecto y sus conclusiones de forma masiva se realizaron diferentes entrevistas en medios de comunicación reconocidos como: Caracol noticias en su emisión del medio (fecha de emisión 05/03/2010); Diario del sur en su ediciones (05/03/2010 y 07/03/2010); Periódico institucional del Universidad de Nariño en su edición Abril del 2010; revistas de instituciones gubernamentales como la revista Suceso 136 (Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS; páginas 12 y 13)

Figura 81. Reconocimiento Caracol noticias



Figura 82. Reconocimiento Diaria del Sur (Vida en la U)



DIARIO DEL SUR
8B Vida en la U

Nariño se destacó entre 1.200 participantes

México reconoció trabajo de ingenieros de la Udenar

Los recién egresados obtuvieron el primer lugar en calidad de ponencias por su propuesta de reutilizar el concreto que sale de las demoliciones.

México reconoció el trabajo de Juan Carlos Pantoja y Diego Cupacán López, dos ingenieros civiles recién egresados de la Universidad de Nariño quienes entre 27 propuestas de jóvenes de Latinoamérica recibieron el primer lugar en un congreso internacional con su propuesta de reutilizar el concreto que sale de las demoliciones.

Los nariñenses interesados en el tema del cuidado ambiental plantearon este trabajo preocupados por ver como los escombros que quedan de las demoliciones que se hacen de grandes y pequeñas edificaciones son enterrados en rellenos de escombreras, los cuales con el tiempo se terminarán porque en ciudades como Pasto ya no habrá espacio, además del grave daño que provocan.

Diego Cupacán en diálogo con DIARIO DEL SUR aseguró que toda acción de construcción lleva implícita una actividad de demolición de materiales, incluido el concreto, lo que hace necesario que esto se haga basado en un uso sostenible de los recursos.

Cupacán indicó que con su investigación contribuyen al conocimiento del material extraído y a su fomento como alternativa por tener buenas especificaciones técnicas y ventajas económicas siendo amigables con el medio ambiente.

“La reducción a la resistencia medida con ensayos de cilindros a la compresión simple es apenas del 5% basado en comparaciones con materiales nuevos de nuestra región, esto sin necesidad de aditivos”, dijo el ingeniero.

Diego manifestó que la experiencia vivida en México, durante nueve días, en el VI Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Ingeniería Civil es única porque conocieron a estudiantes de toda América Latina, quienes presentaron investigaciones muy novedosas y llenas de trabajo, por eso afirma que el reconocimiento los tomó por sorpresa en el momento que los nombraron, en segundo lugar quedó Venezuela y tercero México.

En este importante evento expusieron su trabajo de investigación titulado “Evaluación técnica y económica del concreto no convencional fabricado a partir de agregados provenientes del reciclaje de escombros de concreto”, por el cual fueron galardonados con el primer lugar en calidad de ponencias estudiantiles.

Diego Cupacán

Figura 83 Reconocimiento Diaria del Sur (Gente)

99 **El Comercio**
 15 de mayo de 2011

EL COMERCIO
GENTE

Ingenieros de Pasto recibieron premio internacional

Reciclaje de concreto, una nueva alternativa para la construcción

Juan Carlos y Diego esperan que a través de su trabajo el Gobierno Nacional se preocupe por crear leyes que obliguen a los constructores a reciclar el concreto que sale de las demoliciones.

Por Juan Carlos Paredes y Diego Cuevas, ingenieros de la Universidad de Nariño, sobre que se investigó sobre el reciclaje de concreto en una investigación titulada "Reciclaje de concreto para la construcción de una vivienda de bajo costo".

Algunos que lo ven como algo de ciencia ficción, al realizar un estudio de ingeniería civil que se realizó en Copacabana, y una muestra que los llevó a realizar un estudio de reciclaje de concreto para utilizarlo en la construcción de una vivienda de bajo costo.

El reciclaje de concreto es un proceso que consiste en separar el concreto de los escombros de las demoliciones y utilizarlo en la construcción de nuevas estructuras. Este proceso es beneficioso para el medio ambiente y para la economía, ya que reduce el consumo de materiales y energía.

Juan Carlos y Diego, ingenieros de la Universidad de Nariño, realizaron el primer estudio en el país sobre el reciclaje de concreto en una vivienda de bajo costo.

El estudio se realizó en Copacabana, donde se construyó una vivienda de bajo costo utilizando concreto reciclado. Los resultados mostraron que el uso de concreto reciclado es viable y beneficioso.

Los autores esperan que este estudio sirva como ejemplo para otros investigadores y que el Gobierno Nacional tome medidas para promover el reciclaje de concreto.

El estudio se realizó en Copacabana, donde se construyó una vivienda de bajo costo utilizando concreto reciclado.

El estudio se realizó en Copacabana, donde se construyó una vivienda de bajo costo utilizando concreto reciclado. Los resultados mostraron que el uso de concreto reciclado es viable y beneficioso.

Los autores esperan que este estudio sirva como ejemplo para otros investigadores y que el Gobierno Nacional tome medidas para promover el reciclaje de concreto.

El estudio se realizó en Copacabana, donde se construyó una vivienda de bajo costo utilizando concreto reciclado. Los resultados mostraron que el uso de concreto reciclado es viable y beneficioso.

El estudio se realizó en Copacabana, donde se construyó una vivienda de bajo costo utilizando concreto reciclado.

El estudio se realizó en Copacabana, donde se construyó una vivienda de bajo costo utilizando concreto reciclado. Los resultados mostraron que el uso de concreto reciclado es viable y beneficioso.

Los autores esperan que este estudio sirva como ejemplo para otros investigadores y que el Gobierno Nacional tome medidas para promover el reciclaje de concreto.

El estudio se realizó en Copacabana, donde se construyó una vivienda de bajo costo utilizando concreto reciclado. Los resultados mostraron que el uso de concreto reciclado es viable y beneficioso.

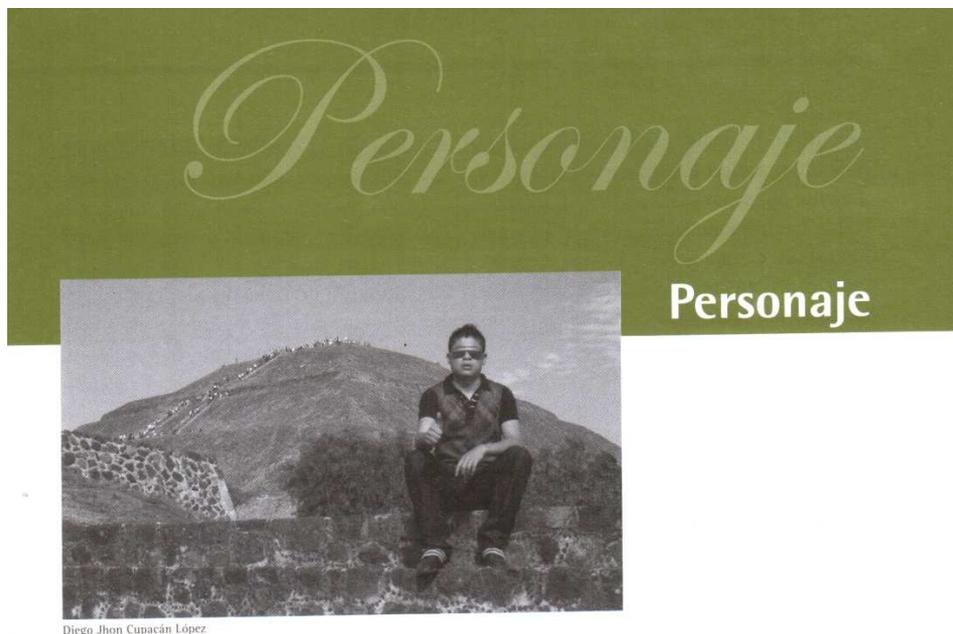
El estudio se realizó en Copacabana, donde se construyó una vivienda de bajo costo utilizando concreto reciclado.

El estudio se realizó en Copacabana, donde se construyó una vivienda de bajo costo utilizando concreto reciclado. Los resultados mostraron que el uso de concreto reciclado es viable y beneficioso.

Los autores esperan que este estudio sirva como ejemplo para otros investigadores y que el Gobierno Nacional tome medidas para promover el reciclaje de concreto.

El estudio se realizó en Copacabana, donde se construyó una vivienda de bajo costo utilizando concreto reciclado. Los resultados mostraron que el uso de concreto reciclado es viable y beneficioso.

Figura 84. Reconocimiento revista INGEOMINAS (Personaje)



Diego Jhon Cupacán López

Aporte a la ingeniería y al medio ambiente

Este ingeniero civil de la Universidad de Nariño, vinculado actualmente al Observatorio Vulcanológico y Sismológico y a centros de estudios e investigación de Pasto, su ciudad natal, a los 23 años de edad tiene un horizonte inmenso y su futuro se contempla como un territorio enorme y abonado, listo para ser sembrado. No hay nada que logre interferir entre lo imaginable y aquello que se puede poner en práctica, pues para él todo es posible y más si se trata de cuidar el planeta, que cada día se ve más afectado por nuestra falta de conocimiento y de conciencia ecológica.

Diego y su compañero de universidad, Juan Carlos Pantoja, son dos jóvenes ingenieros interesados en analizar temas que contribuyan a defender y proteger la naturaleza y el medio ambiente y, por supuesto,

a mejorar la calidad de vida de los seres humanos; ellos hicieron una investigación sobre reciclaje de concreto titulada "Evaluación técnica y económica del concreto no convencional, fabricado a partir de agregados provenientes del reciclaje de escombros de concreto", estudio que obtuvo, entre 27 ponencias, el primer premio en el VI Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Ingeniería Civil, llevado a cabo del 16 al 21 de febrero del presente año, en la ciudad de Guadalajara (México).

Su objetivo es lograr que profesionales y obreros de los sectores de la construcción tengan en cuenta en sus proyectos la reutilización de todo el material de concreto que queda de las demoliciones, pues "no existe justificación para no hacerlo, dado que es viable técnicamente, aparte de ser

Figura 85. Reconocimiento revista INGEOMINAS (Personaje) (Continuación)

económico y proteger la naturaleza”, como lo manifestó Diego en una reciente entrevista para un medio de Pasto; así mismo, estos profesionales esperan que su investigación ayude a que el gobierno nacional se preocupe por expedir una serie de normas que estimulen y promuevan el uso del material reciclable.

Para este joven ingeniero y su compañero de proyecto fue un arduo pero satisfactorio trabajo, puesto que al pedir apoyo a personas y empresas relacionadas con el tema de la investigación, notaron que muchas de ellas desconocían los alcances y beneficios del estudio, como el reciclaje de concreto; no obstante, merced a su persistencia, algunas personas y empresas les prestaron ayuda con materiales para realizar las pruebas de experimentación y otras les facilitaron las plantas y laboratorios para los análisis de pruebas tales como la manejabilidad y resistencia de materiales.

