

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



**ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS  
RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y  
LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO**

**PRESENTADO POR:**

AMAYA PORTILLO, JOSÉ MANUEL  
SALMERÓN SOSA, JOSÉ NOÉ  
VILLATORO CHÁVEZ, ROBERTO CARLOS

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL DE 2013

# UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

***RECTOR:***

Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

***VICERRECTOR ACADÉMICO:***

MSc. Ana María Glower de Alvarado

***SECRETARÍA GENERAL:***

Dra. Ana Leticia Zavaleta de Amaya

## FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

***DECANO:***

Lic. Cristóbal Hernán Ríos Benítez

***SECRETARIO:***

Lic. Jorge Alberto Ortíz Hernández

***JEFE DE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA:***

Ing. Luis Clayton Martínez Rivera

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

TITULO:

**“ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS  
RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y  
LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO”**

PRESENTADO POR:

**AMAYA PORTILLO, JOSÉ MANUEL  
SALMERÓN SOSA, JOSÉ NOÉ  
VILLATORO CHÁVEZ, ROBERTO CARLOS**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

COORDINADOR DE PROYECTOS DE GRADUACIÓN:

**ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA**

DOCENTE DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN:

**ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA**

SAN MIGUEL, ABRIL DE 2013

**TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:**

Docente Director y Coordinador de Proyectos de Graduación:

---

**ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA**

## AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** todopoderoso por habernos dado la fortaleza y permitir culminar con éxito esta etapa de nuestra vida académica.

A la Universidad de El Salvador por habernos formado académicamente e inculcado la responsabilidad, el trabajo y la dedicación.

A las empresas e instituciones que nos apoyaron desinteresadamente para poder realizar nuestro trabajo de graduación, con asesoría técnica, instalaciones y equipo de laboratorio. Agradecemos de una manera cordial a las siguientes instituciones que en su debido tiempo nos brindaron su valiosa colaboración:

Universidad de El Salvador

MZ Consultores S.A de C.V.

Planta Asfáltica y Trituradora Consorcio V y C S.A. de C.V.

A nuestro docente director, **Ing. Milagro de María Romero de García**, por su colaboración, paciencia, entrega, tiempo y conocimientos compartidos para la finalización de éste trabajo.

A los profesionales por brindarnos su colaboración para la finalización de este trabajo graduación:

*Ing. Rigoberto López*

*Ing. Luis Clayton Martínez*

*Ing. David Chávez*

*Ing. Guillermo Moya*

*Ing. Carlos José Garay*

*Ing. Román Zavala*

*Téc. Ing. Nelson Blanco*

*Téc. Ing. Francisco Guevara*

*Téc. Ing. Jonathan Pérez*

A todos los compañeros que a lo largo de la carrera estuvimos apoyándonos.

## DEDICATORIA

Primeramente a *Dios* por lograr un triunfo importante en mi vida.

A mis padres: *Reyna Gladys Portillo de Amaya y Alejandro Amaya Orellana*, por darme la opción de elegir mi carrera, brindarme apoyo y confianza para alcanzar mis metas.

A mi hermano: *Alejandro Amaya Portillo*, por orientarme y apoyarme en mis éxitos.

A mi abuela: *María Angélica Portillo*, por estar siempre pendiente de mí, por sus consejos y sus oraciones diarias.

A *mis tío/as y Primos*: de quienes siempre recibo apoyo y motivación para seguir adelante.

A mi Novia: *María de los Ángeles Campos Vásquez*, por confiar fervorosamente que alcanzaría mis metas.

A *Carlos y Noé*, mis compañeros de tesis, por luchar tesonera y espontáneamente.

**José Manuel Amaya Portillo.**

## DEDICATORIA

A *Dios Todopoderoso* que sin su voluntad no hubiera sido posible este logro académico, gracias por darme sabiduría, entendimiento y perseverancia.

A mis padres *Marcia Olivia Sosa* y *José Mercedes Salmerón*, por su apoyo incondicional, por enseñarme valores y principios y guiarme por el camino correcto.

A mi hermana *Idalia Salmerón Sosa*, te dedico el lograr la culminación de mi carrera universitaria.

A mi tía *María Teresa Salmerón*, gracias por su apoyo incondicional en desarrollo de mis estudios Universitarios.

A mis familiares *Roberto Sosa, Jaime Rodas, Josefina Rodas, Vilma Salmerón, Moisés Rivera, Julyssa, Teresa Giselle* y *mis abuelos*.

A *Carlos y Manuel*, mis compañeros de tesis, por su confianza y apoyo.

A las personas que con sus acciones y buenos deseos me apoyaron.

**José Noé Salmerón Sosa**

## **DEDICATORIA**

**A DIOS PADRE, HIJO Y ESPÍRITU SANTO,** Por haberme permitido culminar con éxito este trabajo de graduación y poder así alcanzar uno de mis grandes sueños.

**A MIS PADRES:** Ana Arcila Chávez De Villatoro y Pedro Antonio Villatoro Aguilar, quienes siempre han estado dándome su apoyo incondicional a lo largo de mi preparación académica, gracias a sus consejos y la comprensión que siempre me han tenido.

**A MI ESPOSA:** María Elizabeth Castro Martínez, por estar con migo en los momentos más difíciles y por ese apoyo incondicional que siempre me ha brindado, por sus consejos, cariño y ese amor que siempre me ha demostrado a lo largo de nuestra relación como pareja.

**A MI HIJA:** Marylin Yojana Castro Villatoro, ya que es el regalo más bello que Dios me ha dado, y además es el ser que me ha motivado para luchar y alcanzar mis metas.

**A MI HERMANA:** Griselda Lisseth Villatoro Chávez, por su cariño y apoyo ya que siempre pude contar con ella en todo momento de mi preparación académica.

**A MI SOBRINITA:** Heylen Dariana Villatoro Parada, por su cariño inocente y por transmitirme Alegría y felicidad.

**A MIS ABUELOS:** Gregorio Eufemio Aguilar, Gloria Fidelicia Coreas, María Raquel Chávez y Manuel Ángel Aguilar (QEPD), por sus sabios consejos que siempre me han impulsado a seguir adelante y por haberme enseñado a que no importa cuántas veces te caiga sino mas bien cuantas veces te levantes y sigas adelante, con la frente en alto hasta llegar a la meta que te has propuesto.



**A MIS TIOS/AS:** Por ese apoyo moral que siempre me han dado cuando más lo he necesitado.

**A MIS COMPAÑEROS DE TESIS:** José Manuel Amaya y José Noé Salmerón, Por todo el esfuerzo, dedicación y empeño que han tenido durante este trabajo. Quiero decirles que además de haber logrado este triunfo he ganado dos amigos más.

A todos mis amigos, cuñados, suegros, compañeros de estudios y a todas aquellas personas que de una u otra manera me ayudaron cuando más lo necesite les agradezco y les dedico este trabajo de graduación.

**Roberto Carlos Villatoro Chávez**

# ÍNDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>No. de Pág.</b>
<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	<i>i</i>
<b>CAPÍTULO I: "GENERALIDADES"</b>	
<i>1.1. Antecedentes</i> .....	<i>2</i>
<i>1.2. Planteamiento del Problema</i> .....	<i>6</i>
1.2.1. Situación Problemática .....	<i>6</i>
1.2.2. Enunciado del Problema .....	<i>7</i>
<i>1.3. Justificación</i> .....	<i>8</i>
<i>1.4. Objetivos</i> .....	<i>10</i>
1.4.1. Objetivo General .....	<i>10</i>
1.4.2. Objetivos Específicos .....	<i>10</i>
<i>1.5. Alcances y Limitaciones</i> .....	<i>11</i>
1.5.1. Alcances .....	<i>11</i>
1.5.2. Limitaciones .....	<i>12</i>
<i>1.6. Metodología</i> .....	<i>14</i>
1.6.1. Tipo de investigación .....	<i>14</i>
1.6.2. Método de muestreo .....	<i>14</i>
1.6.3. Diseño del estudio .....	<i>15</i>
1.6.4. Universo, población y muestra .....	<i>19</i>
1.6.4.1. Propiedades índice y mecánicas de los materiales triturados y material-selecto .....	<i>19</i>
1.6.4.2. Probetas de ensayo cilíndricas y resistencia a compresión simple de suelo-cemento .....	<i>21</i>
1.6.5. Operacionalización de las variables .....	<i>22</i>
1.6.6. Diagrama metodológico .....	<i>25</i>
1.6.7. Instrumento para recolectar datos de investigación .....	<i>26</i>
1.6.8. Tratamiento y análisis de datos .....	<i>27</i>

## **CAPÍTULO II: "MARCO REFERENCIAL"**

2.1. <i>Marco Histórico</i> .....	29
2.1.1. Antecedentes del reciclaje.....	29
2.1.2. Antecedentes de la estabilizacion de suelos.....	30
2.1.3. Mecánica de suelos en residuos de construcción y demolición .....	31
2.2. <i>Marco Normativo</i> .....	33
2.2.1. Leyes ambientales en el salvador.....	33
2.2.2. Normas Internacionales .....	35
2.2.2.1. Normas ASTM.....	35
2.2.2.2. Normas AASHTO.....	37
2.3. <i>Marco Teórico</i> .....	37
2.3.1. Reciclaje de residuos de construcción y demolición.....	37
2.3.1.1. Generalidades del reciclaje de los residuos de construccion y demolicion .....	37
2.3.1.2. Clasificación de los residuos de la construcción y demolición.....	38
2.3.1.3. Buenas prácticas medioambientales para el manejo de los residuos de la construcción y demolición .....	39
2.3.1.3.1. Principales problemas medioambientales .....	40
2.3.1.3.2. Buenas prácticas medioambientales en la construcción.....	41
2.3.1.3.3. ¿Qué hacer con los residuos aprovechables?.....	44
2.3.1.4. Materiales reciclados en esta investigacion.....	45
2.3.2. Suelos.....	46
2.3.2.1. Generalidades de los suelos .....	46
2.3.2.2. Principales tipos de suelos .....	47
2.3.2.3. Propiedades de los suelos.....	48
2.3.2.4. Sistemas de clasificación de suelos .....	49
2.3.2.4.1. Clasificación ASTM o SUCS .....	49
2.3.2.4.2. Clasificación AASHTO.....	51
2.3.2.5. Estabilización de suelos .....	54
2.3.2.6. Tipos de estabilización .....	55
2.3.2.7. Estabilización con cemento.....	56

2.3.3. Suelo-Cemento.....	57
2.3.3.1. Generalidades del suelo-cemento.....	57
2.3.3.2. Características del suelo-cemento.....	61
2.3.4. Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento .....	62
2.3.3.4. Cemento.....	64
2.3.3.4.1. Propiedades del cemento portland.....	65

### **CAPÍTULO III: "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES"**

3.1. Generalidades.....	67
3.2. Granulometría de suelos.....	70
3.3. Gravedad específica y absorción de granos de grava.....	92
3.4. Peso unitario suelto y peso unitario varillado en agregados.....	100
3.5. Límites de consistencia.....	107
3.6. Proctor modificado.....	114
3.7. C B R (California Bearing Ratio).....	123
3.8. Prueba proctor modificado con cemento .....	141
3.9. Moldeado de probetas de ensayo.....	155
3.9.1. Calculo de materiales que componen la mezcla de suelo-cemento .....	156
3.10. Resistencia a la compresión de especímenes de suelo-cemento.....	172

### **CAPÍTULO IV: "ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS"**

4.1. Análisis e interpretación de resultados de granulometría de suelos.....	188
4.2. Análisis e interpretación de gravedad específica.....	190
4.3. Análisis e interpretación de peso unitario suelto y peso unitario varillado en agregados.....	191
4.4. Análisis e interpretación de límites de consistencia .....	192
4.5. Análisis e interpretación de relación densidad – humedad (proctor modificado).....	193
4.6. Análisis e interpretación de valor de soporte del suelo, cbr .....	194
4.7. Análisis e interpretación de prueba proctor modificado con cemento .....	196
4.8. Análisis e interpretación de moldeado de probetas de ensayo.....	197
4.9. Análisis e interpretación de resistencia a la compresión.....	200

4.10. Análisis de investigación de campo en vertederos.....	206
---	-----

## **CAPÍTULO V: "PROPUESTA DE APLICACIÓN DE MATERIALES RECICLADOS"**

5.1. Aplicación de materiales reciclados sin aglutinantes .....	
5.1.1. Materiales reciclados en bases de cimentaciones.....	209
5.1.2. Materiales reciclados en rellenos y sub-base en estructuras de pavimentos .....	211
5.1.3. Materiales reciclados como estabilizadores de arcillas.....	213
5.2. Aplicación de materiales reciclados con aglutinantes (cemento).....	214
5.2.1. suelo-cemento con materiales reciclados como material base en cimentaciones.....	214
5.2.2. Suelo-cemento con materiales reciclados en base de estructuras de pavimento.....	215
5.2.3. Ventajas y desventajas del suelo-cemento con residuos de construcción reciclados .....	217
5.2.4. Consideraciones técnicas para la utilización de residuos reciclados de concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro triturados.....	219
5.3. Planta de reciclaje de residuos de construcción y demolición.....	221
5.3.1. Plantas estacionarias de reciclaje .....	222
5.3.2. Plantas móviles de reciclaje .....	223
5.4. Consideraciones Económicas .....	224

## **CAPÍTULO VI: "CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"**

CONCLUSIONES.....	231
RECOMENDACIONES.....	233
BIBLIOGRAFÍA.....	235
ANEXO 1: Fichas de campo, identificación y caracterización de vertederos.....	239
ANEXO 2. Fotografías: residuos de construcciones y demoliciones.....	254
ANEXO 3. Glosario.....	256

# ÍNDICE DE TABLAS

## CAPÍTULO I: "GENERALIDADES"

Tabla 1. 1 <i>Plan de muestras para determinar las propiedades índices y mecánicas de los materiales triturados y material selecto.</i> .....	20
Tabla 1. 2 <i>Plan de muestras para determinar la humedad optima de mezclas de suelo-cemento y resistencia a compresión simple de probetas de suelo-cemento.</i> .....	21
Tabla 1. 3 <i>Requerimiento de graduación recomendados para granulometría de suelos en el diseño de mezclas de suelo-cemento.</i> .....	23
Tabla 1. 4 <i>Ensayos de laboratorio para una dosificación de cemento.</i> .....	26

## CAPÍTULO II: "MARCO REFERENCIAL"

Tabla 2. 1 <i>Antecedentes históricos del reciclaje.</i> .....	29
Tabla 2. 2 <i>Marco normativo legal aplicable al reciclaje de residuos de construcción y demolición.</i> .....	34
Tabla 2. 3 <i>Sistema Unificado de Clasificación de Suelos "SUCS"</i> .....	50
Tabla 2. 4 <i>Sistema de clasificación de suelos AASHTO</i> .....	51
Tabla 2. 5 <i>Correspondencia Clasificación AASHTO y Clasificación SUCS</i> .....	54

## CAPÍTULO III: "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES"

Tabla 3. 1 <i>Requerimientos de graduación para granulometría de suelos en el diseño de mezclas de suelo-cemento, límite superior y límites inferior.</i> .....	70
Tabla 3. 2 <i>Material necesario para realizar la prueba de granulometría.</i> .....	71
Tabla 3. 3 <i>Tamizado del material-selecto que se retiene en la malla No. 4</i> .....	76
Tabla 3. 4 <i>Cantidad de arena y grava del material-selecto.</i> .....	76
Tabla 3. 5 <i>Tamizado del material-selecto que pasa la malla No. 4</i> .....	77

Tabla 3. 6 <i>Granulometría del Material-Selecto</i> .....	78
Tabla 3. 7 <i>Tamizado del concreto triturado que se retiene en la malla No. 4</i> .....	80
Tabla 3. 8 <i>Tamizado del concreto triturado que pasa la malla No. 4</i> .....	81
Tabla 3. 9 <i>Granulometría del concreto triturado</i> .....	82
Tabla 3. 10 <i>Tamizado del bloque de concreto triturado que se retiene en la malla No. 4</i> .....	84
Tabla 3. 11 <i>Cantidad de arena y grava del bloque de concreto triturado</i> .....	84
Tabla 3. 12 <i>Tamizado del bloque de concreto triturado que pasa la malla No. 4</i> .....	85
Tabla 3. 13 <i>Granulometría del bloque de concreto triturado</i> .....	86
Tabla 3. 14 <i>Tamizado del ladrillo de barro triturado que se retiene en la malla No. 4</i> .....	88
Tabla 3. 15 <i>Cantidad de arena y grava del ladrillo de barro triturado</i> .....	88
Tabla 3. 16 <i>Tamizado del ladrillo de barro triturado que pasa la malla No. 4</i> .....	89
Tabla 3. 17 <i>Granulometría del ladrillo de barro triturado</i> .....	90
Tabla 3. 18 <i>Coefficientes granulométricos del material-selecto</i> .....	91
Tabla 3. 19 <i>Coefficientes granulométricos del concreto triturado</i> .....	91
Tabla 3. 20 <i>Coefficientes granulométricos del bloque de concreto triturado</i> .....	91
Tabla 3. 21 <i>Coefficientes granulométricos del ladrillo de barro triturado</i> .....	91
Tabla 3. 22 <i>Masa mínima de muestra para la prueba gravedad específica y absorción de granos de grava</i> .....	93
Tabla 3. 23 <i>Resultados de densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregado grueso del material-selecto.</i> .....	96
Tabla 3. 24 <i>Resultados de densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregado grueso del concreto triturado.</i> .....	97
Tabla 3. 25 <i>Resultados de densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregado grueso del bloque de concreto triturado.</i> .....	98
Tabla 3. 26 <i>Resultados de densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregado grueso del ladrillo de barro triturado.</i> .....	99