Gracias al apoyo recibido en sus estudios y proyectos, Diego pudo hacer realidad ese sueño que tenía desde pequeño, motivado en parte por su padre (constructor durante toda su vida) y su hermana (bióloga), que le inculcaron ese interés por la protección del medio ambiente.

Su meta para este año es trabajar en la segunda parte del proyecto junto con el centro de investigaciones de su ciudad, pues el material de concreto procedente de los alrededores del volcán Galeras es de gran importancia debido a sus componentes, que permiten que se pueda reutilizar en la construcción de edificaciones más fuertes.

Diego y Juan Carlos desean compartir este proyecto con empresas, universidades, ingenieros y personas que se interesen en el reciclaje de materiales de demolición, los cuales se pueden comunicar a los correos diegocupacan@gmail.com, o qpakn@hotmail.com, o a los teléfonos 736 5937 y 301 7894902.

Mil felicitaciones para Diego, nuestro personaje en esta edición de *Sucesos*.



En la foto Juan Carlos Pantoja Moyano y Diego Jhon Cupacán López.

Sabías que... reciclar una tonelada de papel
ahorra: 17 árboles, 2 barriles de petróleo y 4.100
Kilowatios de energía.
www.natgeo.tv

Día de la Tierra, 22 de abril

7.3 PUBLICACIÓN A TRAVÉS DE INTERNET

La investigación se divulgó de forma escrita en Internet a través de un Blog donde se publicó la importancia de reutilizar concreto reciclados.

ESTUDIANTES DE LA UDENAR OBTIENEN PRIMER LUGAR EN CONGRESO DE INGENIERÍA CIVIL EN MÉXICO



Juan Carlos Pantoja Moyano y Diego John Edison Cupacán López, estudiantes del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño, participaron en calidad de conferencistas en el **VI Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Ingeniería Civil en Guadalajara (México)**, que se realizó del 16 al 21 de febrero. En este importante evento expusieron su trabajo de investigación titulado “Evaluación Técnica y Económica del Concreto No Convencional Fabricado a Partir de Agregados Provenientes del Reciclaje de Escombros de

Concreto”; por el cual fueron galardonados con el primer lugar en calidad de ponencias estudiantiles. Los estudiantes además de dejar en alto el nombre de la juventud colombiana y nariñense, también lo hicieron con la Facultad de Ingeniería y el Programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño.

“Hoy por hoy, en el reacomodo de nuestras ciudades a nuevas necesidades, toda acción de construcción tiene implícita una actividad de demolición de materiales, incluido el concreto, lo que hace necesario que esto se haga basado en un uso sostenible de los recursos; una vía es reinsertando al ciclo de vida, los residuos. Esta investigación contribuye al conocimiento del material extraído y a su fomento como alternativa por tener buenas especificaciones técnicas y ventajas económicas siendo amigables con el medio ambiente. La reducción a la resistencia medida con ensayos de cilindros a la compresión simple es apenas del 5% basado en comparaciones con materiales “nuevos” de nuestra región, esto sin necesidad de aditivos” (Tomado del Abstrac).



Refiriéndose a este triunfo, el Decano de la Facultad de Ingeniería, Ing. Michel Bolaños afirmó: “Nos permitimos felicitar públicamente a nuestros estudiantes y desearles éxitos en la parte final de su carrera y en su futura vida profesional, la que será guiada por la búsqueda de la calidad y la innovación, como muestra de la capacidad de la juventud nariñense, de la Universidad de Nariño, la Facultad de Ingeniería y el Departamento de Ingeniería Civil. También deseamos agradecer a sus familias y a las autoridades universitarias de la administración del Dr.

Silvio Sánchez Fajardo que hicieron posible su participación”.

Mayor Información:

Michel Bolaños Guerrero I. C. Esp.

Decano Facultad de Ingeniería Udenar – Tel: 7316055 Ext. 207

decaing@udenar.edu.co

Pastoaldia.com / De interés



Universitarios pastusos demuestran que los escombros se pueden reutilizar

Marzo 06 de 2010 | 12:24 am

Diego Cupacán y Juan Carlos Pantoja, entregarán a finales de este mes el proyecto con el que completarán su formación como Ingenieros Civiles en la Universidad de Nariño.

A sus 22 años los dos jóvenes pastusos, ahora se preparan para recorrer varios escenarios académicos del mundo en los que darán a conocer los pormenores de su trabajo de grado calificado como el mejor entre 70 presentados por delegaciones de 15 países reunidas en el VI Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Ingeniería Civil, en Guadalajara, México.

En su investigación, los dos estudiantes intentaban por un lado, encontrar la forma de ocasionar el menor impacto ambiental cuando se emprenden proyectos de construcción y en los que se utilizan recursos naturales como arena, rocas y agua, entre otros y por otro el de abaratar los costos que implican los proyectos de obra.

El Volcán Galeras comprometido

Por su cercanía con el Volcán Galeras la ciudad de Pasto, posee suelos compuestos por rocas ígneas y otro tipo de material volcánico, situación que obliga a los constructores a transportar el material utilizado para las obras desde otros lugares, ocasionando un incremento en el valor de las mismas.

El primer descubrimiento de los estudiantes fue que el material volcánico sometido a algunos procesos químicos sencillos, también se comporta de manera adecuada para ser utilizado en la construcción.

Ese fue el primer paso para introducir en sus proyectos otro tipo de materiales incluyendo los que quedaban luego de las demoliciones. Varios ensayos e investigaciones que duraron alrededor de seis meses concluyeron con el logro más importante de los dos alumnos universitarios.

Frente a los resultados del laboratorio Diego y Juan Carlos concluyeron que los escombros no solo ofrecían mejores características que los materiales normales utilizados en las construcciones sino que además generaban un ahorro de casi el 30 por ciento de los recursos económicos.

Las evaluaciones fueron contrastadas y analizadas por Ingenieros Civiles que avalaron el trabajo realizado por los universitarios.

Esperanza para las zonas de desastre

Según los propios estudiantes el hallazgo también brindará mayores posibilidades a los ingenieros civiles de adelantar procesos de reconstrucción con mayor agilidad y en condiciones extremas en donde sea difícil la consecución de materiales.

“fue muy desafortunado lo que pasó en Chile y Haití, pero con esta tecnología, y por la gran demanda de materiales, seguramente la gente se verá obligada a utilizar los escombros para iniciar la reconstrucción de edificaciones en las zonas más afectadas”, señaló Juan Carlos Pantoja.

Otro de los reconocimientos para los universitarios fue para su propuesta de reciclar materiales y de esa forma concretar prácticas amigables con el planeta.

“los ingenieros civiles poco nos preocupamos por encontrar la utilidad de materiales ya usados, pero con este trabajo queda demostrado que también los escombros pueden beneficiarnos enormemente”, puntualiza Diego Cupacán

Dos universitarios descubrieron el proceso adecuado para reutilizar los materiales de escombros en las nuevas construcciones, haciendo más económico el trabajo y disminuyendo la afectación al medio ambiente.

7.4 SOCIALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN CON ESTUDIANTES DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

Figura 86. Exposición estudiantes de Arquitectura



7.5 SE DISCUTIÓ EL PROYECTO Y SUS CONCLUSIONES A LA COMUNIDAD CIENTÍFICA, EMPRESAS PÚBLICAS Y PRIVADAS DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

la investigación tuvo la oportunidad de ser presentada en la fábrica de Concretos reciclados de la ciudad de México, Delegación Iztapalapa, México, D.F.

Figura 87. Visita planta "CONCRETOS RECICLADOS S.A", Delegación Iztapalapa México D.F



8. CONCLUSIONES

El concreto reciclado se puede utilizar cumpliendo los estándares de la norma NSR 98 para la construcción de estructuras convencionales.

El comportamiento del concreto para relaciones a/c menores a 0,48 está determinado por las propiedades mecánicas del agregado grueso, razón por la cual el agregado natural obtiene una mayor resistencia a compresión.

El comportamiento del concreto para relaciones a/c mayores a 0,48, está determinado por la capacidad de absorción de agua del agregado grueso en la mezcla, razón por la cual el agregado reciclado obtiene una mayor resistencia a compresión.

Las propiedades que presentan los agregados reciclados cumplen con los requerimientos para materiales de construcción especificados por las Normas Técnicas Colombianas e INVIAS.

En ausencia del control de la norma NSR 98 con respecto al peso volumétrico, los concretos con agregado reciclado son clasificados como concretos clase dos, según la norma NRF-157(Norma Mexicana).

El concreto reciclado con una granulometría controlada y un diseño de mezcla, produce un comportamiento mecánico equivalente a un concreto convencional.

La resistencia a la compresión simple promedio del concreto con agregado reciclado para una relación a/c de 0,45 es de 260 kg/cm², para una relación a/c de 0,50 es de 235 kg/cm² y para una relación a/c de 0,55 es de 209 kg/cm².

La resistencia a la compresión del concreto con agregado reciclado se ve disminuida en un 10 %, para la relación a/c de 0,45 frente a la resistencia del concreto fabricado con agregado natural.

La resistencia a la compresión del concreto con agregado reciclado se aumenta en un 9,5%, para la relación a/c de 0,5, y en un 4% para la relación a/c de 0,55, frente a la resistencia del concreto fabricado con agregado natural.

Los resultados de los cilindros sometidos a compresión simple demostraron que el comportamiento mecánico del concreto reciclado es mayor que los concretos con agregados naturales para relaciones a/c mayores de 0,48.

La resistencia de los concretos con agregado reciclado es mayor a la de los concretos convencionales para consumos de cementos menores de 360 kg/m^3 .

El ensayo de compresión simple de cilindros de concreto da como resultado que la falla del concreto no se produjo en los agregados reciclados, si no en el enlace entre la pasta-agregado.

El peso específico del agregado reciclado determina las características que presenta el concreto reciclado en estado fresco y endurecido.

La pasta de cemento adherida al agregado reciclado, produce un porcentaje de absorción del 5%.

Los concretos fabricados con agregado reciclado requieren de mayores consumos de agua que los concretos convencionales para alcanzar revenimientos similares.

El concreto reciclado sufre una pérdida de asentamiento menor a la sufrida por el concreto convencional en el transcurso del tiempo.

El módulo de rotura del concreto con agregado reciclado para una relación a/c 0,45 es en promedio 4,3 MPa, para 0,50 es en promedio 3,8 MPa y para 0,55 es en promedio 3.5 MPa

Según el INVIAS, los concretos reciclados con relación a/c 0,45 son recomendados para un diseño de pavimento que involucre un tráfico de 150 – 300 camiones/día,

El módulo de elasticidad estático del concreto con agregado reciclado disminuye un 35% en comparación con el correspondiente valor para concretos con agregados naturales.