Tabla 3. 27 <i>Capacidad del medidor para prueba peso unitario suelto y peso unitario varillado.</i> .....	100
Tabla 3. 28 <i>Resultados de prueba peso unitario suelto y peso unitario varillado de material-selecto</i> .....	103
Tabla 3. 29 <i>Resultados de prueba peso unitario suelto y peso unitario varillado de concreto triturado</i> .....	104
Tabla 3. 30 <i>Resultados de prueba peso unitario suelto y peso unitario varillado de bloque de concreto triturado</i> .....	105
Tabla 3. 31 <i>Resultados de prueba peso unitario suelto y peso unitario varillado de ladrillo de barro triturado</i> .....	106
Tabla 3. 32 <i>Prueba proctor modificada del material-selecto</i> .....	119
Tabla 3. 33 <i>Prueba proctor modificada del concreto triturado</i> .....	120
Tabla 3. 34 <i>Prueba proctor modificada del bloque de concreto triturado</i> .....	121
Tabla 3. 35 <i>Prueba proctor modificada del ladrillo de barro triturado</i> .....	122
Tabla 3. 36 <i>Resultados de C B R para material-selecto</i> .....	129
Tabla 3. 37 <i>Resultados de C B R para concreto triturado</i> .....	132
Tabla 3. 38 <i>Resultados de C B R para bloque de concreto triturado</i> .....	135
Tabla 3. 39 <i>Resultados de C B R para ladrillo de barro triturado</i> .....	138
Tabla 3. 40 <i>Cantidad de cemento para el ensayo de compactación</i> .....	141
Tabla 3. 41 <i>Prueba proctor modificada del material selecto con 3% de cemento</i> .....	143
Tabla 3. 42 <i>Prueba proctor modificada del material selecto con 5% de cemento</i> .....	144
Tabla 3. 43 <i>Prueba proctor modificada del material selecto con 7% de cemento</i> .....	145
Tabla 3. 44 <i>Prueba proctor modificada del concreto triturado con 3% de cemento</i> .....	146
Tabla 3. 45 <i>Prueba proctor modificada del concreto triturado con 5% de cemento</i> .....	147
Tabla 3. 46 <i>Prueba proctor modificada del concreto triturado con 7% de cemento</i> .....	148



Tabla 3. 47 <i>Prueba proctor modificada del bloque de concreto triturado con 3% de cemento</i> .....	149
Tabla 3. 48 <i>Prueba proctor modificada del bloque de concreto triturado con 5% de cemento</i> .....	150
Tabla 3. 49 <i>Prueba proctor modificada del bloque de concreto triturado con 7% de cemento</i> .....	151
Tabla 3. 50 <i>Prueba proctor modificada del ladrillo de barro triturado con 3% de cemento</i> .....	152
Tabla 3. 51 <i>Prueba proctor modificada del ladrillo de barro triturado con 5% de cemento</i> .....	153
Tabla 3. 52 <i>Prueba proctor modificada del ladrillo de barro triturado con 7% de cemento</i> .....	154
Tabla 3. 53 <i>Moldeado de probetas, material-selecto con 3% de cemento</i> .....	160
Tabla 3. 54 <i>Moldeado de probetas, material-selecto con 5% de cemento</i> .....	161
<b>Tabla 3. 55</b> <i>Moldeado de probetas, material-selecto con 7% de cemento</i> .....	162
Tabla 3. 56 <i>Moldeado de probetas, concreto triturado con 3% de cemento</i> .....	163
Tabla 3. 57 <i>Moldeado de probetas, concreto triturado con 5% de cemento</i> .....	164
Tabla 3. 58 <i>Moldeado de probetas, concreto triturado con 7% de cemento</i> .....	165
Tabla 3. 59 <i>Moldeado de probetas, bloque de concreto triturado con 3% de cemento</i> .....	166
Tabla 3. 60 <i>Moldeado de probetas, bloque de concreto triturado con 5% de cemento</i> .....	167
Tabla 3. 61 <i>Moldeado de probetas, bloque de concreto triturado con 7% de cemento</i> .....	168
Tabla 3. 62 <i>Moldeado de probetas, ladrillo de barro triturado con 3% de cemento</i> .....	169
Tabla 3. 63 <i>Moldeado de probetas, ladrillo de barro triturado con 5% de cemento</i> .....	170
Tabla 3. 64 <i>Moldeado de probetas, ladrillo de barro triturado con 7% de cemento</i> .....	171
Tabla 3. 65 <i>Resultado de resistencia a compresión de material-selecto con 3% de cemento</i> .....	175

Tabla 3. 66 <i>Resultado de resistencia a compresión de material-selecto con 5% de cemento.....</i>	176
Tabla 3. 67 <i>Resultado de resistencia a compresión de material-selecto con 7% de cemento.....</i>	177
Tabla 3. 68 <i>Resultado de resistencia a compresión de concreto triturado con 3% de cemento.....</i>	178
Tabla 3. 69 <i>Resultado de resistencia a compresión de concreto triturado con 5% de cemento.....</i>	179
Tabla 3. 70 <i>Resultado de resistencia a compresión de concreto triturado con 7% de cemento.....</i>	180
Tabla 3. 71 <i>Resultado de resistencia a compresión del bloque concreto triturado con 3% de cemento.....</i>	181
Tabla 3. 72 <i>Resultado de resistencia a compresión del bloque concreto triturado con 5% de cemento.....</i>	182
Tabla 3. 73 <i>Resultado de resistencia a compresión del bloque concreto triturado con 7% de cemento.....</i>	183
Tabla 3. 74 <i>Resultado de resistencia a compresión del ladrillo de barro triturado con 3% de cemento.....</i>	184
Tabla 3. 75 <i>Resultado de resistencia a compresión del ladrillo de barro triturado con 5% de cemento.....</i>	185
Tabla 3. 76 <i>Resultado de resistencia a compresión del ladrillo de barro triturado con 7% de cemento.....</i>	186

**CAPÍTULO IV: "ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS"**

Tabla 4. 1 <i>Clasificación granulométrica de los materiales .....</i>	189
Tabla 4. 2 <i>Resumen de Resultados de Ensayo Gravedad Específica y Absorción de Agregado Grueso .....</i>	190

Tabla 4. 3 <i>Resumen de resultados de ensayo peso unitario suelto y peso unitario varillado en agregados</i> .....	191
Tabla 4. 4 <i>Resumen de resultados de ensayo proctor modificado</i> .....	193
Tabla 4. 5 <i>Calificación de suelos para pavimentos según CBR</i> .....	194
Tabla 4. 6 <i>Resumen de resultados prueba proctor modificado con cemento</i> .....	196
Tabla 4. 7 <i>Resumen de resultados de moldeado de probetas de suelo-cemento</i> .....	197
Tabla 4. 8 <i>Comparación de las propiedades de los materiales reciclados y material-selecto</i> .....	205
Tabla 4. 9 <i>Cuadro resumen de afectaciones en vertederos visitados, ubicados en la ciudad de San Miguel</i> .....	207

**CAPÍTULO IV: "PROPUESTA DE APLICACIÓN DE MATERIALES  
RECICLADOS"**

Tabla 5. 1 <i>Resumen de aplicaciones de RCD (Sin Aglutinantes)</i> .....	227
Tabla 5. 2 <i>Resumen de aplicaciones de RCD en mezclas de suelo-cemento</i> .....	229

# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO I: "GENERALIDADES"

Figura 1. 1 Croquis de Ubicación Planta Asfáltica y Trituradora Consorcio V y C S.A. de C.V. ....	16
Figura 1. 2 Croquis de Ubicación Banco de préstamo "El Castaño". ....	18
Figura 1. 3 Cronograma de secuencias de tiempos, ensayos de probetas cilíndricas. ....	22
Figura 1. 4 Diagrama Metodológico para la operativización de las variables. ....	25

## CAPÍTULO II: "MARCO REFERENCIAL"

Figura 2. 1 Jerarquía de la Legislación Ambiental Salvadoreña .....	33
---	----

## CAPÍTULO III: "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES"

Figura 3. 1 Diagrama secuencia de pruebas para el diseño de mezclas de suelo- cemento.....	68
Figura 3. 2 Curva granulométrica de material-selecto que se retiene en la malla No. 4 .....	76
Figura 3. 3 Curva granulométrica de material-selecto que pasa la malla No. 4.....	77
Figura 3. 4 Curva granulométrica de material-selecto.....	78
Figura 3. 5 Curva granulométrica del concreto triturado que se retiene en la malla No. 4 .....	80
Figura 3. 6 Curva granulométrica del concreto triturado que pasa la malla No. 4.....	81
Figura 3. 7 Curva granulométrica del concreto triturado .....	82
Figura 3. 8 Curva granulométrica del bloque de concreto triturado que se retiene en la malla No. 4 .....	84
Figura 3. 9 Curva granulométrica del bloque de concreto triturado que pasa la malla No. 4 .....	85
Figura 3. 10 Curva granulométrica del bloque de concreto triturado.....	86

Figura 3. 11 <i>Curva granulométrica del ladrillo de barro triturado que se retiene en la malla No. 4</i> .....	88
Figura 3. 12 <i>Curva granulométrica del ladrillo de barro triturado que pasa la malla No. 4</i> .....	89
Figura 3. 13 <i>Curva granulométrica del ladrillo de barro triturado</i> .....	90

#### **CAPÍTULO IV: "ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS"**

Figura 4. 1 <i>Diagrama, calificación de suelos para pavimentos según CBR</i> .....	195
Figura 4. 2 <i>Grafica resistencia a compresión de especímenes de suelo-cemento utilizando material-selecto</i> .....	200
Figura 4. 3 <i>Grafica resistencia a compresión de especímenes de suelo-cemento utilizando concreto triturado</i> .....	201
Figura 4. 4 <i>Grafica resistencia a compresión de especímenes de suelo-cemento utilizando bloque de concreto triturado</i> .....	202
Figura 4. 5 <i>Grafica resistencia a compresión de especímenes de suelo-cemento utilizando ladrillo de barro triturado</i> .....	203
Figura 4. 6 <i>Grafica resistencia a compresión de suelo-cemento utilizando 3%, 5% y 7% de cemento a los 7 días</i> .....	204

#### **CAPÍTULO V: "PROPUESTA DE APLICACIÓN DE MATERIALES RECICLADOS"**

Figura 5. 1 <i>Elevación de detalle típico de Zapata aislada</i> .....	209
Figura 5. 2 <i>Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos</i> .....	210
Figura 5. 3 <i>Sección de pavimentos rígidos y flexibles.</i> .....	211

# ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

## CAPÍTULO I: "GENERALIDADES"

Fotografía 1. 1 <i>Residuos de construcción encontrados en quebradas del Municipio San Rafael Oriente, Departamento de San Miguel.</i> .....	7
Fotografía 1. 2 <i>Residuos de construcción encontrados en Cantón El Jute sobre Carretera El Litoral, Depto. de San Miguel.</i> .....	7
Fotografía 1. 3 <i>Transporte de los RCD</i> .....	16
Fotografía 1. 4 <i>Maquinaria utilizada para la trituración de los RCD</i> .....	17
Fotografía 1. 5 <i>Acopio de los RCD, Laboratorio de Suelos y Materiales de la UES-FMO.</i> .....	17

## CAPÍTULO III: "DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES"

Fotografía 3. 1 <i>Procedimiento de las pruebas de granulometría</i> .....	73
Fotografía 3. 2 <i>Procedimiento de prueba gravedad específica y absorción de granos de grava</i> .....	94
Fotografía 3. 3 <i>Procedimiento de prueba peso unitario suelto y peso unitario varillado</i> .....	102
Fotografía 3. 4 <i>Procedimiento de límites de Atterberg</i> .....	112
Fotografía 3. 5 <i>Procedimiento de prueba proctor modificado</i> .....	117
Fotografía 3. 6 <i>Procedimiento de prueba CBR</i> .....	127
Fotografía 3. 7 <i>Procedimiento del ensayo de compactación con cemento</i> .....	142
Fotografía 3. 8 <i>Procedimiento del moldeado de probetas de suelo-cemento</i> .....	158
Fotografía 3. 9 <i>Procedimiento del ensayo de compresión de especímenes de suelo-cemento.</i> ..	173

## **CAPÍTULO V: "PROPUESTA DE APLICACIÓN DE MATERIALES RECICLADOS"**

Fotografía 5. 1 <i>Arcillas con plasticidad media</i> .....	213
Fotografía 5. 2 <i>Suelo-cemento, sustituyendo material terreo por residuos de concreto reciclados.</i> .....	214
Fotografía 5. 3 <i>Maquinaria utilizada para demoler pavimentos de concreto; martillo hidráulico adaptado a minicargador.</i> .....	216
Fotografía 5. 4 <i>Clasificación de residuos de construcción y demolición en planta.</i> .....	219
Fotografía 5. 5 <i>Planta estacionaria para reciclaje de RCD</i> .....	222
Fotografía 5. 6 <i>Planta móvil para reciclaje de RCD</i> .....	223

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Índice del grupo AASHTO</i> .....	51
Ecuación 2 <i>Índice de grupo AASHTO para suelos de los subgrupos A-2-6 y A-2-7.</i> .....	52
Ecuación 3 <i>Determinación de peso unitario suelto.</i> .....	101
Ecuación 4 <i>Determinación de peso unitario varillado.</i> .....	102
Ecuación 5 <i>Cálculo del límite plástico.</i> .....	109
Ecuación 6 <i>Cálculo del porcentaje de humedad.</i> .....	111
Ecuación 7 <i>Cálculo del índice plástico</i> .....	112
Ecuación 8 <i>Cantidad de agua agregada a la muestra para ejecución de ensayo Proctor.</i> .....	116
Ecuación 9 <i>Determinación del CBR.</i> .....	123
Ecuación 10 <i>Porcentaje de expansión de especímenes en prueba CBR</i> .....	126
Ecuación 11 <i>Cálculo de resistencia a la compresión de especímenes de suelo-cemento.</i> .....	173



## INTRODUCCIÓN

El reciclaje de residuos de la construcción (incluidos los de concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro), no es una novedad, pues desde hace algún tiempo ha tenido relevancia en los países que conforman la Unión Europea, Japón y los Estados Unidos. Como resultado de un desarrollo sujeto a procesos globales de cambios debe serlo en el medio local, donde las canteras se agotan a corto plazo por la extracción de materia prima demandada en la industria de la construcción; esta explotación de recursos se podría disminuir con la incorporación de los materiales reciclados.

Los pétreos en la construcción convencionalmente no se aplican en estado reciclado por el desconocimiento de sus propiedades y aparentar poca competitividad con los materiales tradicionalmente extraídos de canteras, por lo tanto es importante garantizar que las propiedades técnicas sean las adecuadas en dicho producto. El propósito de la presente investigación es proponer alternativas para la utilización de los residuos de construcción: concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro.

El trabajo está orientado a determinar las propiedades de residuos de construcción reciclados, por medio de estudios de mecánica de suelos, y conocer el comportamiento de mezclas de suelo-cemento sustituyendo el material terrero por residuos de la construcción.

La investigación se desarrolló en cinco (5) capítulos.

*El capítulo I- Generalidades*, contiene los antecedentes del problema, planteamiento del problema, justificación de la investigación, objetivos, alcances, limitaciones y metodología para realizar la investigación.

*El capítulo II- Marco Referencial*, se ha dividido en tres partes, 1) Marco Histórico, 2) Marco Normativo y 3) Marco Teórico. El primero contiene antecedentes del reciclaje

de los residuos de la construcción y antecedentes de la estabilización de suelos. El segundo contiene el marco normativo legal relacionado a la temática de investigación, y normas técnicas aplicables a los estudios realizados. El tercero es la exposición de conceptos básicos de reciclaje de los RCD, suelos, mecánica de suelos y suelo-cemento.

*El capítulo III- Determinación de las propiedades de los materiales*, presenta la guía de procedimientos que se siguieron para determinar las propiedades de los materiales, los cuales fueron tomados de las normas ASTM y AASHTO, además se presentan datos crudos obtenidos en el laboratorio y datos procesados hasta la obtención de las propiedades que tiene como objeto cada ensayo. Las propiedades de los materiales en estudio que fueron investigadas son: *granulometría, gravedad específica y absorción de granos de grava, peso unitario suelto y peso unitario varillado en agregados, límites de consistencia, peso volumétrico seco máximo, CBR, peso volumétrico seco máximo de mezclas de materiales con cemento y resistencia a compresión simple de especímenes de suelos-cemento.*

*El capítulo IV- Análisis e interpretación de resultados*, en este capítulo se analizan e interpretan los resultados obtenidos de granulometría de suelos, gravedad específica, peso unitario suelto y peso unitario varillado en agregados, límites de consistencia, relación densidad – humedad, valor de soporte del suelo (CBR), prueba proctor modificado con cemento, moldeado de probetas de ensayo, resistencia a la compresión de especímenes de suelo-cemento, efectuando comparaciones con parámetros establecidos por instituciones, normas y bibliografía consultada.

*El capítulo V- Propuesta de aplicación de materiales reciclados*, En este capítulo se aborda la aplicación de los materiales reciclados sin aglutinantes y con aglutinantes, las cuales están orientadas a disminuir la explotación de material térreo. Sin aglutinantes se propone la utilización de los materiales de concreto y mampostería bloque de concreto triturado, en base de cimentaciones, material estabilizador de arcillas, material de relleno y sub-base en estructuras de pavimentos. Con aglutinante se expone la aplicación de suelo-cemento con materiales reciclados en todas las aplicaciones anteriores, en las

cuales tiene ventajas de resistencia y durabilidad por lo que su aplicación es abarca mayor variedad de construcciones.

Además se exponen las ventajas y desventajas del suelo-cemento con materiales reciclados, se hace mención de las plantas de reciclaje y cuál sería la más adecuada para nuestro medio. A si como las consideraciones económicas del reciclaje de los RCD.

*El capítulo VI- Conclusiones y Recomendaciones*, Finalmente en este capítulo se formulan las conclusiones y recomendaciones que resultan al término de esta investigación.

# CAPÍTULO I: "GENERALIDADES"

## **1.1. ANTECEDENTES**

La reutilización y el reciclaje de los residuos de la construcción, a lo largo del ciclo de vida de los edificios y las infraestructuras, es una de las estrategias para alcanzar el desarrollo sostenible de este sector, es el hecho de que se junten intereses económicos y medioambientales en el mismo punto.

El reciclaje de los residuos de construcción está considerado como la tecnología constructiva más limpia y amiga de los recursos naturales, ya que se busca sustentar la utilización de los materiales recuperados como fuente de energía o materias primas, a fin de colaborar a la preservación y uso razonable de los recursos a emplear en nuevas aplicaciones y usos. Está resultando particularmente económico en los países donde la tierra es escasa y los costos de disposición de los desperdicios son muy altos. Por tanto, el reciclaje es la única técnica que se conoce en la actualidad, capaz de minimizar las afectaciones al medio ambiente provocadas por los componentes pétreos de los residuos de la construcción.

No fue hasta finales de los años 70 del siglo XX que se comenzó a hablar de un tratamiento seguro y eficiente de los residuos de la construcción, proponiéndose en 1977, en Japón, la primera norma para la utilización de agregados reciclados de hormigón<sup>1</sup>.

En Estados Unidos la Asociación Federal de Carreteras, recicla los pavimentos de hormigón. En 1985, durante la ampliación de 7,000 carreteras en Wyoming, el agregado fue una mezcla de materiales naturales y reciclados, con lo que se ahorró el 16% del costo total (Highway Statistics, Summary to 1995. Washinton, DC. 1996).

---

<sup>1</sup> Ing. Eulalio A. Toscano Machado. Maestría de Gerencia de la Ciencia y la Innovación Tecnológica. *Gestión de la Ciencia y Tecnología para el Reciclado de los Desechos Sólidos en la Construcción*. 2008. Villa Clara. La República de Cuba.

Estados Unidos, Dinamarca, Holanda, Gran Bretaña, Alemania y Japón poseen programas para reciclar materiales de construcción con la creación de plantas de tratamiento. Dinamarca ha impuesto una tasa a partir del 1º de enero de 1990 por tonelada de residuos que no se recicle. Japón prevé reciclar de 10 a 12 millones de toneladas de hormigón por año. En los países anteriormente mencionados existe una legislación específica que regula y grava el vertido de los residuos de construcción<sup>2</sup>.

En El Salvador la investigación es mínima en lo que se refiere al reciclaje de residuos de construcción y demolición, entre estos trabajos podemos mencionar:

1. "ELABORACIÓN DE CONCRETO USANDO DESPERDICIOS COMO AGREGADO GRUESO" / Presentado por: Pedro Ezequiel Quintanilla Román, Carlos Roberto Saldaña Flores. Trabajos de graduación presentados para La Facultad de Ingeniería, para optar al grado de Ingeniero Civil. Universidad Centro Americana José Simeón Cañas. Año 1985.

En este trabajo de graduación se estudio la posibilidad de usar desperdicios de concreto como agregado grueso para la elaboración de concreto, proceso que se conoce como reciclaje del concreto.

La investigación se realizó en el laboratorio de concreto de la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" y se estudiaron las propiedades de desperdicios de concreto y las propiedades de desperdicios de bloque de concreto, como agregado grueso, realizando las pruebas siguientes: abrasión, análisis granulométrico, absorción, gravedad específica y peso volumétrico. Obtenidas las propiedades de los desperdicios se procedió a diseñar mezclas de concreto con cada uno de los desperdicios y se les efectuó ensayos a compresión, tensión y determinación del módulo de elasticidad.

Los resultados que se obtuvieron son aceptables y demuestra claramente que un desperdicio de este tipo se puede utilizar para elaborar concreto.

---

<sup>2</sup> Natalini, Mario. Klees, Delia. Tirner, Jirina - "Reciclaje y reutilización de materiales residuales de construcción y demolición". Universidad Nacional del Nordeste (Argentina). Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2000.

2. "DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO LADRILLO DE BARRO COCIDO HECHO A MANO COMO AGREGADO GRUESO" / Presentada por: Oscar Amando Nieves Olivares, Jorge Ancheta Montoya, Mario Ernesto Aguilar Ortiz. Trabajos de graduación presentados para la facultad de Ingeniería, para optar al grado de Ingeniero Civil. Universidad Centro Americana José Simeón Cañas. Año 1985.

El objetivo de esta investigación fue buscar en el medio local materiales alternos que reúnan los requisitos básicos de seguridad y demuestren a través, un comportamiento satisfactorio que pueda ser explotado económicamente, haciendo uso de la tecnología disponible en nuestro medio.

Pensando en los diferentes materiales que para el fin anterior pudieran servir, se decidió realizar la investigación sobre el desperdicio que arrojan las construcciones con ladrillo de barro cocido hecho a mano como agregado grueso en mezclas de concreto; algunas conclusiones y recomendaciones que esta investigación produjo son las siguientes:

- Que la granulometría del agregado grueso y la arena utilizada según el sistema unificado de clasificación de suelo son mal graduadas.
- Según ensayo realizado al agregado grueso se concluye que es un agregado ligero.

El ensayo de absorción realizado al agregado grueso demuestra que posee una estructura porosa capaz de incorporar a su interior una cantidad de agua considerable. Se concluyó que el concreto obtenido se puede clasificar como un concreto de peso ligero.

Se recomienda a partir de los resultados que se use este concreto únicamente para el lleno de huecos en paredes de bloque y en algunos elementos estructurales sujetos a bajos esfuerzos, no expuestos a la intemperie.

3. "ELABORACIÓN DE CONCRETO USANDO DESPERDICIOS, BLOQUES DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO HECHO A MANO COMO AGREGADO GRUESO" / Universidad Politécnica de El Salvador, Trabajo de Graduación Preparado para la Facultad de Ingeniería, para optar al grado de Ingeniero Civil, Presentado por: Roberto Escalante Cáceres, Mario Alfredo Alvarenga Ávila, Juan Mauricio Amaya Alfaro. Año 1992.

El objetivo de este trabajo de investigación es demostrar la factibilidad técnica de aprovechar los desperdicios producidos por las demoliciones, como agregado grueso para la fabricación de concreto; la investigación pretendía estudiar el uso de los desperdicios de concreto, bloques de concreto y ladrillo de barro cocido, mezclados en proporción 45%-concreto, 45%-bloques de concreto y 10%- ladrillo de barro.

A los agregados se hicieron las siguientes pruebas de Laboratorio: *Abrasión, Absorción, Gravedad Específica y Peso volumétrico*; basado en los análisis de resultados de estas pruebas se concluyó en general que los agregados provenientes de los desperdicios de las demoliciones son aceptables para la fabricación de concreto, y que debido a su mayor absorción, y menor peso comparado con los agregados convencionales, este fue clasificado como agregado de peso ligero.

Al concreto se hicieron las siguientes pruebas: *revenimiento, resistencia a compresión, resistencia a la tensión, modulo de elasticidad*; de los resultados de estas pruebas se concluyó que la trabajabilidad del concreto con agregado reciclado es muy similar a la del concreto convencional, su esfuerzo a la compresión es al menos 70% que el concreto convencional y de su módulo de elasticidad tan bajo como 50% de este concreto, con tales propiedades el concreto reciclado con estos agregados lo sugieren como útil sustituto para agregados en regiones donde, el concreto es un problema de desperdicios y contaminación, donde el agregado natural no es accesible, y para uso en elementos estructurales sujetos a bajos esfuerzos, no expuestos a seria intemperie en obras pequeñas.



## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

La industria de la construcción ha tenido un desarrollo que consecuentemente ha provocado un aumento en el uso de materiales para la edificación, renovación y rehabilitación de infraestructura.

En la ciudad de San Miguel y su periferia se observan considerables cantidades de residuos de construcción y demolición localizados en diferentes lugares originando las afectaciones de orden ambiental. Es conveniente aclarar, que aún existiendo residuos inertes, es decir, con nula o escasa capacidad de interacción con blancos biológicos o reaccionar con otros materiales, no es aceptable que existan residuos inocuos desde el punto de vista ambiental pues en grandes volúmenes los residuos inertes en lugares inadecuados podrán causar grandes estragos de tipo ambiental.

Entre los principales inconvenientes que provoca la disposición final inadecuada de los residuos de la construcción se encuentran:

- ✓ *Disminución de área hidráulica en ríos y quebradas.*
- ✓ *Contribuye al deterioro estético y del paisaje en general de las ciudades.*
- ✓ *Favorece al desarrollo de insectos y roedores.*
- ✓ *Pérdida de materiales recuperables como escombros, plásticos y metales.*
- ✓ *Perdida de propiedades naturales de los suelos.*



**Fotografía 1. 1** *Residuos de construcción encontrados en quebradas del Municipio San Rafael Oriente, Departamento de San Miguel.*



**Fotografía 1. 2** *Residuos de construcción encontrados en Cantón El Jute sobre Carretera El Litoral, Depto. de San Miguel.*

Los rellenos sanitarios autorizados no aceptan residuos de concreto y albañilería; en El Salvador no existe ninguna empresa que se encargue de la disposición final de los residuos generados por la construcción y demolición.

Por lo tanto es necesario investigar alternativas dirigidas al uso y aplicación de los residuos de la industria de la construcción y demolición, en especial, el concreto, bloque de concreto, ladrillo de barro, ya que son los materiales más utilizados, por lo cual vale la pena encaminar los esfuerzos de la comunidad académica y del sector constructivo hacia la consolidación de una cultura de construcción sostenible.

### **1.2.2. ENUNCIADO DEL PROBLEMA**

¿Podrán los materiales reciclados concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro, ser utilizados como sustituto del material férreo en mezclas de suelo-cemento?

### 1.3. JUSTIFICACIÓN

Las justificaciones en que se basa la realización de esta investigación son las siguientes:

- ✓ Debido a la demanda de materia prima en la industria de la construcción que es extraída de las canteras, se está ocasionando un agotamiento ambiental a corto plazo, también como efecto derivado del consumo de esos recursos son muchas la porciones de paisajes que gradualmente se están perdiendo, lo que vuelve necesaria esta investigación que pretende descubrir otras alternativas que amplíen el aprovechamiento de la variedad de los materiales concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro.
- ✓ Siendo notoria la vulnerabilidad en nuestro medio a los desastres naturales y las consecuencias destructivas que estos ocasionan en infraestructuras, se torna imperativo orientar investigaciones que se relacionen con el reciclaje de escombros para que estos se empleen como materiales para construir y reconstruir.
- ✓ En cuanto a los antecedentes registrados en La Facultad Multidisciplinaria Oriental, Departamento de Ingeniería y Arquitectura, será un tema innovador que permitirá descubrir nuevas líneas para investigaciones venideras que den como resultado alternativas sostenibles en la industria de la construcción.
- ✓ Desde el punto de vista económico el reciclaje de los materiales de esta investigación, podría jugar un papel importante en la igualdad o reducción de costos y la equivalencia o mejor reportación de utilidades en comparación con los materiales tradicionales.

- ✓ De obtener resultados positivos en la investigación que se realiza se estará demostrando que los residuos de concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro, podrán ser usados en aplicaciones similares a la de los materiales tradicionales.
  
- ✓ A raíz de la escasez de recursos y al desarrollo tecnológico, se demanda hoy en día un uso racional y óptimo de los recursos existentes por lo que es conveniente promover iniciativas para el desarrollo sostenible en la industria de la construcción.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Conocer las propiedades físicas y mecánicas de los residuos reciclados de concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro, y su utilización en mezclas de suelo-cemento.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar vertederos para una descripción de la situación de generación y disposición final de los residuos de concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro.
- Evaluar las propiedades índice y mecánicas de los materiales triturados mediante las pruebas requeridas.
- Determinar las propiedades mecánicas del suelo-cemento elaborado con material reciclado de los residuos de concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro mediante las pruebas correspondientes.
- Describir el comportamiento del suelo-cemento elaborado con residuos de concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro.
- Proponer la aplicación del suelo-cemento elaborado con los residuos de concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro.

## 1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

### 1.5.1. ALCANCES

- Se seleccionaron vertederos ubicados en la ciudad de San Miguel, para caracterizar la problemática de estos en base a la *Ficha de Campo, Identificación y Caracterización de Vertederos (Ver Anexo 1)*.
- Las pruebas de laboratorio que se realizaron para determinar las propiedades Índice y Mecánicas de los residuos de construcción fueron:
  - Análisis granulométrico de suelos (ASTM D-422-90)
  - Determinación de gravedad específica y absorción de granos de grava (ASTM C-127-01)
  - Determinación de límites de Atterberg (ASTM D-4318-00)
  - Método de prueba estándar para densidad de masa y vacíos en agregado (ASTM C-29 / C-29 M-97)
  - Prueba Proctor modificada (AASHTO T-180)
  - CBR (ASTM D-1883-05)
- Las pruebas de laboratorio que se realizaron para determinar las propiedades Mecánicas del suelo-cemento convencional y con residuos de la construcción fueron:
  - Prueba Proctor modificada (Con cemento) (AASHTO T-180)
  - Moldeado de probetas de ensayo cilíndricas (PCA, ASTM D-1632-00)
  - Método de ensayo para la compresión simple de moldes cilíndricos de suelo-cemento (ASTM D-1633-00)
- La aplicación que se propuso a los materiales reciclados investigados es la utilización en mezclas suelo-cemento rígido.

- Esta investigación se realizó con los siguientes residuos: concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro, todos provenientes de vertederos.
- La Pruebas de suelos y materiales que se llevaron a cabo son las que se pueden realizar en el laboratorio de la Universidad de El Salvador FMO y Laboratorio de suelos y materiales de la Empresa M Z Consultores S.A de C.V.

### **1.5.2. LIMITACIONES**

- Los vertederos ubicados en el municipio de San Miguel se seleccionaron en función de la cantidad y tipo de residuos que se observó; en los vertederos no se hará estudio de impacto ambiental, solo una identificación de las posibles afectaciones. Los vertederos de donde se extrajeron los residuos para la investigación, se seleccionaron en función de los tipos de residuos, accesibilidad y la distancia al centro de acopio de los mismos, el cual se ubico en el municipio de San Rafael Oriente, Departamento de San Miguel.
- Dificultades para triturar los residuos de construcción y demolición, se solventó gestionando la colaboración de la Planta Asfáltica y Trituradora Consorcio V y C S.A. de C.V. ubicada en el cantón Loma Larga, Municipio La Unión, departamento La Unión.
- Para los resultados que este proyecto pretendió conocer, se compararon dos tipos de suelo-cemento; suelo-cemento convencional (material selecto-cemento) y material reciclado-cemento.
- Se realizarón tres dosificaciones, tanto para suelo-cemento convencional como para material reciclado-cemento, esta cantidad de dosificaciones para un diseño

de mezcla es la recomendada por la *Norma de Dosificación de suelo-cemento* propuestas por la “*Portland Cement Association (PCA)*”.