El módulo de elasticidad estático del concreto reciclado para una relación a/c de 0,50 es en promedio 11.700 Mpa, y para una relación a/c 0,55 es en promedio 11.650 MPa.

La relación de poisson del concreto con agregado reciclado es en promedio 0,25, razón por la cual los concretos reciclados para una misma deformación vertical tienen una mayor deformación horizontal.

La relación de poisson de los concretos reciclados es 24% mayor a la del concreto con agregado natural.

Según la clasificación otorgada por la norma NTC 4325 "MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL PULSO ULTRASÓNICO A TRAVÉS DEL CONCRETO", clasifica al concreto reciclado como "Bueno" según la

clasificación de la calidad del concreto de peso normal con base en la velocidad de pulso ultrasónico

La velocidad de pulso ultrasónico del concreto con agregado reciclado para una relación a/c 0,50 es en promedio 3,7 km/s, y para una relación a/c 0,55 es en promedio 3,8 km/s.

El concreto reciclado es más económico que el concreto convencional para resistencias menores a 260 kg/cm^2

A 15 de julio de 2010, la fabricación de un metro cubico de agregado reciclado de un tamaño desde $1 \frac{1}{2}'' - \frac{3}{4}''$ es \$13.885,96 y para un metro cubico de agregado reciclado de un tamaño desde $\frac{3}{4}''$ -No. 4 es \$18.453,56.

A 15 de julio de 2010, la fabricación de un metro cubico de agregado reciclado de según la granulometría empleada en la tesis es \$16.077,77.

El metro cubico de concreto reciclado en promedio es 2.5% más económico con respecto a un concreto con agregado convencional fabricado con los mismos pesos.

El metro cubico de concreto reciclado en promedio es 6% más económico que el concreto convencional realizado con las dosificaciones de valores teóricos para similares resistencias.

Al 15 de julio de 2010, el costo de un m^3 de concreto reciclado de 210 kg/cm^2 es \$ 166.010,36.

En Colombia es necesario expedir leyes ambientales tendientes a establecer una legislación adecuada que regule el uso de los residuos de concreto, para ser reciclados, cumpliendo con los requisitos mínimos de calidad.

El uso adecuado del concreto reciclado mitiga el impacto ambiental que producen los escombros de concreto.

El uso eficiente de los agregados reciclados reactiva la economía del país coadyuvando el desarrollo social.

9. RECOMENDACIONES

Investigar la aplicación del módulo de elasticidad del concreto con agregado reciclado para el análisis estructural en edificaciones sismoresistentes y el uso del módulo de rotura del concreto reciclado en el diseño de estructuras de pavimento

Investigar el uso del escombros de concreto pasante del tamiz No.4 para la aplicación en estucos, repellos y pañetes.

Estudiar con una granulometría adecuada se debe el uso del agregado reciclado para la estabilización de bases y sub-bases

Implementar un sistema de gestión y control de calidad en la recepción del concreto que se recicla, para predecir el comportamiento de las características y propiedades del nuevo concreto fabricado.

Proyectar el uso eficiente de maquinaria con altos rendimientos una vez que se industrialice en el medio la producción de agregado reciclado.

Estudiar los volúmenes de escombros generados diariamente por las ciudades para establecer la existencia de escombros suficiente que satisfaga la demanda del agregado reciclado.

BIBLIOGRAFÍA

GÓMEZ Soberón, J.M.V; Agulló Fité, LI.; Vázquez Romanich, E. Propiedades físicas y mecánicas de los agregados reciclados de concreto. "Tecnología y construcción", Editorial Intituo Mexicano del cemento y del Concreto. 2002, XIII-157, 10-22

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN, Grama Editores, Cuarta edición Agosto 2006. 230 p.

SANCHEZ, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Bhandar Editores. Biblioteca de la Construcción, 2 ed. 349 p.

NETGRAFÍA

BEDOYA; Carlos. EL CONCRETO RECICLADO CON ESCOMBROS COMO GENERADOR DE HÁBITATS URBANOS SOSTENIBLES: La ciudad como ecosistema semi-cerrado, una utopía cultural. Medellín. 2003. 98 h. Trabajo de Grado (Magister en Habitación) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Arquitectura. [En Línea] <<http://agora.unalmed.edu.co/docs/tesis01.PDF>> [Citado en 10 de Agosto de 2009]

ESTEFANO, Márcio; Assis, Cássia. Aderencia do Concreto Produzido com Agregado Reciclado. En: EXACTA Centro Universitario Nove de Julho (UNINOVE)[En Línea]. No 001 (2006) <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=81040114>> [Citado en 10 de Agosto de 2009]

HINCAPIE, Ángela; AGUJA, Elisa. Agregado Reciclado para Morteros. En: REVISTA Universidad EAFIT [En línea]. No 132 (2003) <http://evirtual.lasalle.edu.co/info_basica/nuevos/guia/GuiaClaseNo.3.pdf> [Citado en 10 de Agosto de 2009]

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Demolición y reciclaje del concreto y la mampostería. [En Línea] <<http://www.imcyc.com/revista/1998/junio/rilem.htm>> [Citado en 10 de Agosto de 2009]

MARTINEZ, Iris; Mendoza, Carlos. Comportamiento Mecánico De Concreto Fabricado Con Agregados Reciclados. En: INGENIERÍA Investigación y Tecnología VII. 3. 151-164, 2006 [En Línea] <<http://scielo.unam.mx/pdf/iit/v7n3/v7n3a02.pdf>> [Citado en 10 de Agosto de 2009]

ROLÓN AGUILAR J. C.; Nieves Mendoza D.; Huete Fuertes R.; Blandón González B.; Terán Gilmore A.; Pichardo Ramírez R. Caracterización del hormigón elaborado con áridos reciclados producto de la demolición de estructuras de hormigón. [En Línea]. <<http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/61/74>> [Citado en 10 de Agosto de 2009].

ZEGA, C.J y DI MAIO, A.A. Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigón. IMME. [En Línea]. jul. 2007, vol.45, no.2 [citado 10 Agosto 2009], p.1-11. Disponible en la World Wide Web: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2007000200001&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0376-723X.

ANEXOS

**ANEXO A. DATOS DE LABORATORIO
ESTUDIO DE AGREGADO RECICLADO**

ANEXO B. DATOS DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Agregado grueso (grava reciclada)		
Densidad aparente seca:	2,42	gr/cm ³
Tamaño máximo:	1 1/2"	
Tamaño máximo nominal	1"	
Porcentaje de absorción:	5,42	%
Masa unitaria suelta:	1,20	gr/ cm ³
Porcentaje de humedad:	0,00	%

Agregado fino (arena negra)		
Densidad aparente seca:	2,65	gr/ cm ³
Porcentaje de absorción:	4,62	%
Masa unitaria suelta:	1,30	gr/ cm ³
Módulo de finura	3,73	
Porcentaje de humedad:	3,30	%

Porcentaje grava (%g)	0,49	49,00	%
Porcentaje arena (%f)	0,51	51,00	%

CEMENTO		
Peso específico	3,04	gr/cm ³
Masa Unitaria suelta	1,04	gr/cm ³

AGUA		
Peso específico	1,00	gr/cm ³
Masa Unitaria suelta	1,00	gr/cm ³

Asentamiento escogido	5,00	cm
Tamaño máximo del agregado	1 1/2"	
Estimación del agua en la mezcla	A=	170,0 kg/m ³
Estimación de aire atrapado	a=0,01	mm

Selección de las relaciones a/c Mezcla 1 0,5

Cálculos del contenido de cemento

Estimación de aire atrapado

Selección de las relaciones a/c	Mezcla 2	Mezcla 3
	0,50	0,55

Cálculos del contenido de cemento

C=A/AC =	340,00	kg/ m ³	Mezcla 2
C=A/AC =	309,09	kg/ m ³	Mezcla 3

Volumen que ocupará la masa de cemento

Vc=	0,12	m ³ / m ³	Mezcla 1
Vc=	0,11	m ³ / m ³	Mezcla 2
Vc=	0,10	m ³ / m ³	Mezcla 3

Volumen de Agregados por metro cubico

Volumen de agregado=1- (Vol. Agua + Vol. Cemento+Vol.Aire)

Volumen de agregado (vt)= 0,72 0,01 Mezcla 2

Volumen de agregado (vt)= 0,73 0,01 Mezcla 3

Estimación del contenido de grava y arena

Como la densidad aparente de la grava ($d_g = 2420 \text{ kg/ m}^3$) difiere muy poco de la densidad de la arena ($d_f=2650 \text{ kg/ m}^3$) entonces se puede utilizar la siguiente expresión

$d_{prom} =$ densidad aparente promedio

$d_{prom} = (\%f) \cdot (d_f) + (\%g) \cdot (d_g)$

$$d_{prom} = 2537,30 \text{ Kg/ m}^3$$

Pesos de la grava y arena

$W_f = d_{prom} \cdot V_t \cdot \%f$ 929,31 Mezcla 2

$W_f = d_{prom} \cdot V_t \cdot \%f$ 942,47 Mezcla 3

$W_g = d_{prom} \cdot V_t \cdot \%g$ 892,87 Mezcla 2

$W_g = d_{prom} \cdot V_t \cdot \%g$ 905,51 Mezcla 3

9. Cantidades para 1m³ de concreto

	Material	Peso	Densidad	Volumen
		W (Kg/ m ³)	D (Kg/ m ³)	V (m ³ / m ³)
Mezcla 2	Cemento	340,00	3040,00	0,11
	Agua	170,00	1000,00	0,17
	Aire	0,00	0,00	0,00
	Grava	892,87	2420,00	0,37
	Arena	929,31	2650,00	0,35

Mezcla 3	Material	Peso	Densidad	Volumen
----------	----------	------	----------	---------

		W (Kg/ m ³)	D (Kg/ m ³)	V (m ³ / m ³)
	Cemento	309,09	3040,00	0,10
	Agua	170,00	1000,00	0,17
	Aire	0,00	0,00	0,00
	Grava	905,51	2420,00	0,37
	Arena	942,47	2650,00	0,36

Proporciones iniciales en peso seco

Mezcla 2	AGUA	Cemento	Arena	Grava
Peso Material (kg/ m ³)	170,00	340,00	929,31	892,87
Proporciones en peso seco	0,50	1,00	2,73	2,63

Mezcla 3	AGUA	Cemento	Arena	Grava
Peso Material (kg/ m ³)	170,00	309,09	942,47	905,51
Proporciones en peso seco	0,55	1,00	3,05	2,93

Volumen de concreto a preparar

SLUMP=	1,00	*0,0055 m ³ =	0,01	m ³
CILINDROS=	2,00	*0,0053 m ³ =	0,01	m ³
		SUMATORIA	0,02	m ³
	Desperdicio 10%		0,00	m ³
Volumen de concreto a preparar=			0,02	m ³

C2= 6,02 kg 5,01 kg

MATERIAL	Proporción	Peso seco	Peso Húmedo	Agua agregado
AGUA (kg)	0,50	2,51	—	
CEMENTO (kg)	1,00	5,01	—	
ARENA (kg)	2,17	10,88	11,24	0,36
GRAVA (kg)	2,02	10,12	10,12	0,00

MATERIAL	Absorción	Agua Libre	APORTE
AGUA (kg)			
CEMENTO (kg)			
ARENA (kg)	0,50	-0,14	
GRAVA (kg)	0,55	-0,55	-0,69
MATERIAL		PESO	
Agua de mezcla teórica =		2,95	kg
Cemento=		5,01	kg

Arena=	11,24	kg
Grava Reciclada =	10,12	kg

C3=		5,01	kg	5,01	kg
MATERIAL	Proporción	Peso seco	Peso Húmedo	Agua agregado	
AGUA (kg)	0,55	2,76	—		
CEMENTO (kg)	1,00	5,01	—		
ARENA (kg)	2,17	10,88	11,24	0,36	
GRAVA (kg)	2,02	10,12	10,12	0,00	

MATERIAL	Absorción	Agua Libre	APORTE
AGUA (kg)			
CEMENTO (kg)			
ARENA (kg)	0,50	-0,14	
GRAVA (kg)	0,55	-0,55	-0,69

MATERIAL	PESO
Agua de mezcla teórica =	2,95 kg
Cemento=	5,01 kg
Arena=	11,24 kg
Grava Reciclada =	10,12 kg

CORRECCIÓN POR ASENTAMIENTO

Para lograr el asentamiento escogido se necesito

Agua Real. A/c 0,5= 2,75 Kg

Agua Real. A/c 0,55= 2,75 Kg

Agua Teórica. A/c 0,5= 2,06 Kg

Agua Teórica. A/c 0,55= 2,06 Kg

Relación A/C real= 0,41

Relación A/C real= 0,41

Corrección para . A/c 0,5

	AGUA	Cemento	Arena	Grava	SUMATORIA
Proporción Usada	0,41	1,00	2,17	2,02	
Peso Material (kg)	0,41	1,00	2,17	2,02	
Vol.Abs.Mat (dm ³)	0,41	0,33	0,82	0,83	2,39
	AGUA	Cemento	Arena	Grava	SUMATORIA
Proporción peso seco	0,41	1,00	2,17	2,02	
Peso Material (kg/ m ³)	171,45	418,06	907,39	843,67	2340,56
Vol.Abs.Mat (dm ³ / m ³)	171,45	137,52	342,41	348,63	1000,00

	AGUA	Cemento	Arena	Grava	SUMATORIA
Vol. ABS. (dm ³ / m ³)	171,45	112,79	367,14	348,63	1000,00
Peso Material (kg/ m ³)	171,45	342,89	972,91	843,67	2330,92
Prop. Peso Seco	0,50	1,00	2,84	2,46	

Corrección para . A/c 0,55

	AGUA	Cemento	Arena	Grava	SUMATORIA
Proporción Usada	0,41	1,00	2,17	2,02	
Peso Material (kg)	0,41	1,00	2,17	2,02	
Vol.Abs.Mat (dm ³)	0,41	0,33	0,82	0,83	2,39
	AGUA	Cemento	Arena	Grava	SUMATORIA
Proporción peso seco	0,41	1,00	2,17	2,02	
Peso Material (kg/ m ³)	171,45	418,06	907,39	843,67	2340,56
Vol. ABS. (dm ³ / m ³)	171,45	137,52	342,41	348,63	1000,00

	AGUA	Cemento	Arena	Grava	SUMATORIA
Vol. ABS. (dm ³ / m ³)	171,45	102,54	377,39	348,63	1000,00
Peso Material (kg/ m ³)	171,45	311,72	1000,09	843,67	2326,92
Prop. Peso Seco	0,55	1,00	3,21	2,71	

Volumen de concreto a preparar

Humedad Finos (%)= 3,30 Humedad Gruesos (%)= 0,00

SLUMP=	1,00	*0,0055 m ³ =	0,01	m ³
CILINDROS=	1,00	*0,0053 m ³ =	0,01	m ³
		SUMATORIA	0,01	m ³
15% Desperdicio			0,001620	m ³
Volumen de concreto a preparar=			0,012420	m ³

C2= 4,26 kg

MATERIAL	Proporción	Peso seco	Peso Húmedo	Agua agregado
AGUA (kg)	0,50	2,13	—	
CEMENTO (kg)	1,00	4,26	—	
ARENA (kg)	2,84	12,08	12,48	0,40
GRAVA (kg)	2,46	10,48	10,48	0,00

MATERIAL	Absorción	Agua Libre	APORTE
AGUA (kg)			
CEMENTO (kg)			
ARENA (kg)	0,56	-0,16	
GRAVA (kg)	0,57	-0,57	-0,73

MATERIAL	PESO	
Agua de mezcla teórica =	2,86	kg
Cemento=	4,26	kg
Arena=	12,48	kg
Grava Reciclada =	10,48	kg

C3= 3,87 kg

MATERIAL	Proporción	Peso seco	Peso Húmedo	Agua agregado
AGUA (kg)	0,55	2,13	_	
CEMENTO (kg)	1,00	3,87	_	
ARENA (kg)	3,21	12,42	12,83	0,41
GRAVA (kg)	2,71	10,48	10,48	0,00

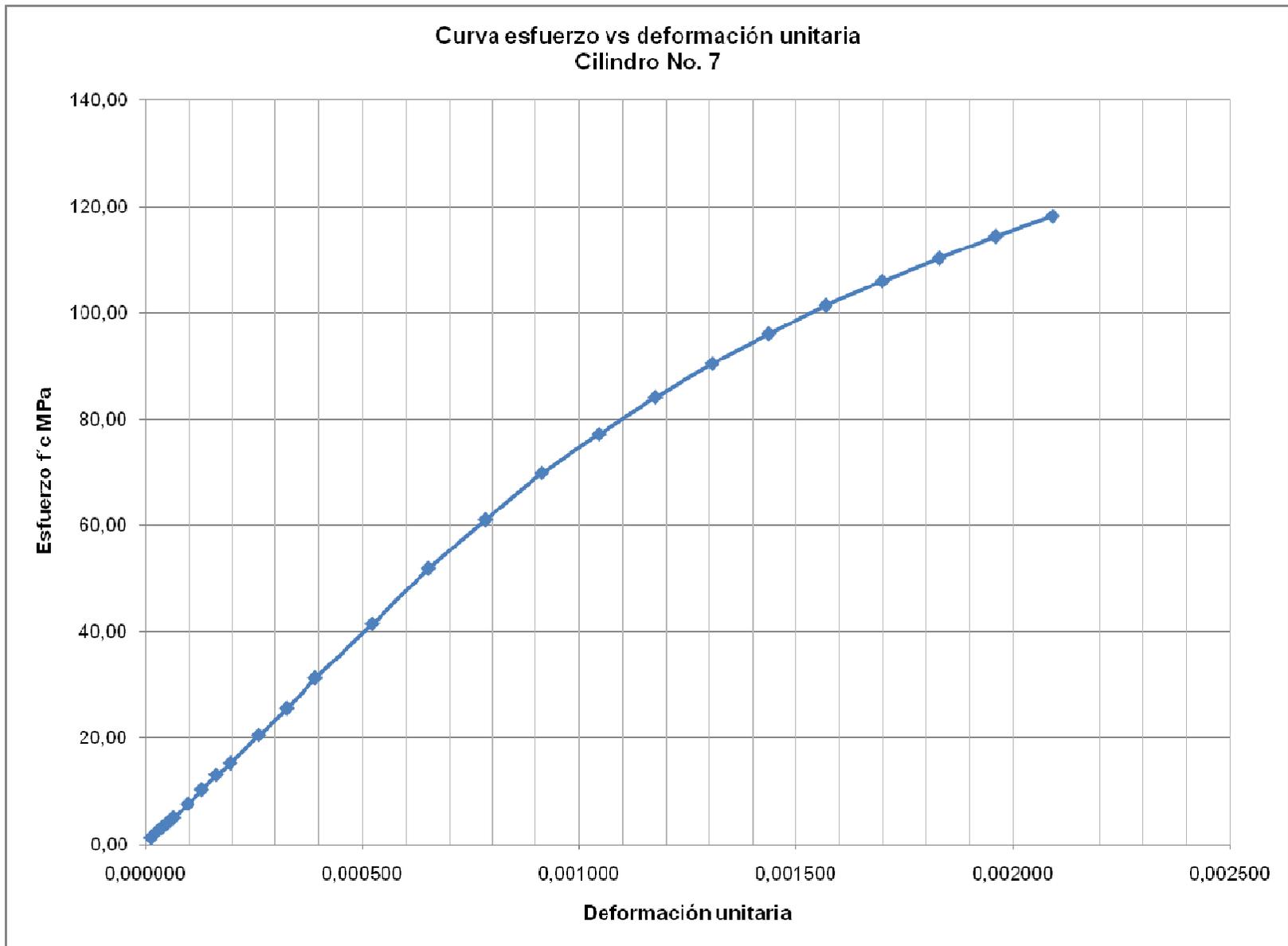
MATERIAL	Absorción	Agua Libre	APORTE
AGUA (kg)			
CEMENTO (kg)			
ARENA (kg)	0,57	-0,16	
GRAVA (kg)	0,57	-0,57	-0,73

MATERIAL	PESO	
Agua de mezcla teórica =	2,86	kg
Cemento=	3,87	kg
Arena=	12,83	kg
Grava Reciclada =	10,48	kg