- El método para el diseño de mezclas de suelo-cemento que se utilizó es el propuesto por PCA y ASTM D-1632-00, pero con la variante que los especímenes fueron elaborados con una mayor energía de compactación, utilizando para este caso AASHTO T-180. La experiencia en la utilización de dicho método en El Salvador, ha sido muy exitosa con las modificaciones mencionadas, ya que se ha logrado optimizar el costo de las mezclas por el uso de un menor contenido de cemento, incrementando la resistencia con una mayor energía de compactación aplicada.
- Otra variante de la investigación fue el método de curado de los especímenes de suelo-cemento, la Norma para el diseño de mezclas de suelo-cemento de la PCA, recomienda el curado en una cámara húmeda, pero en el laboratorio donde se realizaron los ensayos no existe ese equipo, por lo que el curado fue "Curado húmedo" de los especímenes en un ambiente adecuado.
- Los materiales reciclados que se utilizaron en esta investigación son: residuos de concreto hidráulico, residuos de mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro cocido.
- La calidad de la mampostería y concreto extraídos de los vertederos, fue una muestra dentro de un universo de residuos, donde intervienen un gran número de variables, principalmente la calidad de bloques, agregados, procesos constructivos etc... por lo que los resultados estarán limitados a los materiales encontrados, bajo las condiciones específicas y no son generalizados para cada material reciclado en estudio.



## 1.6. METODOLOGÍA

### 1.6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de tipo exploratoria, consistió en estudiar la disposición final y propiedades índice y mecánicas de residuos de construcción y demolición; además se pretende conocer las propiedades del suelo-cemento, utilizando estos tipos de residuos. Los residuos de construcción y demolición que se estudiaron son concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro.

La investigación se realizó por medio de visitas de campo y pruebas de laboratorio estandarizadas por las normas ASTM, AASHTO y la PCA.

### 1.6.2. MÉTODO DE MUESTREO

Para determinar el número de ensayos de laboratorio, se utilizó el **Método No Probabilístico**, mediante el muestreo **Dirigido Intencional**, que "consiste en seleccionar las unidades u obtener los elementos necesarios para el desarrollo de la investigación según el juicio de los investigadores dado que las unidades seleccionadas gozan de representatividad"<sup>3</sup>

Ya que en nuestro medio los residuos de construcción que se utilizaron en esta investigación, nunca han sido estudiados como suelos, por lo tanto no se cuenta con antecedentes y datos estadísticos, por lo que el número de ensayos de laboratorio se ha determinado de tal manera que los resultados sean representativos y den un amplio panorama del comportamiento de las variables en estudio.

---

<sup>3</sup> Gildaberto Bonilla, Como hacer una Tesis de Graduación con Técnicas Estadísticas, UCA Editores, Primera Edición 1993.

En el muestreo de la materia prima de la investigación, también se siguieron los criterios del muestreo **Dirigido Intencional**, ya que en el muestreo dirigido, "la probabilidad de que una unidad elemental sea elegida es desconocida, la selección aleatoria puede perder los elementos más importantes, mientras que el muestreo dirigido con seguridad las incluirá en la muestra".

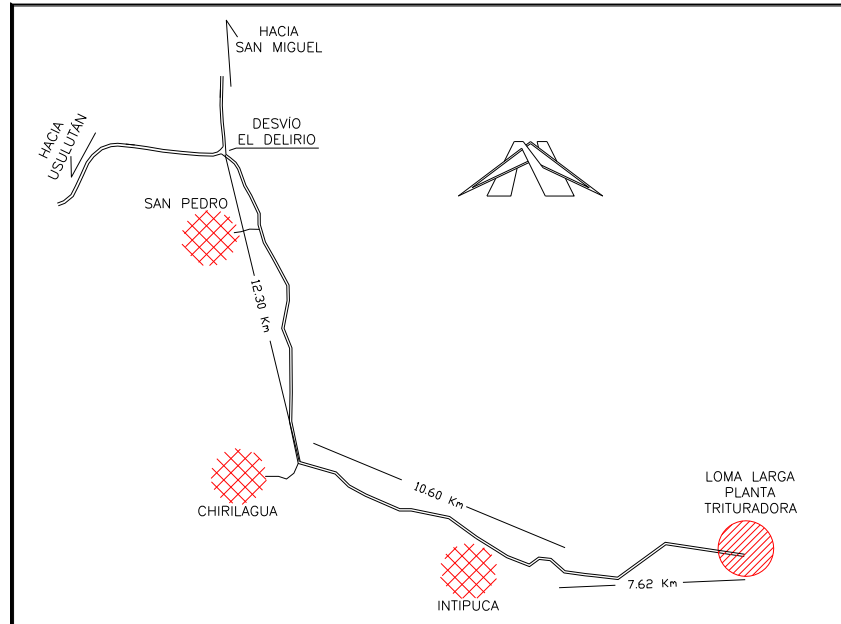
Para ello se tomaron residuos heterogéneos de concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro. La carga al vehículo de recolección se hizo utilizando medios manuales, con la finalidad de tener una selección implícita, es decir, verificando que la materia prima estuviera libre de otros materiales como: vidrio, madera, plástico cartón, papel, metales, y aceites entre otros.

### **1.6.3. DISEÑO DEL ESTUDIO**

El lugar donde se desarrolló la investigación es una combinación de campo y laboratorio.

La investigación de campo consistió en realizar una descripción de la situación actual de los residuos de la construcción en vertederos ubicados en la ciudad de San Miguel. (*Ver instrumento de estudio Anexo 1: Ficha de Campo, Identificación y Caracterización de Vertederos*)

La trituración de los materiales se realizó en campo con la colaboración de la Planta Asfáltica y Trituradora Consorcio V y C S.A. de C.V. ubicada en el cantón Loma Larga, Municipio La Unión, departamento La Unión, cada material será triturado por separado. El proceso será el mismo que se emplea para la trituración de roca natural. El equipo utilizado será una trituradora de mandíbula, equipado con un molino de cono hidráulico, 3 bandas transportadoras, una para cada tamaño de agregado: *grava, arena y chispa*.



**Figura 1. 1** *Croquis de Ubicación Planta Asfáltica y Trituradora Consorcio V y C S.A. de C.V.*



**Fotografía 1. 3** *Transporte de los RCD*

*Transporte del centro de acopio a planta trituradora en camión, acarreo interno en planta por medios manuales y con ayuda de cargador.*



**Fotografía 1. 4** *Maquinaria utilizada para la trituración de los RCD.*

*En la imagen se observa la salida en la banda transportadora, del ladrillo de barro despues de ser sometido a proceso de trituración*

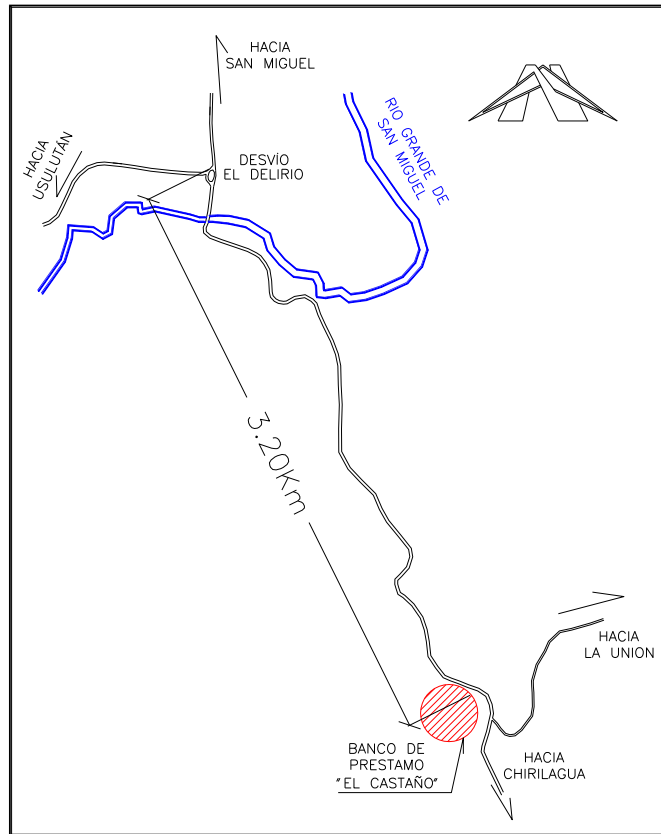


**Fotografía 1. 5** *Acopio de los RCD, Laboratorio de Suelos y Materiales de la UES-FMO.*

*En la fotografía el material a la izquierda es concreto triturado, a la derecha mampostería de bloque de concreto triturado y al centro ladrillo de barro triturado.*

Paralelamente se tomaron muestras de material-selecto, para realizarle los mismos estudios como punto de comparación y referencia, este material será extraído del banco de préstamo "El Castaño", ubicado en cantón y caserío El Castaño, a 1.3 km del desvío que se encuentra sobre la carretera al Cuco, sobre la calle que conduce al

cantón Piedra Grande y que conecta al municipio de Intipuca, se selecciono este material por antecedentes de muy buenas características mecánicas CBR de 80.<sup>4</sup>



**Figura 1. 2** Croquis de Ubicación Banco de préstamo "El Castaño".

La investigación de laboratorio, consistió en realizar pruebas de suelos y materiales, se usó el equipo existente en el laboratorio de suelos y materiales de la UES-FMO para realizar pruebas de absorción de granos de grava, límites Atterberg y Análisis granulométrico de suelos.

---

<sup>4</sup> ANÁLISIS DE LOS BANCOS DE MATERIALES EN EL DEPARTAMENTO DE SAN MIGUEL, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE BASE EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS – Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería y Arquitectura- Año 2003

Las pruebas Proctor, densidad de masa y vacíos en agregado, CBR, moldeado de probetas de ensayo cilíndricas y resistencia a compresión simple se realizó en el Laboratorio de suelos y materiales de la Empresa M Z Consultores S.A. de C.V. Con los resultados de laboratorio se pudieron conocer el comportamiento de mezclas de suelo-cemento utilizando material reciclado de construcciones y demoliciones.

## **1.6.4. UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **1.6.4.1. PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES TRITURADOS Y MATERIAL-SELECTO**

Se trituraron un total de **6 m<sup>3</sup>** de residuos de construcción y demolición, consistió en 2m<sup>3</sup> de concreto, 2m<sup>3</sup> mampostería de bloques de concreto y 2m<sup>3</sup> mampostería de ladrillos de barro cocido, de cada material se tomarán muestras representativas para pruebas de laboratorio.

Se realizarán pruebas de laboratorio para el material-selecto y cada material triturado por separado.

Para determinar las propiedades índice y mecánicas de los materiales en estudio, se realizarán **36** ensayos (*Ver Tabla 1.1*).

*Para determinar la humedad óptima de los materiales*, se trazaron con 4 puntos las curvas peso volumétrico seco máximo-humedad.

**A continuación se presenta el plan para estas pruebas de laboratorio:**

<b>Materiales</b>		<b>No. de Ensayos</b>				
		<b>Concreto</b>	<b>Bloque de Concreto</b>	<b>Ladrillo de Barro</b>	<b>Material selecto</b>	<b>Sub-Total</b>
<b>Prueba de Laboratorio</b>						
<b>Propiedades Índice</b>	Análisis granulométrico de suelos (ASTM D-422-90)	2	2	2	2	<b>8</b>
	Determinación de gravedad específica y absorción de granos de grava (ASTM C-127-01)	2	2	2	2	<b>8</b>
	Determinación de límites de Atterberg (ASTM D-4318-00)	1	1	1	1	<b>4</b>
	Método de prueba estándar para densidad de masa y vacíos en agregado (ASTM C-29/ C-29M-97)	1	1	1	1	<b>4</b>
<b>Propiedades Mecánicas</b>	Prueba proctor modificada (AASHTO T-180)	2	2	2	2	<b>8</b>
	CBR (ASTM D-1883-05)	1	1	1	1	<b>4</b>
<b>Total ensayos de Laboratorio para determinar las propiedades índice de los Materiales</b>						<b>36</b>

**Tabla 1. 1** *Plan de muestras para determinar las propiedades índices y mecánicas de los materiales triturados y material selecto.*

Para las pruebas de laboratorio que en la Tabla anterior presentan 2 ensayos, estos realizaron con el fin de contrastar resultados, en el Capítulo 3 se presentan solamente los resultados de una de estas.

### 1.6.4.2. PROBETAS DE ENSAYO CILÍNDRICAS Y RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DE SUELO-CEMENTO

Para el diseño de mezclas de suelo-cemento convencional y con materiales reciclados, estas pruebas cuentan con un universo muestral de **72** probetas cilíndricas moldeadas bajo la norma de la ASTM D-1632-00 y ASTM D-1633-00 y La PCA.

Se realizó el diseño de suelo-cemento convencional y con material reciclado, con el fin de tomar las mezclas de suelo-cemento convencional como patrón comparativo.

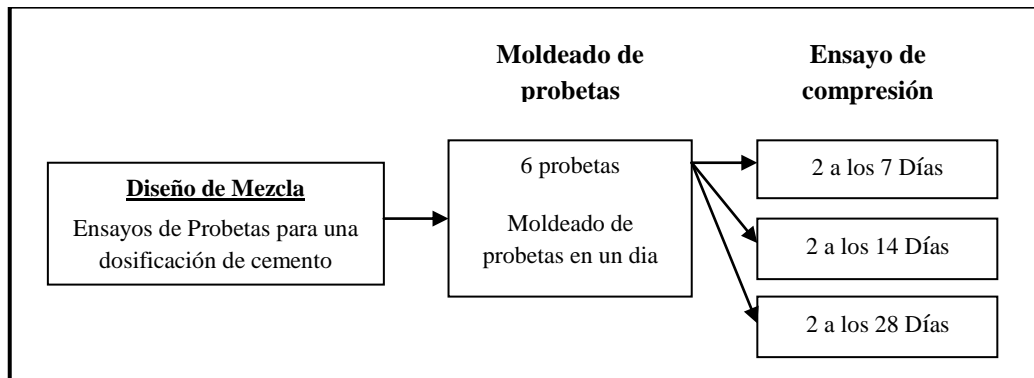
*Para determinar la humedad óptima del material-selecto y materiales triturados mezclados con cemento, se trazó con 4 puntos la curva peso volumétrico seco-humedad, 1 prueba proctor por cada dosificación de cemento.*

Materiales	Dosificación de cemento												Sub - Total
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	Concreto			Bloque de Concreto			Ladrillo de Barro			Material selecto			
Proctor modificado (AASHTO T-180) (Con cemento)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Moldeado de probetas de ensayo cilíndricas (PCA, ASTM D-1632-00)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	72
Compresión simple de probetas cilíndricas de suelo-cemento (ASTM D-1633-00)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	72
<b>Total de Ensayos</b>												<b>156</b>	

**Tabla 1. 2** Plan de muestras para determinar la humedad optima de mezclas de suelo-cemento y resistencia a compresión simple de probetas de suelo-cemento.



**Figura 1. 3** Cronograma de secuencias de tiempos, ensayos de probetas cilíndricas.



*Igual para todos los tipos de mezcla, suelo-cemento convencional y suelo-cemento con materiales reciclados.*

### **1.6.5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

En el diseño de mezclas de suelo-cemento se encontraron múltiples variables que rigen su comportamiento, en este proyecto de investigación se tuvo que trabajar con algunas variables de las cuales no se tiene mayor conocimiento de su comportamiento, específicamente en esta investigación se pretenden determinar dichas variables.