ANEXO C. ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

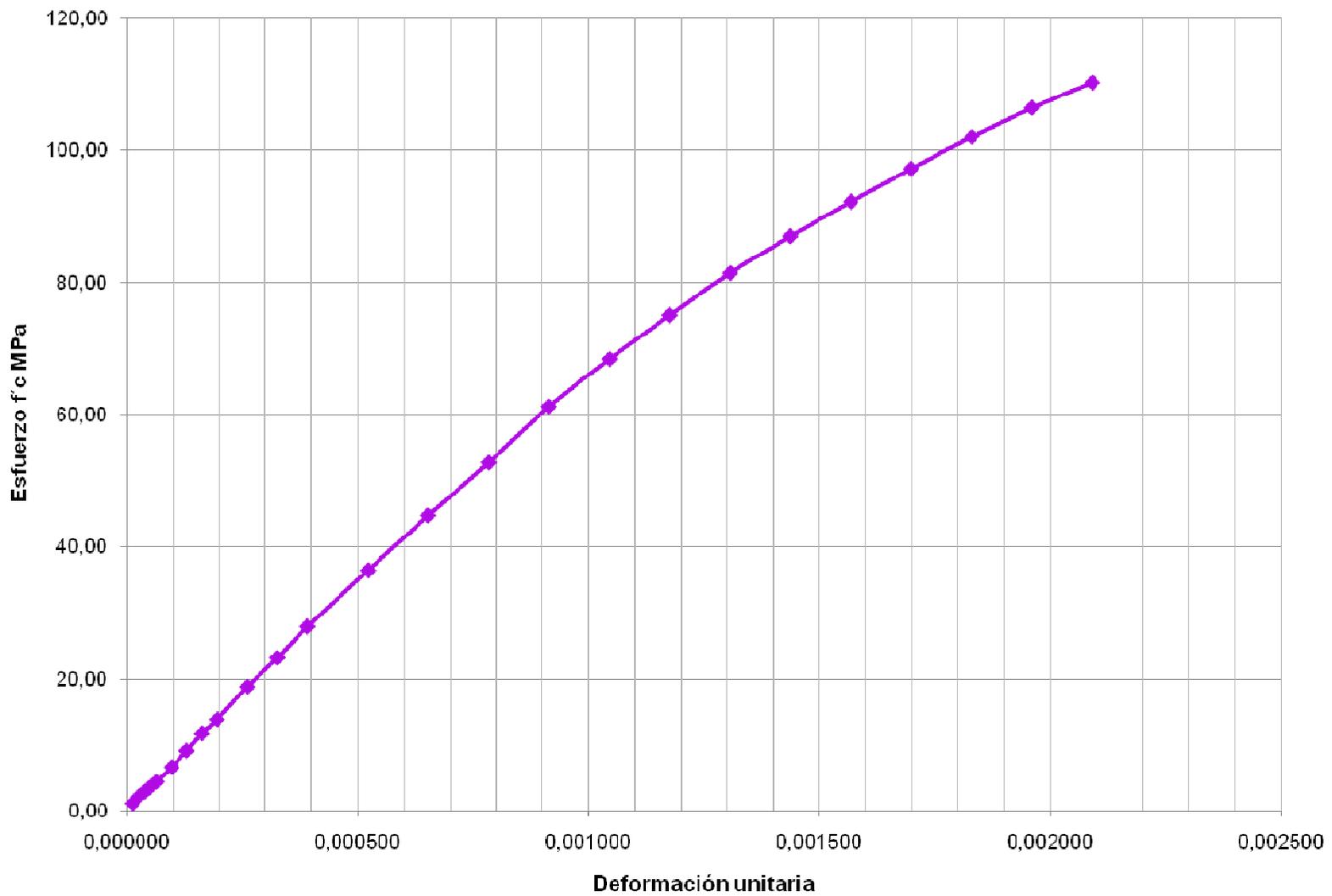
DATOS DE LABORATORIO

7									
Lectura Vertical inicial		153	mm	Lectura Horizontal inicial		6.17	pulg	U=	0.26
Area	0.0030300	m2	40%Smax	92.09	MPas	E=	74646.5244	Eh40%Sm ax	0.001230 6
deformación vertical 0.002mm	Ev	defor.horiz.0.0001"				Carga KN			Esfuerzo
		40% Smax	80%Smax	Promedio	Eh	40% Smax	80%Smax	Promedio	MPa.
2	0.000013	69663.168 32	6.336633663	0	0	3.8		3.8	1.25
4	0.000026	0	0	0	0	7.2	6.8	7	2.31
6	0.000039	0	0	0	0	9.8	8.7	9.25	3.05
8	0.000052	0	0	0	0	13.1	10.9	12	3.96
10	0.000065	0	0	0	0	15.8	13.9	14.85	4.90
15	0.000098	0	0	0	0	23.6	22.2	22.9	7.56
20	0.000131	0	0.5	0.25	0.000004	31.3	30.7	31	10.23
25	0.000163	0.5	0.5	0.5	0.000008	38.9	40	39.45	13.02
30	0.000196	1	1	1	0.000016	46.3	46.2	46.25	15.26
40	0.000261	2	2	2	0.000032	61.9	62.4	62.15	20.51
50	0.000327	3	3	3	0.000049	76.5	78.1	77.3	25.51
60	0.000392	4	4.5	4.25	0.000069	94.3	95.2	94.75	31.27
80	0.000523	6.5	7	6.75	0.000109	125	126	125.5	41.42
100	0.000654	8	9	8.5	0.000138	156	158.4	157.2	51.88
120	0.000784	10	10.5	10.25	0.000166	182	187.6	184.8	60.99
140	0.000915		11	11	0.000178		211.5	211.5	69.80
160	0.001046		13.5	13.5	0.000219		233.6	233.6	77.10
180	0.001176		16	16	0.000259		254.7	254.7	84.06
200	0.001307		17	17	0.000276		273.8	273.8	90.36
220	0.001438		19.5	19.5	0.000316		290.7	290.7	95.94
240	0.001569		21	21	0.000340		307	307	101.32
260	0.001699		23	23	0.000373		320.8	320.8	105.87
280	0.001830		25.5	25.5	0.000413		333.8	333.8	110.17
300	0.001961		27	27	0.000438		346.4	346.4	114.32
320	0.002092		30	30	0.000486		357.8	357.8	118.09



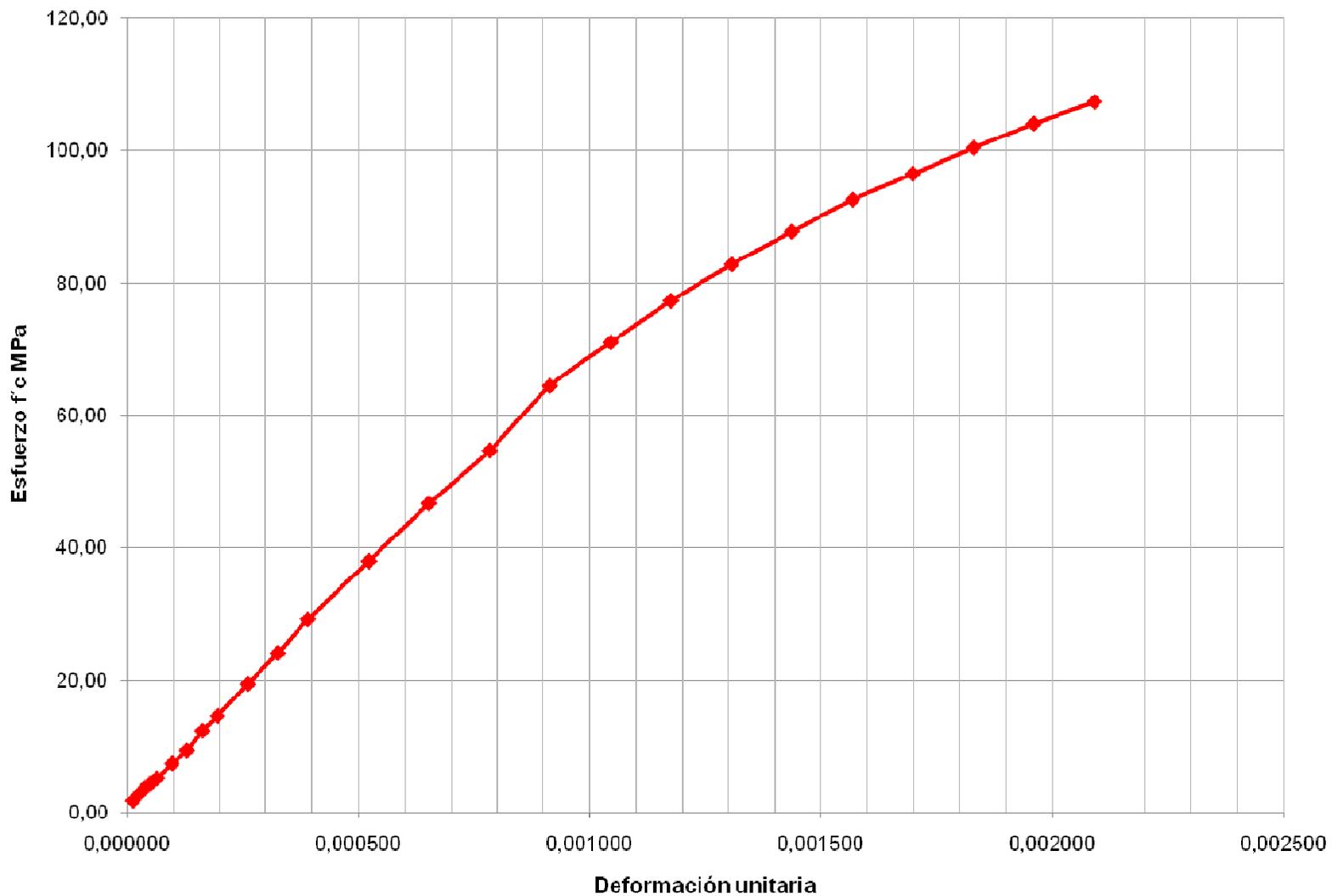
9												
Lectura Vertical inicial		153	mm		Lectura Horizontal inicial			6.09	pulg	U=	0.236628	
Area	0.0031400	m2	40%Smax	86.82	MPas	E=	64088.5897 5	Eh40%Smax	0.001341394			
deformación vertical 0.002mm	Ev	defor.horiz.0.0001"					Carga KN					Esfuerzo Mpa
		40% Smax	80%Smax	80%Smax	Promedio	Eh	40% Smax	80%Smax	80%Smax	Promedio		
2	0.000013	61151.2738 9	4.79299363 1		0	0	3.1	4.30		3.70	1.18	
4	0.000026	0	0		0	0	6.4	7.40		6.90	2.20	
6	0.000039	0	0		0	0	9			9.00	2.87	
8	0.000052	0	0		0	0	11	12.00		11.50	3.66	
10	0.000065	0	0		0	0	13.3	14.50		13.90	4.43	
15	0.000098	0	0.5		0.25	0.000004	20.2	21.60		20.90	6.66	
20	0.000131	0.5	1		0.75	0.000012	28.3	28.90		28.60	9.11	
25	0.000163	1	1.5		1.25	0.000021	37.1	36.80		36.95	11.77	
30	0.000196	1	1.5		1.25	0.000021	44.4	42.60		43.50	13.85	
40	0.000261	2	2.5		2.25	0.000037	60.5	57.80		59.15	18.84	
50	0.000327	3	4		3.50	0.000058	74.5	71.30		72.90	23.22	
60	0.000392	4.5	5		4.75	0.000078	89	86.40		87.70	27.93	
80	0.000523	7	7.5		7.25	0.000119	115.1	113.70		114.40	36.43	
100	0.000654	8	8.5		8.25	0.000136	140.5	140.60		140.55	44.76	
120	0.000784	9.5	10		9.75	0.000160	164.3	167.00		165.65	52.75	
140	0.000915		11.5		11.50	0.000189		192.30		192.30	61.24	
160	0.001046		12.5		12.50	0.000205		214.90		214.90	68.44	
180	0.001176		15		15.00	0.000246		235.70		235.70	75.06	
200	0.001307		17		17.00	0.000279		255.80		255.80	81.46	
220	0.001438		19		19.00	0.000312		273.20		273.20	87.01	
240	0.001569		21		21.00	0.000345		289.70		289.70	92.26	
260	0.001699		22.5		22.50	0.000370		305.30		305.30	97.23	
280	0.001830		25.5		25.50	0.000419		320.50		320.50	102.07	
300	0.001961		28		28.00	0.000460		334.30		334.30	106.46	
320	0.002092		31		31.00	0.000509		346.30		346.30	110.29	