El tratamiento de estas variables se detalla a continuación:

- ✓ **Triturado del concreto, bloque de concreto y ladrillo de barro:** La trituración de los materiales se realizó con maquinaria de la Planta Asfáltica y Trituradora Consorcio V y C S.A. de C.V. ubicada en el cantón Loma Larga, Municipio La Unión, departamento La Unión, el mecanismo de trituración es una *Máquina trituradora de cono hidráulica*, es de la maquinaria de trituración más utilizada en la industria de la construcción, los materiales se trituraron por separado y se pretende llegar a un tamaño máximo de 1/2 " a 3/4" y con una granulometría según la recomendada por el **Ejército y Fuerza Aérea (EUA)**, mostrada en la siguiente **tabla:**

**Tabla 1. 3** *Requerimiento de graduación recomendados para granulometría de suelos en el diseño de mezclas de suelo-cemento.*

Tipo de material	Tamaño de tamiz	Porcentaje que pasa
<b>Base</b>	2''	100
	1 1/2''	70-100
	1''	45-100
	3/4''	--
	1/2''	30-90
	No. 4	20-70
	No. 10	15-60
	No. 30	--
	No. 40	5-20
	No. 200	0-20
<b>Sub-base</b>	3''	100
	No. 4	--
	No. 10	--
	No. 100	--
	No. 200	0.25

*Fuente: Revista del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC) Año 12, No. 44, San Salvador, Marzo 2007.*

- ✓ **Diseño de mezclas de suelo-cemento:** fue el propuesto por “Portland Cement Association (PCA)” pero con la variante que los especímenes fuerón elaborados con una mayor energía de compactación, utilizando para este caso la prueba Proctor modificada (AASHTO T-180).
- ✓ **Dosificación de suelo-cemento:** es la secuencia de ensayos realizados con una determinada mezcla de suelo, cemento y agua, seguida de la interpretación de los resultados por medio de criterios preestablecidos; se hicieron 3 dosificaciones de cemento, según el manual de la PCA se determina una primera dosificación en

base a la clasificación de los suelos AASHTO, ASTM / (USCS<sup>5</sup>), las otras dos dosificaciones serán "+" y "-" 2% de cemento respecto a primera dosificación.

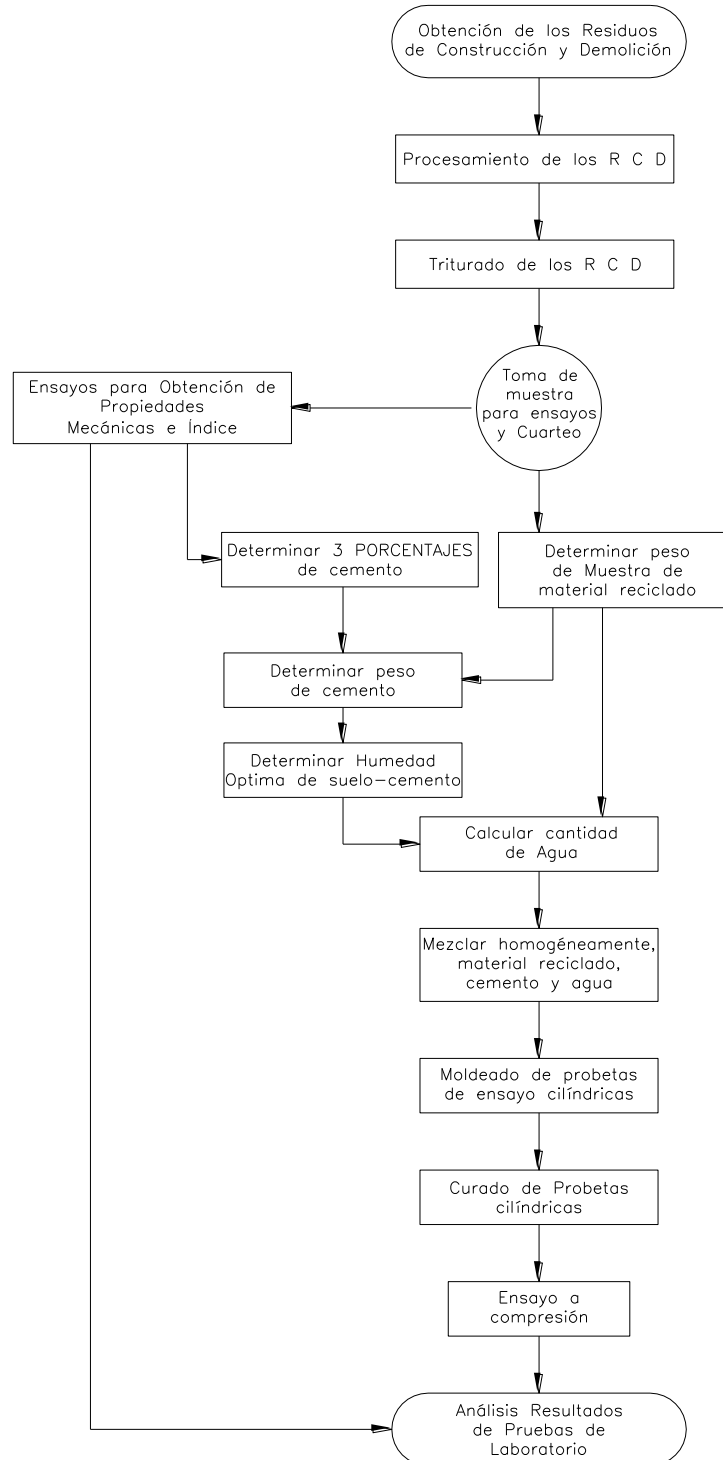
Según la PCA, en los ensayos de laboratorio no es fácil practicar la composición de mezclas en volumen; la cantidad de cemento, para cada ensayo, necesita ser transformada en la cantidad de cemento en peso. La designación de cantidad de cemento por la cantidad de cemento en peso, que es la relación entre el peso del cemento y el peso del suelo seco (*% de cemento = Peso de cemento/Peso de suelo seco*), simplifica de sobremanera los trabajos de laboratorio, no alterando los resultados.

**En la siguiente página se presenta el Diagrama Metodológico que relaciona la operativización de las variables:**

---

<sup>5</sup> USCS: Unified Soil Classification System - Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

## 1.6.6. DIAGRAMA METODOLÓGICO



**Figura 1. 4** Diagrama Metodológico para la operativización de las variables.

## 1.6.7. INSTRUMENTO PARA RECOLECTAR DATOS DE INVESTIGACIÓN

Los resultados que busca este proyecto fuerón obtenidos en el laboratorio y campo, su clasificación en función al lugar de recolección de datos es la siguiente:

### Campo

1. Descripción que consistió en seleccionar los vertederos, identificar la posible procedencia de los materiales, identificar los tipos materiales, identificar posibles impactos ambientales. Muestreo y trituración de materiales para ensayos de laboratorio.

### Laboratorio

2. **Pruebas para determinar las propiedades índice y mecánicas de los materiales triturados y material-selecto:** Gravedad específica y absorción de granos de grava, densidad de masa y vacíos en agregados, límites de Atterberg, análisis granulométrico de suelos, Proctor modificado, CBR.
3. **Pruebas para determinar dosificaciones de cemento y agua:** Propiedades índice y mecánicas.
4. **Pruebas a especímenes de suelo-cemento:** Moldeado de probetas de ensayo cilíndricas, curado de especímenes, resistencia a compresión simple.

Por cada dosificación de suelo-cemento (6 especímenes cilíndricos), se realizó la prueba de compresión en el siguiente orden:

**Tabla 1. 4** *Ensayos de laboratorio para una dosificación de cemento.*

Prueba de Laboratorio	A los 7 Días	A los 14 Días	A los 28 Días
Compresión Simple	2	2	2

En cada uno de estos días se determinó el porcentaje de resistencia ganada por la muestra, luego se dibujaron las curvas resistencia - % de cemento, resistencia-edad de especímenes.

### **1.6.8. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Las distintas operaciones a las que fueron sometidos los datos que se obtuvieron en esta investigación son: registro, tabulación, relaciones y gráficas.

**En lo referente al análisis de datos se verificó lo siguiente:**

#### **A. Verificación de rangos**

Se compararon cada dato con valores permitidos y usuales para cada prueba de laboratorio, se hizo una verificación de rangos para: detectar y corregir valores no válidos, identificar e investigar valores inusuales, señalar valores atípicos o extremos, verificar la lógica de los resultados.

#### **B. Verificación de la consistencia**

La verificación de la consistencia se examinó para cada par (o más) de datos relacionados.

# CAPÍTULO II:

## "MARCO REFERENCIAL"

## 2.1. MARCO HISTÓRICO

### 2.1.1. ANTECEDENTES DEL RECICLAJE

El reciclaje ha sido practicado comúnmente a lo largo de la historia humana, desde siempre las ruinas de las civilizaciones anteriores han servido de gran cantera suministradora de materia prima para los nuevos ocupantes. La construcción siempre se ha provisto de cualquier material aprovechable que tuviera cierta consistencia de comportamiento y que ofreciera costos mínimos respecto a la utilidad que se le pretendía dar. Así como una cierta tendencia a reciclar todo aquello que queda de la construcción anterior y que tuviera cierto interés (tejas, ladrillos, vigas, andamios, etc.)

**Tabla 2. 1** *Antecedentes históricos del reciclaje.*

Londres, Berlín y Varsovia, son ejemplos de ciudades reconstruidas con los escombros de la Segunda Guerra Mundial.
Se propuso en 1977, en Japón, la primera norma para la utilización de agregados reciclados de hormigón.
En la década de los 80 entraron en vigor normas y recomendaciones en el tratamiento de los residuos de la construcción en países como Dinamarca, Rusia y Alemania, y posteriormente en Francia, España, Bélgica, Noruega y China.
En Estados Unidos la Asociación Federal de Carreteras, recicla los pavimentos de hormigón. En 1985.
En Kuwait sobre todo a partir de la ocupación de 1990 al 1991 se da una especial demanda al tratamiento y reciclaje de grandes cantidades de residuos de la construcción.
Brasil es el primer país en América Latina en donde fue instalada una planta de reciclaje de residuos de la construcción, a partir de la resolución emitida por el CONAMA 2002.



La empresa pionera en México es Concretos Reciclados S.A. de C.V., inició sus actividades en 2004, en el reciclaje de los residuos de la construcción.

Nace a partir de la actividad de minas, dedicada a la explotación, trituración y clasificación de agregados pétreos para la construcción.

*Fuente: Elaboración Propia.*

### **2.1.2. ANTECEDENTES DE LA ESTABILIZACION DE SUELOS**

Se cuenta con evidencia que desde hace más de 5000 años el hombre ha venido utilizando materiales calizos y otros conglomerados puzolánicos para la estabilización de suelos, a efecto de satisfacer sus necesidades de comunicación, ya sea para fines comerciales, religiosos o por razones militares. Prueba de ello son los trabajos encontrados en la India, las pirámides de Shaanxi en China, la red de caminos del Imperio Romano, las pirámides de Egipto, los famosos caminos blancos “Sacben” de los Mayas, las redes de comunicación de los Incas y Aztecas, y otras notables obras que en la actualidad contemplamos con admiración sobre el gran conocimiento con que se contaba en la antigüedad.

No obstante, a la caída del imperio Romano y debido a la desorganización social se descuidaron los aspectos técnicos sobre los suelos, llegando a su punto más bajo en el período medieval (400 a 1400 años antes de Cristo). Se presentó una época de poco interés en el conocimiento de la estabilización de suelos, siendo hasta los siglos XVII y XVIII cuando resurgió el interés y se dio nuevo impulso a la solución de problemas en las cimentaciones. La aparición de la mecánica de suelos como tal en 1925 y las investigaciones que se realizaron posteriormente hasta nuestros días han aportado considerablemente a mejorar los métodos empíricos utilizados.

El origen de estabilizar suelos mezclando cemento para obtener un material estructural no ha sido establecido con exactitud. Se considera que la aplicación del suelo

cemento empezó a estudiarse en forma metódica y científica en la década de 1910 a 1920. En Inglaterra en el año de 1917, el Ing. H.E. Brooke Bradley aplicó exitosamente una mezcla de cemento con suelos arcillosos en la construcción de carreteras, sin embargo, a pesar de los excelentes resultados la técnica no fue muy utilizada en aquel momento, por el contrario, en los Estados Unidos de América, el uso del suelo cemento se incrementó a partir de la patente de Joseph Hay Amies en 1917, primero en patentar una mezcla de suelo con cemento denominada "SOILAMIES".

También para el uso en carreteras. Fue entre 1930 y 1940 que oficialmente se comenzó a trabajar con este nuevo material, con el esfuerzo conjunto de la Portland Cement Association, Bureau of Public Roads y el Departamento de Vialidad del Estado de Carolina del Sur.

### **2.1.3. MECÁNICA DE SUELOS EN RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

**La aplicación de residuos de la construcción en carreteras** de España es alta, a experiencia más significativa es la de la Villa Olímpica de Barcelona en 1992, en la que se utilizaron materias primas procedentes de la demolición de estructuras, de muros perimetrales y cimentaciones de los antiguos barrios situados en esa zona, se utilizaron para la realización de sub-base de la red vial de urbanización de la Villa Olímpica de Barcelona

De los antecedentes que se tienen de la aplicación de los residuos de la construcción como sustituto del material térreo en mezclas de suelo-cemento, es el expuesto en el VIII Congreso Nacional de FIRMES<sup>6</sup>, España, 2008, donde se expuso la ejecución de una

---

<sup>6</sup> En España se conoce como **firμες a**: la capa sólida de terreno sobre la que se pueden colocar los cimientos de una construcción ó al pavimento de una carretera.

capa de base de suelo-cemento en una autopista de Cataluña en la que se han empleado como suelos residuos de construcción y demolición con excelentes resultados.

Otro ejemplo de este tipo de aplicaciones también mencionado con detalle en este Congreso es la construcción de Instalaciones Deportivas en Ciempozuelos (Madrid), construidas sobre rellenos antiguos de vertederos gracias a la estabilización con este tipo de suelo-cemento del último metro sobre el que se han apoyado, directamente, las infraestructuras necesarias.

Actualmente en España están en marcha toda una serie de líneas de investigación sobre estos temas que producirán un impulso de estas aplicaciones durante los próximos años.

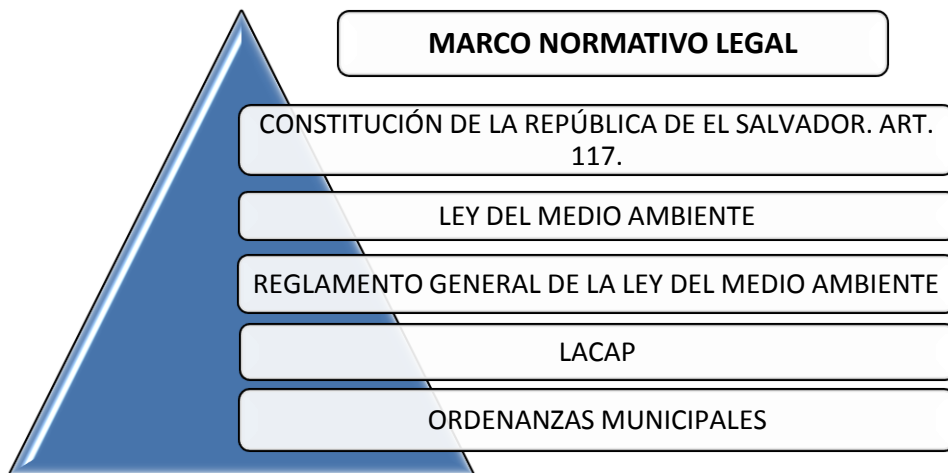
## 2.2. MARCO NORMATIVO

### 2.2.1. LEYES AMBIENTALES EN EL SALVADOR

El marco normativo legal de esta investigación es importante, ya que sería poco útil tener factibilidad técnica, y no poseer un marco legal que regule las actividades de construcción y demolición, las normativas jurídicas son una forma de influir en las empresas y personas involucradas en estas actividades a implementar practicas para el buen manejo de los residuos de materiales a los que está enfocada esta investigación.

A continuación se presenta un esquema que describe en orden jerárquico leyes relacionadas a la investigación, en el cual se tiene como normativa primaria el Art.117 de La Constitución de la Republica de El Salvador, del cual se deriva la Ley del Medio Ambiente.

**Figura 2. 1** *Jerarquía de la Legislación Ambiental Salvadoreña*



*Fuente: Elaboración Propia.*

**Art. 117.-** *Es deber del Estado proteger los recursos naturales, así como la diversidad e integridad del medio ambiente, para garantizar el desarrollo sostenible.*

*Se declara de interés social la protección, conservación, aprovechamiento racional, restauración o sustitución de los recursos naturales, en los términos que establezca la Ley.*

**Tabla 2. 2 Marco normativo legal aplicable al reciclaje de residuos de construcción y demolición.**

<b>LEY / REGLAMENTO</b>	<b>ART.</b>	<b>CONTENIDO</b>
CONSTITUCION DE EL SALVADOR	Art. 117.	Establece que el estado está en la obligación de proteger los recursos naturales, para ello la creación de leyes que regulen la explotación y preservación de los mismos.
LEY DE MEDIO AMBIENTE DE EL SALVADOR	ART. 21, 75, 85, 86.	Señala en sus artículos todo lo relacionado a la gestión de permisos ambientales que se deben tramitar para la ejecución de proyectos de construcción, además hace mención de las infracciones a las cuales se incurre al violentar esta normativa.
REGLAMENTO GENERAL DE LA LEY DEL MEDIO AMBIENTE	Art. 73, 127.	Señala que el incumplimiento de las condiciones establecidas en el Permiso Ambiental y en el Programa de Adecuación Ambiental, motivan la suspensión de las actividades obras o proyectos que se encuentren operando hasta que el titular del proyecto cumpla con las exigencias legales establecidas.
LACAP	Art. 15, 16.	Se refiere a que previo a la contratación las instituciones deberán obtener los permisos y licencias ambientales necesarias para la ejecución de contratos, y que las Instituciones por medio de las unidades Medio Ambientales están obligadas a considerar los efectos que sobre el medio ambiente pueda causar la ejecución de obras públicas.
ORDENANZAS MUNICIPALES	-	Es reducido el número municipalidades que poseen ordenanzas orientadas a la regulación de RCD, entre lo más importante y común que tienen se encuentra que: toda persona natural o jurídica que realice trabajos de cualquier naturaleza en cualquier lugar público deberá al finalizar el trabajo, limpiar y retirar los escombros y el ripio que resulte, el retiro es por cuenta del propietario de la obra, el lugar de disposición final deberá ser aprobado por las instituciones regulatorias aplicables.