Curva esfuerzo vs deformación unitaria
Cilindro No. 9

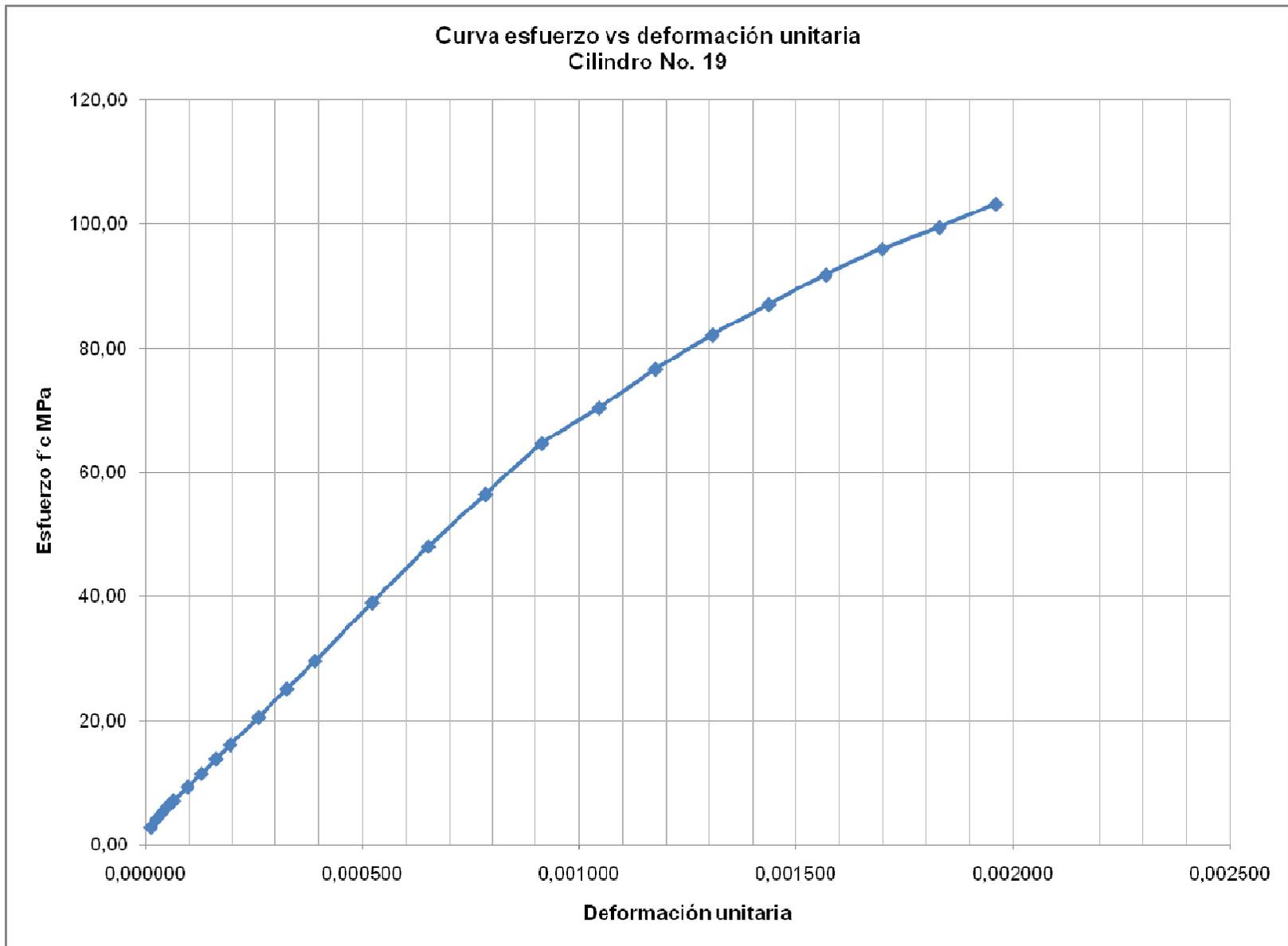


12											
Lectura Vertical inicial		153	mm	Lectura Horizontal inicial			6.01	pulg		U=	0.2497918
Area	0.003110 0	m2	40%Smax	85.49	MPas	E=	65661.8624 6	Eh40%Sma x	0.00128753 2		
deformación vertical 0.002mm	Ev	deform.horiz.0.0001"					Carga KN				Esfuerzo Mpa
		40% Smax	80% Smax	80% Smax	Promedio	Eh	40% Smax	80% Smax	80% Smax	Promedio	
2	0.000013	6.1126.2057 8	6.78456591 6	0	0	0	6.6	4.90	5.30	5.75	1.85
4	0.000026	0	0	0	0	0	9.9	7.40	9.20	8.65	2.78
6	0.000039	0	0	0	0	0	13	9.80	11.20	11.40	3.67
8	0.000052	0	0	0	0	0	15.1	12.00	13.70	13.55	4.36
10	0.000065	0	0	0	0	0	17.8	14.40	16.20	16.10	5.18
15	0.000098	0	1	0	0.33	0.000006	25.6	20.90	22.60	23.25	7.48
20	0.000131	0	1.5	0	0.50	0.000008	30	28.30	29.60	29.15	9.37
25	0.000163	2	2	0	1.33	0.000022	41.1	36.00	35.90	38.55	12.40
30	0.000196	2.5	2	1	1.83	0.000031	47.9	43.00	42.00	45.45	14.61
40	0.000261	4	3	1.5	2.83	0.000047	62.8	58.30	55.70	60.55	19.47
50	0.000327	5	4	2.5	3.83	0.000064	77.2	72.90	69.60	75.05	24.13
60	0.000392	6.5	5	4	5.17	0.000086	92.6	89.10	85.00	90.85	29.21
80	0.000523	7	7.5	6	6.83	0.000114	115.9	120.50	115.20	118.20	38.01
100	0.000654	8.5	9.5	8	8.67	0.000144	139.9	150.80	144.80	145.35	46.74
120	0.000784	10	11.5	9.5	10.33	0.000172	162	178.40	171.20	170.20	54.73
140	0.000915		12.5		12.50	0.000208		200.50		200.50	64.47
160	0.001046		15		15.00	0.000250		221.00		221.00	71.06
180	0.001176		17		17.00	0.000283		240.50		240.50	77.33
200	0.001307		19		19.00	0.000316		257.60		257.60	82.83
220	0.001438		20.5		20.50	0.000341		273.00		273.00	87.78
240	0.001569		22		22.00	0.000366		288.10		288.10	92.64
260	0.001699		24		24.00	0.000400		300.20		300.20	96.53
280	0.001830		26		26.00	0.000433		312.40		312.40	100.45
300	0.001961		29		29.00	0.000483		323.80		323.80	104.12
320	0.002092		31		31.00	0.000516		334.00		334.00	107.40

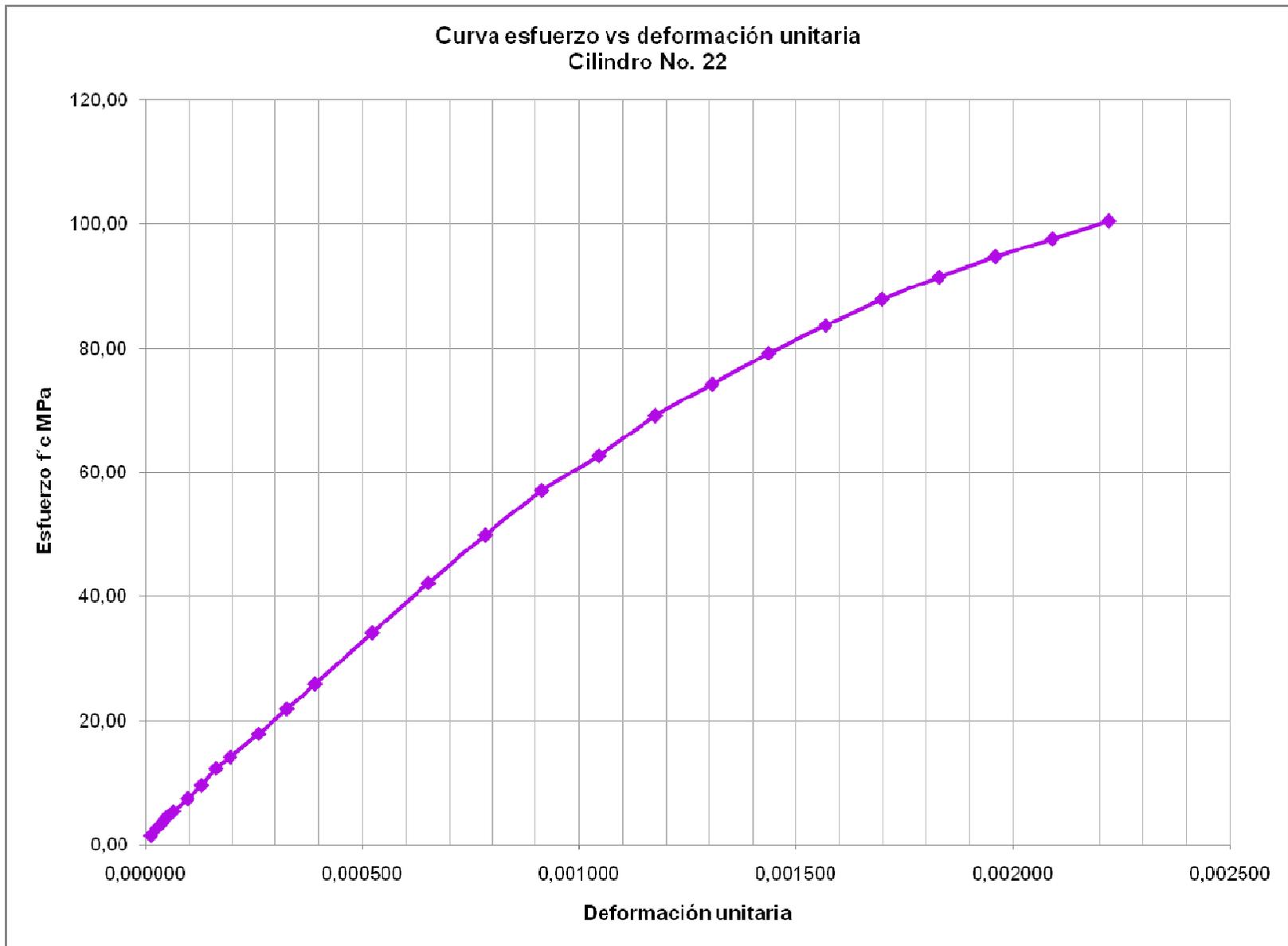
Curva esfuerzo vs deformación unitaria
Cilindro No. 12



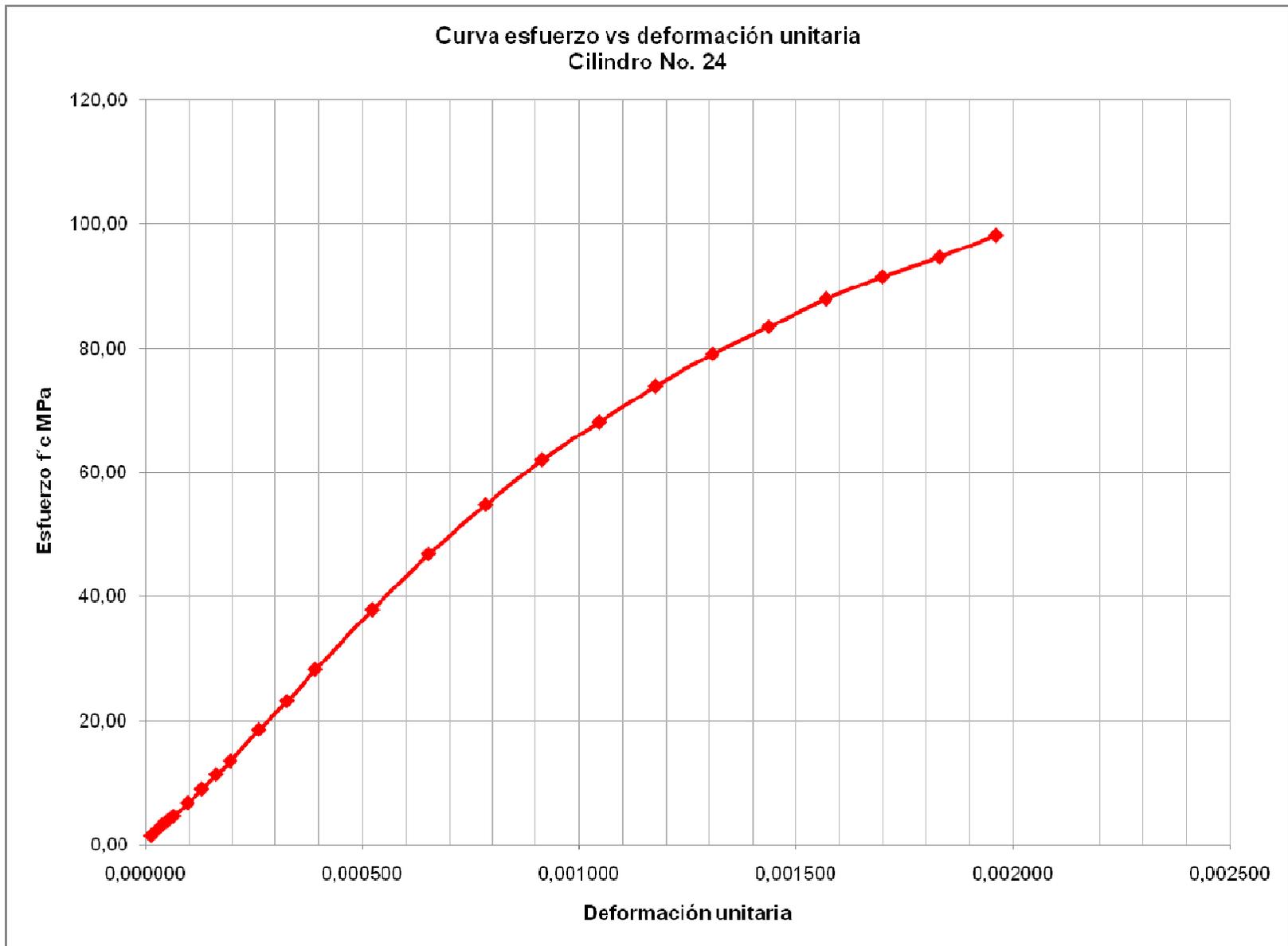
19									
Lectura Vertical inicial		153	mm	Lectura Horizontal inicial		6.04	pulg	U=	0.24
Area	0.0031200	m2	40%Smax	82.59	MPas	E=	67958.07671	Eh40%Smax	0.00119132
deformación vertical 0.002mm	Ev	deform.horiz.0.0001"				Carga KN			Esfuerzo
		40% Smax	80% Smax	Promedio	Eh	40% Smax	80% Smax	Promedio	Mpa.
2	0.000013	64240.38462	6.057692308	0	0	8.6	8.5	8.55	2.74
4	0.000026	0	0	0	0	12.8	12.1	12.45	3.99
6	0.000039	0	0	0	0		15.7	15.7	5.03
8	0.000052	0	0	0	0	19.9	18.3	19.1	6.12
10	0.000065	0	0	0	0	22.6	21.3	21.95	7.04
15	0.000098	0	0	0	0	29.7	27.9	28.8	9.23
20	0.000131	0	0	0	0	36.6	34.4	35.5	11.38
25	0.000163	0	1	0.5	0.000008	44.1	41.9	43	13.78
30	0.000196	0.5	2	1.25	0.000021	51.3	48.6	49.95	16.01
40	0.000261	0.5	4	2.25	0.000037	65.6	62.2	63.9	20.48
50	0.000327	1.5	4	2.75	.000046	80	76.6	78.3	25.10
60	0.000392	2.5	5	3.75	0.000062	93.5	91	92.25	29.57
80	0.000523	4	7	5.5	0.000091	121.9	121.2	121.55	38.96
100	0.000654	5.5	9.5	7.5	0.000124	148.4	151.4	149.9	48.04
120	0.000784	8	12	10	0.000166	172.6	179.6	176.1	56.44
140	0.000915		14	14	0.000232		201.6	201.6	64.62
160	0.001046		15.5	15.5	0.000257		219.5	219.5	70.35
180	0.001176		17	17	0.000281		239	239	76.60
200	0.001307		19	19	0.000315		256.2	256.2	82.12
220	0.001438		21.5	21.5	0.000356		271.6	271.6	87.05
240	0.001569		24	24	0.000397		286.6	286.6	91.86
260	0.001699		26.5	26.5	0.000439		299.6	299.6	96.03
280	0.001830		27	27	0.000447		310.4	310.4	99.49
300	0.001961		30	30	0.000497		322.2	322.2	103.27



22											
Lectura Vertical inicial		153	mm		Lectura Horizontal inicial		5.90	pulg		U=	0.238774
Área	0.0031000	m2	40%Smax	83.36	MPas	E=	61377.84308	Eh40%Smax	0.001350048		
deformación vertical 0.002mm	Ev	defor.horiz.0.0001"					Carga KN				Esfuerzo Mpa
		40% Smax	80% Smax	80% Smax	Promedio	Eh	40% Smax	80% Smax	80% Smax	Promedio	
2	0.000013	59143.54839	3.516129032	0	0	0	6.5	3.70	3.60	4.60	1.483871
4	0.000026	0.5	0	0	0.17	0.000003	11.4	5.90	6.70	8.00	2.580645
6	0.000039	1	0	0	0.33	0.000006	14.9	8.40	8.60	10.63	3.430108
8	0.000052	1	0	0	0.33	0.000006	18.7	11.50	11.60	13.93	4.494624
10	0.000065	1.5	0	0	0.5	0.000008	21.6	13.80	14.10	16.50	5.322581
15	0.000098	2	0	0.5	0.83	0.000014	28.6	20.40	20.10	23.03	7.430108
20	0.000131	2	0	1	1.00	0.000017	35.5	26.80	26.30	29.53	9.526882
25	0.000163	3	2	1.5	2.17	0.000037	44.5	35.00	34.80	38.10	12.29032
30	0.000196	3.5	2	2	2.50	0.000042	49.6	40.90	40.60	43.70	14.09677
40	0.000261	4	3.5	3.5	3.67	0.000062	61.2	52.60	52.30	55.37	17.86022
50	0.000327	5	4.5	4.5	4.67	0.000079	72.6	65.80	64.70	67.70	21.83871
60	0.000392	6.5	6	5.5	6.00	0.000102	85.7	78.00	77.20	80.30	25.90323
80	0.000523	8.5	7	7	7.50	0.000127	108.9	104.20	103.90	105.67	34.08602
100	0.000654	9.5	8.5	9	9.00	0.000153	132.5	130.00	129.70	130.73	42.17204
120	0.000784	11.5	10	10	10.50	0.000178	153.7	155.40	155.00	154.70	49.90323
140	0.000915			12	12.00	0.000204			176.90	176.90	57.06452
160	0.001046			14	14.00	0.000237			194.30	194.30	62.67742
180	0.001176			15.3	15.30	0.000259			214.30	214.30	69.12903
200	0.001307			17	17.00	0.000288			230.10	230.10	74.22581
220	0.001438			19	19.00	0.000322			245.50	245.50	79.19355
240	0.001569			20.5	20.50	0.000348			259.40	259.40	83.67742
260	0.001699			23	23.00	0.000390			272.50	272.50	87.90323
280	0.001830			25.5	25.50	0.000432			283.60	283.60	91.48387
300	0.001961			27	27.00	0.000458			293.70	293.70	94.74194
320	0.002092			29.5	29.50	0.000500			302.70	302.70	97.64516
340	0.002222			31	31.00	0.000526			311.50	311.50	100.4839



24											
Lectura Vertical inicial		153	mm	Lectura Horizontal inicial			6.06	pulg		U=	0.2684543
Area	0.0031200	m2	40%Smax	79.91	MPas	E=	66346.9480 5	Eh40%Sma x	0.00119628 7		
deformación vertical 0.002mm	Ev	deform.horiz.0.0001"					Carga KN				Esfuerzo Mpa
		40% Smax	80% Smax	80% Smax	Promedio	Eh	40% Smax	80% Smax	80% Smax	Promedio	
2	0.000013	61052.8846 2	6.875		0	0	3.3	5.30		4.30	1.38
4	0.000026	0	0		0	0	5.9	7.80		6.85	2.20
6	0.000039	0	0		0	0	8.6	10.20		9.40	3.01
8	0.000052	0	0		0	0	10.8	12.30		11.55	3.70
10	0.000065	0	0		0	0	13.1	14.70		13.90	4.46
15	0.000098	0	0		0.00	0	19.9	21.60		20.75	6.65
20	0.000131	0.5	1		0.75	0.000012	26.9	28.30		27.60	8.85
25	0.000163	1	1.5		1.25	0.000021	34.7	35.30		35.00	11.22
30	0.000196	1	2		1.50	0.000025	41.6	42.00		41.80	13.40
40	0.000261	2	3		2.50	0.000041	58.6	56.70		57.65	18.48
50	0.000327	3	4		3.50	0.000058	73.4	70.40		71.90	23.04
60	0.000392	4	5.5		4.75	0.000078	90.3	85.40		87.85	28.16
80	0.000523	6	7.5		6.75	0.000111	120.3	115.60		117.95	37.80
100	0.000654	8.5	10		9.25	0.000153	146.3	145.60		145.95	46.78
120	0.000784	11	13		12.00	0.000198	169.3	172.40		170.85	54.76
140	0.000915		14.5		14.50	0.000239		193.40		193.40	61.99
160	0.001046		15.5		15.50	0.000256		212.40		212.40	68.08
180	0.001176		18		18.00	0.000297		230.50		230.50	73.88
200	0.001307		20.5		20.50	0.000339		246.60		246.60	79.04
220	0.001438		23		23.00	0.000380		260.40		260.40	83.46
240	0.001569		25		25.00	0.000413		274.30		274.30	87.92
260	0.001699		27		27.00	0.000446		285.60		285.60	91.54
280	0.001830		29.5		29.50	0.000487		295.30		295.30	94.65
300	0.001961		33		33.00	0.000545		306.40		306.40	98.21