*Fuente: Elaboración Propia.*

## **2.2.2. NORMAS INTERNACIONALES**

### **2.2.2.1. NORMAS ASTM**

#### **A. Determinación de gravedad específica y absorción de agregado grueso (ASTM C-127-01)**

Este método de prueba cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (sin incluir el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregado grueso.

#### **B. Método de prueba estándar para densidad de masa y vacíos en agregado (ASTM C-29 / C-29 M-97)**

Es el peso de la cantidad necesaria de material que llena un recipiente de volumen conocido. Físicamente es el volumen ocupado por el material y los vacíos entre sus partículas.

Peso volumétrico suelto: el procedimiento de palear el agregado para llenar el recipiente y utilizar la compactación que alcance con la caída libre.

Peso volumétrico varillado: es la compactación por varillado en el llenado del recipiente de volumen conocido.

#### **C. Determinación de límites de Atterberg (ASTM D-4318-00)**

Esta prueba de laboratorio cubre la determinación del Límite Líquido, Límite Plástico, y el Índice de Plasticidad de suelos, definiendo estos como:

Límite líquido: El contenido de agua, en porcentaje, de un suelo al límite arbitrariamente definido entre los estados semilíquido y plástico.

Límite plástico: El contenido de agua, en porcentaje, de un suelo al límite entre los estados plástico y semisólido.

**D. Análisis granulométrico de suelos (ASTM D-422-90)**

La prueba de análisis granulométrico persigue determinar la clasificación de un suelo por el tamaño de partículas individuales; valiéndose de la curva granulométrica y de los valores de los coeficientes de uniformidad y compacidad.

**E. CBR (ASTM D-1883-05)**

La finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte.

**F. Moldeado de probetas de ensayo cilíndricas (PCA, ASTM D-1632-00)**

Este método fija el procedimiento por el cual se moldean las probetas de ensayo de suelo-cemento que serán sometidas a compresión simple, previo a esta prueba se debe haber determinado el peso volumétrico seco máximo y humedad óptima para cada dosificación de cemento.

**G. Resistencia a compresión simple de moldes cilíndricos de suelo-cemento (ASTM D-1633-00)**

Para controlar la resistencia a compresión del suelo cemento endurecido, se hace sometiendo los especímenes a condiciones de carga de compresión, el ensayo de compresión es análogo al hecho para concreto con la diferencia que la probeta de ensayo de suelo-cemento es sometida a compresión con una velocidad de carga constante de 150 KPa/seg ( $1.5 \text{ Kg/cm}^2/\text{seg}$ ), aproximadamente.

## **2.2.2.2. NORMAS AASHTO**

### **I. Prueba Proctor Modificada (AASHTO T-180)**

El ensayo Proctor se realiza para determinar la humedad óptima a la cual un suelo alcanza su máxima compactación. El Proctor modificado es una variación de la prueba Proctor Estándar, la energía de compactación especificada para este método de prueba es mayor que el del método estándar; dicha energía es lograda colocando al suelo 5 capas y aplicando 25 golpes por capa, el método produce una energía de compactación de 56000 Lb-pie / pie<sup>3</sup>.

## **2.3. MARCO TEÓRICO**

### **2.3.1. RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

#### **2.3.1.1. GENERALIDADES DEL RECICLAJE DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION**

##### **A. Reciclaje**

Es cualquier proceso donde materiales de desperdicio son recolectados y transformados en nuevos materiales que pueden ser utilizados o vendidos como nuevos productos o materias primas.

##### **B. Los Residuos de Construcción y Demolición (R C D)**

Son aquellos que se generan durante la construcción, renovación (ampliación o reparación) y demolición de obras de edificios residenciales o no-residenciales (industriales, comerciales, institucionales), puentes, calles, avenidas, entre otras.



### **C. Origen de los residuos de construcción y demolición**

El origen de los residuos de construcción y demolición tal y como su nombre indica, provienen de la construcción y demolición de edificios e infraestructuras; rehabilitación y restauración de edificios y estructuras existentes; construcción de nuevos edificios y estructuras; así como de la producción de materiales de construcción.

### **D. Composición de los residuos de construcción y demolición**

La composición de los RCD, varía en función del tipo de infraestructuras de que se trate y refleja en sus componentes mayoritarios, el tipo y distribución porcentual de las materias primas que utiliza el sector, si bien hay que tener en cuenta que éstas pueden variar de un país a otro en función de la disponibilidad de los mismos y los hábitos constructivos.

## **2.3.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

### **I. Residuos inertes**

Residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. Los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente ni de ninguna otra manera, ni son biodegradables; vidrios, concreto, ladrillos, tejas, cerámicos, tierra y piedras.

### **II. Residuos no peligrosos**

No son tóxicos en sí mismos, pero pueden sufrir reacciones en las que se produzcan sustancias tóxicas. Madera, plásticos, textiles, yeso, metales.

### **III. Residuos peligrosos o especiales**

Los que presenten características de peligrosidad de acuerdo a la legislación Nacional (leyes). Pinturas y sus envases, plomo.

### **2.3.1.3. BUENAS PRÁCTICAS MEDIOAMBIENTALES PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

El sector de la construcción y demolición produce un importante volumen de residuos muy heterogéneos, los cuales reciben el nombre específico de residuos de construcción y demolición (RCD), estando en su mayor parte compuestos por escombros y excedentes de tierras.

Aunque se generan en grandes cantidades y son muy voluminosos, su potencial de contaminación es bajo comparado con otro tipo de residuos; pero aún así no están exentos de producir daños al medio ambiente si no se gestionan correctamente, aparte del negativo impacto paisajístico al que dan lugar.

Pese a ser uno de los sectores que más materiales de desecho genera, apenas hay conciencia de la necesidad de aplicar buenas prácticas desde la planificación y diseño hasta la construcción o de una mentalidad de protección del medio ambiente.

Este hecho lleva a situaciones tales como que los RCD, residuos inertes y en principio apenas contaminantes, se mezclen con otros que sí lo son, depositándose en quebradas y vertederos no preparados para este tipo de residuos o incluso produciéndose vertidos incontrolados que generan graves perjuicios al medio ambiente. De ahí deriva la necesidad de aplicar Buenas Prácticas Medioambientales en el ámbito de los RCD, aplicando las tres R básicas del medio ambiente: Reducir, Reutilizar y Reciclar.

Con la aplicación de las buenas prácticas medio ambientales se pretende alcanzar lo siguiente.

1. Prevenir la generación de residuos.
2. Disminuir y gestionar correctamente los residuos generados, para facilitar de esta manera su reciclaje.
3. Reducir los usos de energía y de agua, con el consiguiente ahorro.

4. Minimizar la contaminación acústica, atmosférica, los vertidos y las emisiones.
5. Informar y formar a todos los agentes implicados, y en particular a los trabajadores, lo que contribuirá a una mejor integración de las nuevas pautas adquiridas para la mejora del medio ambiente.
6. Conseguir un modelo de desarrollo sostenible, cumpliendo los objetivos de mejora continua y prevención de la contaminación, a la vez que se protege al medio ambiente y la salud.

#### **2.3.1.3.1. PRINCIPALES PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES**

La mayor parte de los RCD se pueden considerar inertes, generalmente con un poder contaminante relativamente bajo pero, por el contrario, su impacto visual es con frecuencia alto por el gran volumen que ocupan y por el escaso control ambiental que hasta la fecha se ha ejercido sobre los terrenos que se eligen para su depósito. Un segundo impacto ecológico negativo se deriva del despilfarro de materias primas que implica este tipo de gestión en vertedero, que no ha contemplado el reciclaje.

**Así las afecciones al medio ambiente más importantes son:**

- A.* Disminución de área hidráulica en ríos y quebradas.
- B.* Contribuye al deterioro estético y del paisaje en general de las ciudades.
- C.* Favorece al desarrollo de insectos y roedores.
- D.* Pérdida de materiales recuperables como escombros, plásticos y metales.
- E.* Pérdida de propiedades naturales de los suelos.

### **2.3.1.3.2. BUENAS PRÁCTICAS MEDIOAMBIENTALES EN LA CONSTRUCCIÓN**

A continuación se presentan algunas de las Buenas Prácticas Medioambientales que pueden aplicarse en la construcción, para minimizar y gestionar correctamente los residuos, evitar daños al medio ambiente y no derrochar materias primas ni recursos energéticos, lo que redundará también en un ahorro económico y en una mejor competitividad del sector:

- a. Sobre el terreno.*
- b. Compras.*
- c. Almacenamiento de materiales.*
- d. Mantenimiento de maquinaria y equipos.*
- e. Consumo de materias primas.*
- f. Gestión de residuos.*

#### **a. SOBRE EL TERRENO**

1. Vigilar que se ocupe exclusivamente el espacio necesario para las tareas de construcción.
2. No disponer los materiales contaminantes en zonas medioambientalmente sensibles del terreno.
3. Vigilar que no se altere o modifique el medio natural en exceso, para no afectar a su fauna, flora y paisaje.
4. Se puede reducir la erosión de los suelos construyendo barreras.

#### **b. COMPRAS**

1. Optar por los aquellos productos que consumen menos energía y recursos naturales.
2. No comprar productos en grandes cantidades, ya que de esta forma se acaban almacenando materiales caducados u obsoletos, que se convierten en residuos.

3. Comprar materiales en cantidades y recipientes adecuados y reutilizables, o en todo caso reciclable.

**c. ALMACENAMIENTO DE MATERIALES**

1. No almacenar residuos ni realizar las operaciones de carga y descarga al aire libre.
2. Acondiciona zonas para el almacenamiento temporal de residuos, evitando derrames, vertidos y mezclas de residuos peligrosos.
3. Seguir las instrucciones de los proveedores y fabricantes sobre el almacenamiento y manipulación de los materiales.

**d. MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA Y EQUIPOS**

1. Las operaciones de mantenimiento de la maquinaria deben llevarse a cabo en talleres preparados para ello.
2. Impide que se formen sobre la maquinaria depósitos endurecidos ya que luego al limpiarlos deben emplearse grandes cantidades de disolventes y agua, para ello realiza previamente una limpieza en seco.
3. No abusar en el uso de sustancias peligrosas en el mantenimiento y limpieza de maquinaria y equipos para evitar la generación de residuos peligrosos.
4. Los contenedores deben ser vaciados por completo antes de su limpieza, de esta forma será necesaria menos agua y productos para su limpieza.

**e. CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS**

1. Sugerir empleo de materias primas que, tanto en su fabricación, uso y gestión posterior, sean lo menos contaminantes posibles.
2. En la gestión de los materiales, tanto en el almacén como en su uso, evitar daños o roturas que los hagan inservibles.
3. Para evitar el desperdicio de materias primas es conveniente realizar controles de calidad en la producción de los materiales (yeso, cemento,...).

4. Controlar las fechas de caducidad de los productos (disolventes, pinturas,...).
5. Emplear productos químicos biodegradables y no corrosivos.

#### **f. GESTIÓN DE RESIDUOS**

1. Conocer las características de los residuos para una gestión eficaz de los mismos, así se pueden controlar las cantidades en origen, su destino y los costes asociados a su valorización.
2. Separar los residuos y depositarlos en contenedores específicos para cada flujo de residuo.

##### *i. RESIDUOS INERTES (ESCOMBROS).*

- Disponer contenedores específicos para depositar de forma controlada y perfectamente separada los escombros.
- Proponer la reutilización de los materiales de derribos y los escombros.

##### *ii. RESIDUOS NO PELIGROSOS.*

- Realizar una correcta separación en contenedores específicos de los distintos residuos (vidrio, envases, madera, metales y embalajes -papel, cartón y plástico-, etc,...), estos deben mantenerse cubiertos.
- Para minimizar el número de envases y producir menos residuos comprar los productos a granel y en recipientes de gran tamaño.
- Conocer las etiquetas de reciclado y ecológicas de los productos.

##### *iii. RESIDUOS PELIGROSOS.*

- Las zonas donde se almacenan temporalmente los residuos peligrosos deben prepararse para evitar vertidos, derrames y mezclas de residuos peligrosos.
- De la misma manera el suelo de la zona de almacenamiento debe impermeabilizarse para prevenir la contaminación con residuos peligrosos.

### **2.3.1.3.3. ¿QUÉ HACER CON LOS RESIDUOS APROVECHABLES?**

Aparte de separar y depositar cada tipo de residuo convenientemente, debemos saber que los RCD se pueden reciclar, reutilizar y aprovechar para otros usos.

#### **A. TIERRAS**

- Las tierras sobrantes de excavación pueden emplearse para relleno.
- Restauración de espacios degradados y de canteras abandonadas.
- Usarlas en la formación del paisaje artificial de la propia obra (parques y jardines).

#### **B. CONCRETO, BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO.**

- Se puede emplear para sub-bases de carreteras y para rellenar terraplenes.
- Como grava para concreto nuevo.
- Reciclado como árido drenante para rellenos, jardines.

#### **C. ASFALTO**

- Repavimentar carreteras y para rellenado.

#### **D. MADERA**

- Reutilización como elementos arquitectónicos (andamios y vallados).
- Reciclar para tableros de aglomerado.

#### **E. METALES**

- Vendidos como chatarra se destinan (tras diferentes procesos) a muy diversos usos: construcción, industria mecánica, objetos de uso doméstico.

#### **F. PLÁSTICOS**

- Se pueden volver a reutilizar y reciclar, o destinarlos al aprovechamiento energético.

## **2.3.1.4. MATERIALES RECICLADOS EN ESTA INVESTIGACION.**

### **1. CONCRETO**

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: Agregado y pasta. La pasta, compuesta de Cemento Portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el Cemento y el agua.

### **2. MORTERO**

El mortero es una mezcla de materiales cementantes, agregados (arena) y agua cuya función es permitir la sobreposición de las piezas de mampostería, logrando que forme un conjunto que tenga una liga fuerte y duradera.

### **3. BLOQUE DE CONCRETO**

Los bloques de concreto son elementos modulares pre moldeados diseñados para la mampostería confinada y armada. En su fabricación se requiere materiales básicos, como son la grava, arena, cemento y agua.

### **4. LADRILLO DE BARRO COCIDO.**

Se define al componente con forma de paralelepípedo (7x14x28cm, en El Salvador) recto que se fabrica a mano o máquina, compuesto básicamente de arcilla cocida y sirve para construir muros y otros elemento. La materia prima que se utiliza para la elaboración de este material son una gran variedad de arcillas y pizarras; la arcilla debe ser plástica, poseer poca contracción y ser fusible a temperatura relativamente baja.



## 2.3.2. SUELOS

### 2.3.2.1. GENERALIDADES DE LOS SUELOS

- **SUELO**

El término Suelo tiene usos diferentes, y su interpretación varía de acuerdo con sus respectivos intereses. Para el Agrónomo, por ejemplo la palabra se aplica a la parte superficial de la corteza terrestre capaz de sustentar vida vegetal siendo esta interpretación demasiado restringida para el Ingeniero Civil. Para el Geólogo el término suelo es todo material intemperizado en el lugar en que ahora se encuentra y con contenido de materia orgánica cerca de la superficie, esta definición se queda corta para fines ingenieriles.

Otras definiciones de suelo son: Suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre que se encuentra en constante evolución, formada por rocas desintegradas y descompuestas. Es un sistema ordenado, compuesto por partículas solidas, elementos líquidos y gases<sup>7</sup>.

**Según Juárez Badillo "Suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves"<sup>8</sup>**

Para este trabajo, las definiciones que más se asemejan a la orientación de la investigación, son las últimas dos, pero obviamente la definición del Autor Juárez Badillo, es la que más relación tiene a la aplicación de estudios de mecánica de suelos a residuos de construcción y demolición.