ANEXO D. ANÁLISIS DE COSTOS DE
MÁQUINARIA Y EQUIPO EMPLEADOS PARA
EL ANÁLISIS ECONÓMICO DEL MATERIAL
RECICLADO

MÁQUINA		Minicargador Bob Cat S185 con martillo hidráulico
COSTOS FIJOS		
CANTIDAD		1
VALOR DE ADQUISICIÓN		\$ 94.696.000
PORCENTAJE DE RESCATE		20%
VALOR RESCATE (5%-20%)		\$ 18.939.200
VALOR NEUMÁTICOS		\$ 2.766.400
VIDA ECONÓMICA	Horas	\$ 14.000
VALOR DEPRECIABLE		\$ 72.990.400
DEPRECIACIÓN	/ Hora	\$ 5.214
INTERES	%	15
SEGUROS (5 - 15%)	%	5
IMPUESTOS (2%)	%	2
BODEGAJE Y ESTACIONAMIENTO (2,5%)	%	3
NUMERO DE AÑOS DE VIDA ECONÓMICA		7
VIDA ECONOMICA PRIMER AÑO		2.000
VALOR INICIAL DE DEPRECIACIÓN	/ Hora	\$ 36.495
VALOR MEDIO		\$ 20.854
COSTO HORARIO POR I.S.I.B	/ Hora	\$ 5.109
TOTAL COSTOS FIJOS	/ Hora	\$ 10.323
COSTOS VARIABLES		
COMBUSTIBLE		
TIPO DE COMBUSTIBLE		DIESEL
POTENCIA REAL	HP	61
PORCENTAJE DE POTENCIA DE TRABAJO	%	67
TIPO DE MÁQUINA		4
FACTOR DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE	Gal*pot/h	0,02726
COSTO DE GALON DE COMBUSTIBLE		\$ 5.800
TOTAL POR COMBUSTIBLE	/ Hora	\$ 6.462

Análisis de costos de maquinaria y equipo empleados para el análisis económico del material reciclado (continuación)

COSTOS VARIABLES		<i>Minicargador Bob Cat S185 con martillo hidráulico</i>
MÁQUINA		
LUBRICANTES		
ACEITE DE MOTOR		
CAPACIDAD DEL CARTER	Gal	3
NUMERO DE HORAS ENTRE CAMBIO	Horas	250
COSTO GALON DE ACEITE		\$ 50.000
COSTO POR ACEITE DE MOTOR	/ Hora	\$ 3.345
ACEITE TRASMISION		
COSTO POR ACEITE DE TRASMISION	/ Hora	\$ 500
ACEITE DE CONTROLES HIDRAULICOS		
COSTO GALON DE ACEITE		\$ 20.000
COSTO ACEITE DE CONTROLES HIDRÁULICOS	/ Hora	\$ 400
TOTAL COSTOS POR LUBRICANTES	/ Hora	\$ 4.245
FILTROS Y MANO DE OBRA		
COSTO DE FILTROS Y MANO DE OBRA	/ Hora	\$ 2.677
NEUMÁTICOS		
COSTO DE NEUMÁTICOS		\$ 2.766.400
VIDA UTIL DE NEUMÁTICOS	Hora	2.000
TOTAL COSTO POR NEUMÁTICOS		\$ 1.383
REPARACIONES		
COSTO DE REPARACIÓN	/ Hora	\$ 6.452
TOTAL COSTOS VARIABLES DE OPERACIÓN		\$ 21.219
TOTAL COSTOS HORARIOS POR MÁQUINA		\$ 31.542

MÁQUINA		Trituradora de cono
COSTOS FIJOS		
CANTIDAD		1
VALOR DE ADQUISICIÓN		\$ 140.000.000
PORCENTAJE DE RESCATE		20
VALOR RESCATE (5%-20%)		\$ 28.000.000
VALOR NEUMÁTICOS		0
VIDA ECONÓMICA	Horas	6.000
VALOR DEPRECIABLE		\$ 112.000.000
DEPRECIACIÓN	/ Hora	\$ 18.667
INTERES	%	10
SEGUROS (5 - 15%)	%	5
IMPUESTOS (2%)	%	2
BODEGAJE Y ESTACIONAMIENTO (2,5%)	%	3
NUMERO DE AÑOS DE VIDA ECONÓMICA		4
VIDA ECONOMICA PRIMER AÑO		1.500
VALOR INICIAL DE DEPRECIACIÓN	/ Hora	\$ 74.667
VALOR MEDIO		\$ 46.667
COSTO HORARIO POR I.S.I.B	/ Hora	\$ 9.100
TOTAL COSTOS FIJOS	/ Hora	\$ 27.767
COSTOS VARIABLES		
COMBUSTIBLE		
TIPO DE COMBUSTIBLE		DIESEL
POTENCIA REAL	HP	60
PORCENTAJE DE POTENCIA DE TRABAJO	%	67
TIPO DE MÁQUINA		2
FACTOR DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE	Gal*pot/h	0
COSTO DE GALON DE COMBUSTIBLE		\$ 5.800
TOTAL POR COMBUSTIBLE	/ Hora	\$ 3.801

COSTOS VARIABLES		<i>Trituradora de cono</i>
MÁQUINA		
LUBRICANTES		
ACEITE DE MOTOR		
CAPACIDAD DEL CARTER	Gal	1
NUMERO DE HORAS ENTRE CAMBIO	Horas	100
COSTO GALON DE ACEITE		\$ 50.000
COSTO POR ACEITE DE MOTOR	/ Hora	\$ 3.200
ACEITE TRASMISION		
COSTO POR ACEITE DE TRASMISION	/ Hora	\$ 500
ACEITE DE CONTROLES HIDRAULICOS		
COSTO GALON DE ACEITE		\$ 20.000
COSTO ACEITE DE CONTROLES HIDRÁULICOS	/ Hora	\$ 400
TOTAL COSTOS POR LUBRICANTES	/ Hora	\$ 4.100
FILTROS Y MANO DE OBRA		
COSTO DE FILTROS Y MANO DE OBRA	/ Hora	\$ 1.975
NEUMÁTICOS		
COSTO DE NEUMÁTICOS		\$ 0
VIDA UTIL DE NEUMÁTICOS	Hora	-
TOTAL COSTO POR NEUMÁTICOS		\$ 0
REPARACIONES		
COSTO DE REPARACIÓN	/ Hora	\$ 23.100
TOTAL COSTOS VARIABLES DE OPERACIÓN		\$ 32.967
TOTAL COSTOS HORARIOS POR MÁQUINA		\$ 60.742

MÁQUINA		Trituradora de Mandíbulas
COSTOS FIJOS		
CANTIDAD		1
VALOR DE ADQUISICIÓN		\$ 140.000.000
PORCENTAJE DE RESCATE		\$ 0
VALOR RESCATE (5%-20%)		\$ 28.000.000
VALOR NEUMÁTICOS		\$ 0
VIDA ECONÓMICA	Horas	6.000
VALOR DEPRECIABLE		\$ 112.000.000
DEPRECIACIÓN	/ Hora	\$ 18.667
INTERES	%	10
SEGUROS (5 - 15%)	%	5
IMPUESTOS (2%)	%	2
BODEGAJE Y ESTACIONAMIENTO (2,5%)	%	3
NUMERO DE AÑOS DE VIDA ECONÓMICA		4
VIDA ECONOMICA PRIMER AÑO		1.500
VALOR INICIAL DE DEPRECIACIÓN	/ Hora	\$ 74.667
VALOR MEDIO		\$ 46.667
COSTO HORARIO POR I.S.I.B	/ Hora	\$ 9.100
TOTAL COSTOS FIJOS	/ Hora	\$ 27.767
COSTOS VARIABLES		
COMBUSTIBLE		
TIPO DE COMBUSTIBLE		DIESEL
POTENCIA REAL	HP	60
PORCENTAJE DE POTENCIA DE TRABAJO	%	67
TIPO DE MÁQUINA		2
FACTOR DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE	Gal*pot/h	0
COSTO DE GALON DE COMBUSTIBLE		\$ 5.800
TOTAL POR COMBUSTIBLE	/ Hora	\$ 3.801

Análisis de costos de maquinaria y equipo empleados para el análisis económico del material reciclado (continuación)

COSTOS VARIABLES		Trituradora de Mandíbulas
MÁQUINA		
LUBRICANTES		
ACEITE DE MOTOR		
CAPACIDAD DEL CARTER	Gal	1
NUMERO DE HORAS ENTRE CAMBIO	Horas	100
COSTO GALON DE ACEITE		\$ 50.000
COSTO POR ACEITE DE MOTOR	/ Hora	\$ 3.200
ACEITE TRASMISION		
COSTO POR ACEITE DE TRASMISION	/ Hora	\$ 500
ACEITE DE CONTROLES HIDRAULICOS		
COSTO GALON DE ACEITE		\$ 20.000
COSTO ACEITE DE CONTROLES HIDRÁULICOS	/ Hora	\$ 400
TOTAL COSTOS POR LUBRICANTES	/ Hora	\$ 4.200
FILTROS Y MANO DE OBRA		
COSTO DE FILTROS Y MANO DE OBRA	/ Hora	\$ 2.000
NEUMÁTICOS		
COSTO DE NEUMÁTICOS		\$ 0
VIDA UTIL DE NEUMÁTICOS	Hora	-
TOTAL COSTO POR NEUMÁTICOS		\$ 0
REPARACIONES		
COSTO DE REPARACIÓN	/ Hora	\$ 23.100
TOTAL COSTOS VARIABLES DE OPERACIÓN		\$ 33.101
TOTAL COSTOS HORARIOS POR MÁQUINA		\$ 60.867