---

<sup>7</sup>“PROCEDIMIENTOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS DE TIERRA EMPLEANDO CAL, SUELO CEMENTO Y RESIDUOS ASFALTICO” - Presentado por: Mario Edgardo Mancía Derás Y Jorge William Ortiz Sánchez - Universidad de el Salvador de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Civil.

<sup>8</sup> Lutita Suave es una roca sedimentaria que se forma en los lagos de aguas tranquilas, tiene la particularidad de ser muy suave al tacto y además es impermeable.

## **2.3.2.2. PRINCIPALES TIPOS DE SUELOS**

### **a. Gravas**

Las gravas son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro.

Las gravas ocupan grandes extensiones, pero casi siempre se encuentran con mayor o menor proporciones de piedra cuarta, arenas, limos y arcillas. Sus partículas varían desde 7.62 cm (3'') hasta 2.0 mm.

### **b. Arenas**

Las arenas es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 mm y 0.05 mm de diámetro.

### **c. Limos**

Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0.05 mm y 0.005 mm. Los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas.

### **d. Arcillas**

Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.

Químicamente es un silicato de aluminio hidratado, aunque en pocas ocasiones contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados. Algunas entidades consideran como arcillas a las partículas menores a 0.002 mm.

### **e. Tepetate**

Es un material pulverulento, de color café claro o café oscuro, compuesto de arcilla, limo y arena en proporciones variables, con un cementante que puede ser la misma

arcilla o el carbonato de calcio. Según sea el componente predominante el tepetate se suele llamar arcilloso, limoso, arenoso, arcillo-limoso si es que predomina la arcilla etc.

### **2.3.2.3. PROPIEDADES DE LOS SUELOS**

Las propiedades de los suelos varían con su graduación, su contenido de humedad, su posición vertical con relación a la superficie y su localización geográfica.

Entre las propiedades de los suelos que más interesan están:

#### **1. Variación Volumétrica**

La variación volumétrica se refiere a expansión y contracción debido a los cambios en su contenido de humedad. Las presiones de expansión que se desarrollan debido a incrementos en la humedad deben ser controladas, ya que estas presiones pueden levantar pavimentos, inclinar postes, fracturar muros, romper tubos de drenajes etc. Por estas razones es importantes conocer los suelos expansivos, su composición y el tratamiento adecuado para evitar las contracciones y las expansiones.

#### **2. Resistencia Mecánica**

Es la capacidad de de los suelos para resistir las cargas y mantener su estructura en condiciones estables de trabajo hasta cierta humedad.

#### **3. Permeabilidad**

Se consideran importantes las presiones de poro y lo relacionado con el flujo de agua a través del suelo; ya que estos dos fenómenos provocan su debilidad en su resistencia o su estabilidad.

#### **4. Granulometría**

Son los tamaños de los granos que participan (como porcentaje de peso total) de la composición del suelo que representan. **Las propiedades físicas y mecánicas de los**

**suelos son función directa de su granulometría** y su determinación es fundamental para establecer su comportamiento mecánico principalmente cuando se somete a cargas directas. La granulometría también determina el grado de permeabilidad y algunos índices de trabajo como la plasticidad y la contracción, etc...

## 5. Plasticidad

Es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg, quien por medio de ellos separó los cuatro estados de consistencia de los suelos cohesivos.

### 2.3.2.4. SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

#### 2.3.2.4.1. CLASIFICACIÓN ASTM o SUCS

Este sistema fue propuesto por Arturo Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en el año 1942 para aeropuertos.

Este sistema para identificar un suelo utiliza el nombre del material predominante como sustantivo y el de menor proporción como adjetivo calificativo. Por ejemplo Arena Limosa, indica un suelo en que predomina la arena y contiene cierta cantidad de limo.

El sistema Unificado de clasificación de suelos, utiliza como identificación los siguientes símbolos:

Símbolo	G	S	M	C	O	PT	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos o arcilla Orgánicas	Turba y Suelos Altamente Orgánicos	Alta plasticidad	Baja plasticidad	Bien graduado	Mal graduado

**Tabla 2. 3 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos "SUCS"**

DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLOS DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
<b>SUELOS DE GRANO GRUESO</b>	<b>GRAVAS</b>  Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	<b>Gravas limpias</b> (sin o con pocos finos)	<b>GW</b> Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue:  <5%-> GW, GP, SW, SP.  >12%-> GM, GC, SM, S  5 al 12%-> casos límite que requieren usar doble símbolo. **	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3	
			<b>GP</b> Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$ .	
		<b>Gravas con finos</b> (apreciable cantidad de finos)	<b>GM</b> Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$ .	Encima de línea A con $IP$ entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
			<b>GC</b> Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$ .	
	<b>ARENAS</b>  Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	<b>Arenas limpias</b> (pocos o sin finos)	<b>SW</b> Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		$Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3	
			<b>SP</b> Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.	
		<b>Arenas con finos</b> (apreciable cantidad de finos)	<b>SM</b> Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Límites de Atterberg debajo de la línea A o $IP < 4$ .	Los límites situados en la zona rayada con $IP$ entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.
			<b>SC</b> Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$ .	
<b>SUELOS DE GRANO FINO</b>	<b>Limos y arcillas:</b>  Límite líquido menor de 50	<b>ML</b> Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.	<b>CARTA DE PLASTICIDAD</b> 			
		<b>CL</b> Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.				
		<b>OL</b> Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.				
	<b>Limos y arcillas:</b>  Límite líquido mayor de 50	<b>MH</b> Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.				
		<b>CH</b> Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.				
		<b>OH</b> Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.				
<b>Suelos muy orgánicos</b>		<b>PT</b> Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.				

\*\* Clasificación de frontera - Los suelos que poseen las características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos, por ejemplo GW-GC, mezcla de arena y grava bien graduada con cementante arcilloso.

+ Todos los tamaños de las mallas en esta carta son los U.S. Standard.

### 2.3.2.4.2. CLASIFICACIÓN AASHTO

De acuerdo al tamaño de las partículas que componen los suelos y algunas propiedades físicas y mecánicas, la AASHTO los ha clasificado de la siguiente manera.

Tabla 2. 4 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO											
Clasificación general	Materiales granulares							Materiales limoso arcilloso			
	(35% o menos pasa por el tamiz Nº 200)							(más del 35% pasa el tamiz Nº 200)			
Grupo:	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b									A-7-5
											A-7-6
Porcentaje que pasa: Nº 10 (2mm) Nº 40 (0.425mm) Nº 200 (0.075mm)	50 máx	-	-		-						-
	30 máx	50 máx	51 mín		-						-
	15 máx	25 máx	10 máx		35 máx						36 mín
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40											
Límite líquido	-		-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Excelente a bueno							Pobre a malo			

(1): No plástico  
(2): El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30  
El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

**Ecuación 1 Índice del grupo AASHTO**

$$IG = (F - 35) [0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (IP - 10)$$

**Siendo:**

F: % que pasa el ASTM N° 200.

LL: Límite líquido.

IP: índice de plasticidad.

**Ecuación 2** *Índice de grupo AASHTO para suelos de los subgrupos A-2-6 y A-2-7.*

$$\mathbf{IG = 0.01 (F - 15) (IP - 10)}$$

**EN LA TABLA ANTERIOR:**

**A-1;** son suelos bien graduados de tamaños gruesos y finos, con un débil aglomerante plástico.

**A-1-a;** en estos incluyen materiales predominantes de fracciones de rocas o gravas, con o sin buen aglomerante.

**A-1-b;** el material predominante es arena gruesa, con o sin un buen aglomerante. Algunos suelos del grupo A-1 carecen de finos, de manera que se deberá agregar cierta cantidad de finos para formar un sub-base de buena calidad.

**A-2;** estos se componen por una amplia porción de materiales granulares que no pueden clasificarse en grupo A-1 por su contenido de finos y plásticos.

**A-2-4 y A-2-5;** estos suelos teniendo materiales granulares incluye bastantes limos.

**A-2-4 y A-2-7;** contienen materiales granulares, pero con bastante arcilla.

Los suelos del grupo A-2 son inferiores a los del grupo A-1 debido a su menor graduación y menos aglomerantes. En periodo seco los suelos A-2 son muy estables como superficies de rodamiento, pero estos dependen de la clase de aglomerante, sin embargo en periodos húmedos se pueden ablandar y en periodos secos se pueden disgregar y formar polvaredas.

**A-3;** estos suelos están compuestos de arenas deficientes en aglomerantes, como la arena de las playas. Se encuentran a menudo y son muy inestables excepto cuando están húmedos. Cuando se encuentran confinados son apropiados como bases para cualquier tipo de pavimento.

### **MATERIALES LIMOSOS ARCILLOSOS**

**A-4;** son suelos muy comunes, predominan los limos con ligeros porcentajes de material grueso y pequeñas cantidades de arcilla coloidal firme.

**A-5;** estos suelos se encuentran en muy pocas ocasiones, son muy parecidos a los del grupo A-4, excepto porque contienen mica y diatomas que los vuelven muy elásticos e inestables aun en estado seco, lo que los hace tenaces a la compactación.

**A-6;** es un suelo muy común, predominante de arcilla con poco porcentaje de material grueso en estado plástico; tiene muy buena capacidad de carga cuando se compacta a la máxima densidad posible, pero pierde esa propiedad cuando absorbe humedad; es un suelo comprensible y no debe compactarse a humedades por debajo de la optima.

**A-7;** estos suelos están compuesto principalmente de arcilla como son los del grupo A-6, pero se diferencia de estos por la presencia de partículas uniformes de limo, materia orgánica y mica, lo que los hace muy elásticos.

**A-7-5;** estos suelos del grupo A-7 tienen índices de plasticidad moderados en relación con los límites líquidos, y pueden ser elásticos y expansivos.

**A-7-6;** son suelos expansivos con altos índices de plasticidad en relación a los límites líquidos.



**Tabla 2. 5** Correspondencia Clasificación AASHTO y Clasificación SUCS

Clasificación de suelos según la AASHTO	Grupo SUCS
A-1-a	GW, GP,GM, SW,SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM,GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	MH, CH

*Fuente: Revista del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC) Año 12, No. 44, San Salvador, Marzo 2007.*

### 2.3.2.5. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS <sup>9</sup>

La estabilización de un suelo es el proceso mediante el cual, se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que se puedan aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose una capa de asiento estable y durable, capaz de soportar los efectos de cargas y las condiciones de clima más severas y por ende asegure geotécnicamente el comportamiento.

La estabilización del suelo también es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su índice de plasticidad. Las tres formas de lograrlo son: estabilización física, estabilización química y estabilización mecánica.

---

<sup>9</sup> ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSOS PLÁSTICOS CON MINERALIZADORES EN AMBIENTES SULFATADOS O YESÍFEROS – Proyecto fin de máster en Ingeniería Civil – Universidad Politécnica de Madrid - Madrid 2010

**Las propiedades más importantes que se deben mejorar con la estabilización son:**

1. Resistencia. El incremento de resistencia aumenta la estabilidad y la capacidad de carga.
2. Estabilidad del volumen. Proporciona el control de los procesos de hinchamiento-colapso causados por los cambios de humedad.
3. Durabilidad. Una mayor durabilidad aumenta la resistencia a la erosión, responde de manera más eficaz a los cambios climáticos y al uso del tráfico.
4. Permeabilidad. La reducción de la permeabilidad y por lo tanto de la circulación de agua, mejora la estabilidad.

### **2.3.2.6. TIPOS DE ESTABILIZACIÓN**

#### **A. Estabilización física**

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Hay varios métodos como lo son las mezclas de suelos, geotextiles, vibroflotación (Mecánica de Suelos), consolidación o compactación.

#### **B. Estabilización mecánica**

Es aquella con la que se logra mejorar considerablemente la resistencia de un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia, el método utilizado es la compactación.

#### **C. Estabilización Química**

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas que modifica una propiedad específica de los suelos, dentro este tipo de estabilización, las sustancias químicas más comunes son: la cal y el cemento. *La cal* disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica; *El Cemento Portland* aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.

### **2.3.2.7. ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO**

La estabilización con cemento consiste en mezclar y tratar el suelo con una cantidad específica de cemento portland ordinario y agua. La mezcla es compactada con la humedad óptima, en condiciones de peso seco y finalmente curada.

Cualquier suelo que no tenga cantidades excesivas de materia orgánica puede ser estabilizado con cemento para mejorar su resistencia mecánica; una limitación puede ser el lograr un mezclado adecuado del cemento, lo que resulta difícil de obtener en arcillas suaves y húmedas o si los suelos son muy gruesos.

Al mezclar suelos y cemento, con la apropiada cantidad de agua, se producen reacciones del cemento con los componentes silicosos de los suelos, que producen aglomerantes que ligan las partículas. Cuando el suelo contiene materia orgánica, la reacción suelos cemento es nula, ya que los ácidos orgánicos poseen gran atracción por los iones de calcio que libera la reacción original del cemento y los captan, dificultando la acción aglutinante del cemento en los suelo gruesos, y dificultan la unión de las partículas laminares de las arcillas. Por esto las especificaciones y normas de la ASTM exigen que el contenido de materia orgánica en un suelo, no sobrepase del 3% en peso. También, para obtener los resultados deseados, la presencia de sulfatos de calcio, sulfatos de magnesio u otras sustancias ávidas de agua es nociva, debido a que dichas sustancias privan a los aglomerantes, de la humedad necesaria para su función.

Prácticamente todos los tipos de cementos son útiles para estabilizar suelos, y normalmente se emplean los de fraguado y resistencia normal.

*El proporcionamiento de las mezcla de suelo-cemento viene a ser el requisito fundamental en la estabilización, ya que el cemento es el componente de mayor costo, y fijar su proporción determina la factibilidad técnica de la estabilización; las propiedades que se logren en la mezcla dependen esencialmente de la cantidad de cemento que se emplee.*

### **2.3.3. SUELO-CEMENTO**

#### **2.3.3.1. GENERALIDADES DEL SUELO-CEMENTO**

##### **1. DEFINICIÓN DE SUELO-CEMENTO.**

Según ACI 230.1R (American Concrete Institute) el suelo-cemento se define como una mezcla de suelo y una cantidad medida de cemento Pórtland y agua, compactada a una alta densidad. Así mismo, el suelo-cemento puede ser definido como un material producido por el mezclado, compactación y curado de suelo/agregados, cemento Pórtland, ocasionalmente aditivos y/o puzolanas y agua, para formar un material endurecido con específicas propiedades ingenieriles.

Según la PCA el suelo-cemento es una mezcla altamente compactada de suelo/agregado, cemento Portland, y agua, siendo el principal uso de este material en estructuras de pavimentos, en este campo el suelo cemento corresponde a una "familia" de productos con características propias, que actualmente se dividen en Suelos Modificados con Cemento, Bases tratadas con Cemento y Pavimentos Flexibles reciclados con Cemento.

##### **2. CLASIFICACIÓN SEGÚN CONSISTENCIA<sup>10</sup>**

Atendiendo a las condiciones físicas, el suelo-cemento en su estado fresco. Puede clasificarse en suelo-cemento rígido, suelo cemento semifluido y suelo cemento fluido.

###### ***i.* SUELO-CEMENTO RÍGIDO**

El suelo-cemento rígido también llamado “suelo cemento tradicional”, es una mezcla semiseca, ya que solo requiere de una cantidad de agua necesaria para mantener

---

<sup>10</sup> "ESTUDIO DE SUELO CEMENTO SEMI FLUIDO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE RETENCIÓN" - Trabajo de graduación presentado por: José Javier Cardoza López, Sergio Alonso Castillo Fabián, Rodolfo Antonio Guadron Figueroa - Universidad de El Salvador - 1995

la compactación mediante equipos convencionales utilizados en la compactación de suelos, tales como rodillo liso, rodillo pata de cabra, bailarinas, etc.

*ii.*     **SUELO-CEMENTO SEMIFLUIDO.**

El suelo-cemento semifluido, tal como el suelo rígido, es una mezcla homogénea compuesta por suelo y cemento, difiriendo del anterior por contener una cantidad de agua mayor, hasta formar una mezcla cuya trabajabilidad sea tal, que con el efecto de vibrado facilite el reacomodo de esta mezcla. Por efecto de la vibración se logra pasar de una mezcla con consistencia semifluida a una fluida mientras dure la vibración.

*iii.*     **SUELO-CEMENTO FLUIDO**

El suelo-cemento fluido es una mezcla cuya trabajabilidad se obtiene mediante el incremento del agua hasta el punto de que no se requiere de mayor acción externa para acomodarse en el lugar donde se necesite, y tomar la forma requerida hasta endurecer y alcanzar la resistencia deseada.

## **COMPOSICIÓN DEL SUELO-CEMENTO**

### **a. SUELO**

Si bien el suelo como material de construcción se encuentra disponible en cualquier lugar del mundo, no todos son adecuados para su directa utilización, por lo que frecuentemente resulta necesario modificar las proporciones naturales de sus componentes para obtener un comportamiento más apropiado en función del sistema constructivo y de la técnica de ejecución a utilizarse.

### **b. CEMENTO**

La incorporación de cemento, modifica las propiedades del suelo por reacción fisicoquímica entre sus partículas y el producto estabilizante (cemento), creando un esqueleto inerte o formando ligamentos químicos estables. Incorpora en la estructura granular de la tierra una matriz tridimensional que produce una consolidación por cementación, impidiéndole posteriores movimientos.

### **c. AGUA**

Por sus efectos sobre el suelo-cemento, la calidad del agua interesa bajo aspectos diferentes:

- i.* Como agua de mezclado al elaborar el suelo cemento fresco.
- ii.* Como agua de contacto con el suelo cemento endurecido, ya sea como agua de curado o como elemento que forma parte del medio que lo rodea.

Como agua de mezclado, sus impurezas pueden tener efectos principales sobre el tiempo de fraguado y resistencia del suelo-cemento.

Al ser aplicada como agua de curado, sus posibles efectos son más bien de apariencias por contener sales que manchen o produzcan eflorescencia sobre la superficie del suelo cemento.

Finalmente como agua que forma parte del medio que rodea al suelo-cemento; cuando contiene sustancias agresivas, sus efectos son más decisivos, pudiendo llegar a extremos en que se produzca la destrucción del suelo-cemento si no se toman las precauciones debidas.

Con frecuencia se menciona que el agua que es buena para ser bebida (agua potable), es útil para elaborar el suelo-cemento; pero esto no significa que siempre es válido. Algunas aguas con pequeñas cantidades de azúcar o cierto sabor pueden ingerirse pero no sirven para el suelo-cemento, y de la misma forma hay aguas que sin ser potable pueden ser utilizadas para mezclar con suelo-cemento, según la cantidad y calidad de las impurezas que contengan.

La resistencia mecánica del suelo cemento además de depender de la granulometría del material, de la dosificación de la mezcla, de la compactación y del curado, también depende de la cantidad de agua utilizada en la mezcla.

#### **d. MATERIAL-SELECTO**

Son materiales térreos que se emplean para la construcción de estructuras base en cimentaciones, deben satisfacer los requisitos de calidad que garanticen un adecuado comportamiento en la estructura; deben estar libres de residuos orgánicos, suelo vegetal, arcillas u otro material perjudicial.

Estos materiales están sujetos a tratamientos, para llegar a cumplir con las especificaciones adecuadas, siendo los más usuales: la eliminación de desperdicios, el disgregado, el cribado, la trituración y en algunas ocasiones el lavado.

#### **Entre las características que deben cumplir están las siguientes:**

- Ser resistente a los cambios de humedad y temperatura.
- No presentar cambios de volumen que sean perjudiciales.
- Además granulometría, límite líquido, CBR y peso seco máximo según ensayo proctor que estén dentro del rango de las especificaciones exigidas por cada proyecto particular.

Estos materiales son utilizados por si solos y también son estabilizados con mezclas de suelo-cemento, suelo cal, etc...

#### **e. COMPACTACIÓN**

Es un método de estabilización mecánica mediante el cual se incrementa la densidad del suelo, reduciendo la porosidad y la permeabilidad; aumentando la compacidad, la resistencia mecánica y la durabilidad del producto resultante.

Propiedades que se obtienen:

- Resistencia a la compresión simple
- Rigidez
- Resistencia al desgaste

### **2.3.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO-CEMENTO<sup>11</sup>**

#### **1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.**

La resistencia a compresión simple en las mezclas de suelo-cemento es un indicador del grado de reacción del suelo con el cemento y el agua. La resistencia a compresión simple aumenta progresivamente con el tiempo. Los valores obtenidos dependen de muchos factores, entre los que pueden destacarse: el contenido y tipo de cemento; la energía de compactación aplicada; la eficiencia lograda en el mezclado; el tipo y cantidad de materia orgánica, sales y materiales deletéreos existentes en el suelo; la cantidad y calidad del agua; el tiempo transcurrido después de realizado el mezclado y compactación; la duración y forma de hacer el curado; las características y eficacia de los aditivos o adiciones utilizadas y el tamaño y forma del espécimen de ensayo.

Es importante mencionar que la resistencia a compresión simple aumenta apreciablemente con el tiempo. La resistencia a compresión simple aumenta considerablemente en los primeros 90 días, de una a tres veces más que a los 7 días, según el tipo de suelo, tipo y contenido de cemento, mientras que a edades posteriores se ha observado en general un crecimiento mucho más lento.

#### **2. RESISTENCIA AL DESGASTE**

Esta propiedad no es evaluada en el suelo-cemento cuando se utiliza en estructuras de pavimentos, ya que tal como lo ha demostrado la experiencia y diversas investigaciones, es un material excelente para soportar esfuerzos perpendiculares a la superficie, pero muy deficiente para resistir las fuerzas abrasivas del tránsito circulando directamente sobre él.

En este tipo de aplicaciones se recurre a proteger las capas de suelo-cemento colocando sobre ella una capa de rodadura de concreto hidráulico, concreto asfáltico, o tratamientos superficiales asfálticos.

---

<sup>11</sup> Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC) - Investigación de Suelo-Cemento, Oct. 2008



Se ha observado una mejora en la resistencia al desgaste cuando se incrementa el contenido de cemento y se utilizan suelos granulares no plásticos.

El suelo- cemento presenta una mayor resistencia al desgaste provocado por la acción erosiva de las lluvias, que por la acción erosiva del tráfico vehicular. Los pavimentos unicapa de alto desempeño presentan una mejor resistencia al desgaste que el suelo-cemento ordinario. Es importante mencionar que un material resistente al desgaste bajo una capa de rodadura de concreto hidráulico ayuda a reducir problemas de bombeo de finos y escalonamiento.

#### **2.3.4. SUELOS APTOS PARA MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO <sup>12</sup>**

Prácticamente todos los suelos pueden ser empleados para producir suelo-cemento con la lógica excepción de la capa vegetal, sin embargo, cuando se requiere ejecutar una mezcla con calidad y consumo mínimo de cemento, el número de suelos aptos se reduce. Se consideran suelos aptos para mezclas de suelo-cemento aquellos cuyos consumos de cemento en peso se encuentren entre 5 y 12% con respecto al peso del suelo. Además, que la trabajabilidad sea tal que permita la producción de los elementos a fabricar.

Con los suelos aptos el suelo-cemento debe ser estable en la contracción, tener una absorción de agua adecuada y alcanzar las resistencias necesarias en el menor tiempo.

Generalmente los suelos aptos son aquellos que tienen tales proporciones de suelos gruesos y finos que producen una granulometría abierta, sin predominio excesivo de un determinado tamaño. De igual forma su plasticidad debe ser tal que aporte una

---

<sup>12</sup> **EL SUELO-CEMENTO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN - Instituto Tecnológico de Santo Domingo República Dominicana, Vol. XXXIII, Núm. 4, Año: 2008**

determinada cohesión a la mezcla, lo que mejora la laborabilidad y aumenta el aislamiento térmico sin que se produzcan agrietamientos por contracción.

El rango granulométrico del suelo en % pasado expresado en la *Tabla 1.3* garantiza las buenas propiedades del suelo-cemento.

En sentido muy general, para la mezcla de suelo-cemento, se definen los suelos en dos tipos: suelos eficientes y suelos deficientes.

#### **A. Suelos eficientes**

Estos son los que naturalmente reaccionan perfectamente ante una proporción relativamente pequeña de cemento y entre estos podemos citar:

- Suelos arenosos y suelos con grava
- Suelos arenosos con deficiencia de partículas finas
- Suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad

Suelos arenosos y suelos con grava: Estos suelos con aproximadamente entre un 10% y un 35% de limo y arcilla combinados, tienen las características más favorables y generalmente requieren la mínima cantidad de cemento para un endurecimiento adecuado.

Suelos arenosos con deficiencia de partículas finas: tales como arenas de playas permiten obtener un buen suelo cemento a pesar de que la cantidad de cemento necesario será mayor que para los arenosos normales.

Suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad: permiten preparar un suelo cemento satisfactorio, pero mientras más arcilloso, mayor será el porcentaje de cemento que necesitará nuestra mezcla.

#### **B. Suelos deficientes:**

Estos son los que naturalmente no reaccionan bien ante una proporción relativamente pequeña de cemento, es decir, necesitan mucho cemento para poder endurecer y entre estos podemos citar:

- i.* Suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad
- ii.* Suelos orgánicos

### **C. Suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad:**

Estos necesitan mayor cantidad de cemento debido a su alta plasticidad y poca resistencia. Suelos orgánicos: son suelos con mucha materia orgánica lo que dificulta mucho el proceso además de que necesitan mucho cemento para poder endurecer no son muy recomendables, es decir, sería mejor no hacerlo con este tipo de suelo.

### **2.3.3.4. CEMENTO**

Se denomina cemento a un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinada y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecer al contacto con el agua.

El cemento portland se considera base y origen de todos los demás tipos de cementos. Sus componentes se derivan de la acción mutua de los elementos primarios crudos, que entran en procesos de fabricación cuando se tratan en altos hornos (generalmente rotatorios) a una temperatura a los 1450 °C para obtener el Clinker.

El Clinker es el producto obtenido por la reacción de los Óxidos de Silicio, Calcio, Aluminio y Hierro, que ocurren dentro del Horno, para lograr transformarlos en Silicatos de Calcio y Aluminato de Calcio.

Se fabrican diferentes tipos de cemento para determinar propiedades físicas y químicas para casos especiales. La norma A.S.T.M. C-150 describe ocho tipos de cemento portland.

**TIPO I:** para uso general en las construcciones que no especifiquen propiedades especiales.

**TIPO II:** Resistente moderado al ataque de los sulfatos.

**TIPO III:** Obtiene una alta resistencia a temprana edad.

**TIPO IV:** Es un cemento de bajo calor de hidratación y se debe usar donde el grado y la cantidad de calor generado debe reducirse al mínimo.

Los tipos IA, IIA y IIIA, corresponden en composición a los tipos I, II y III respectivamente; contienen cantidades de inclusores de aire mezclados con la escoria durante su manufactura.

#### **2.3.3.4.1. PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND**

##### **I. Firmeza**

Es la cualidad que una pasta de cemento endurecida tiene al conservar su volumen después de haber fraguado, las cantidades excesivas de magnesio o cal libre muy quemada, producen una falta de firmeza o dilatación destructiva diferida en el cemento.

##### **II. Calor de Hidratación**

Producto de la reacción del agua con el cemento se produce el calor de hidratación, algunos de sus componentes se desintegran, otros compuestos de hidratación que se combinan con agua desprendiendo calor al reaccionar. La cantidad de calor generado depende de la composición química del cemento.

##### **III. Gravedad Específica**

Esta es de aproximadamente 3.15 y se emplea principalmente en el diseño de mezclas para hacer concreto fresco.

**CAPÍTULO III:**  
**"DETERMINACIÓN DE LAS**  
**PROPIEDADES DE LOS**  
**MATERIALES"**

### 3.1. GENERALIDADES

Las propiedades físicas y mecánicas de los materiales reciclados triturados y material-selecto que se utilizaron para el diseño de las mezclas de suelo-cemento, se determinaron por pruebas de laboratorio normalizadas, de acuerdo a las normas ASTM y AASHTO.

Estas pruebas son: **densidad de masa y vacíos en agregado, gravedad específica y absorción de granos de grava, límites de Atterberg, granulometría de suelos, proctor modificado y CBR.**

Para la obtención de muestras representativas y evitar la segregación debido a que las partículas gruesas resbalan fuera de la base del acopio, se aplicó la técnica conocida como Muestreo, el cual es un proceso que involucra la selección de pequeñas cantidades representativas de un material dado, con el fin de someterlo a pruebas o ensayos de laboratorio orientadas al conocimiento de algunas características de los mismos. Esta técnica fue aplicada bajo la norma **ASTM D-75-03: Práctica estándar para el muestreo de agregados.**

Para el caso de los materiales triturados acopiados en su totalidad en el laboratorio de la UES-FMO, se aplicó el método de muestreo descrito por la norma para el agregado fino ya que se observó es la porción predominante.

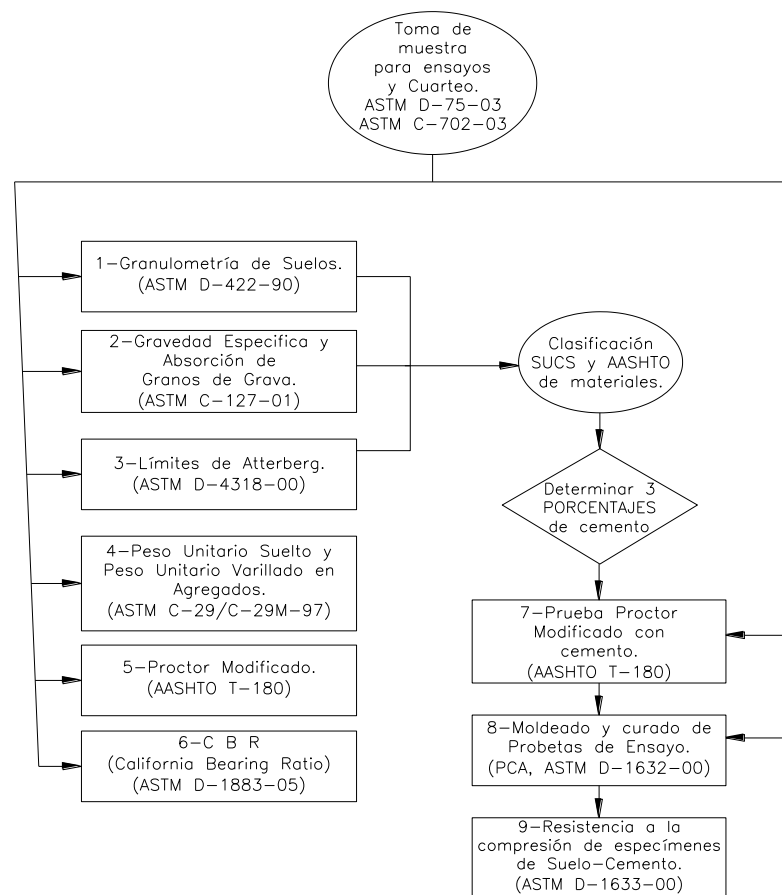
La muestra de material-selecto, se obtuvo por medio de palas, introducida en diversos niveles y posiciones de la pila de acopio en la cantera, se tomaron muestras en la cima, en el medio y en el fondo.

Para la reducción de las muestras a tamaño de ensayos de laboratorio se aplicó la norma, **ASTM C-702-03: Práctica estándar para la reducción de muestras de agregados a un tamaño de prueba.**

De esta norma se aplicó el método *cuarteo*, utilizado cuando las partículas del agregado están desprovistas de humedad superficial o cuando se tienen muestras de grueso y fino.

A continuación se presenta el diagrama para la secuencia de pruebas de laboratorios para diseñar mezclas de suelo-cemento, este proceso tienen como fin determinar la cantidad óptima de cemento que un suelo requiere para alcanzar una resistencia específica:

**Figura 3. 1** Diagrama secuencia de pruebas para el diseño de mezclas de suelo-cemento



Fuente: Elaboración propia

La columna de la izquierda en el diagrama presenta las pruebas necesarias para determinar las propiedades índice y mecánicas de los suelos, para diseñar mezclas de suelo-cemento, las propiedades se determinan hasta paso 3, con estos datos se realiza la clasificación de los materiales y se encuentran los porcentajes de cemento necesarios para calcular el porcentaje óptimo.

Este por ser un trabajo de investigación, también tiene como objetivo conocer las propiedades mecánicas e índice los materiales reciclados, por ello a estos se les realizó las pruebas 4, 5 y 6 mostradas en el diagrama.



## 3.2. GRANULOMETRÍA DE SUELOS

### ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE SUELOS (ASTM D-422-90)

Por granulometría o análisis granulométrico de un material, se entiende como el procedimiento manual o mecánico por medio del cual, se pueden separar las partículas que constituyen el material según sus tamaños; de tal manera que se pueda conocer las cantidades en peso de cada tamaño que al sumarlas dan el peso total de la muestra.

Para separar los tamaños se utilizan mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo del material en cada una de ellas. Los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al peso total de la muestra. Estos porcentajes se calculan tanto parciales como acumulados en cada malla, con los porcentajes acumulados que pasan las mallas se traza la gráfica de valores del material.

Existen gráficas que especifican los límites para diversos materiales y utilidades, así para que un material sea aceptable debe encontrarse dentro de la zona limitada por estas gráficas. Para el diseño de mezclas de suelos-cementos de esta investigación se utilizará los límites establecidos en la **Tabla 1.3**

**Tabla 3. 1** *Requerimientos de graduación para granulometría de suelos en el diseño de mezclas de suelo-cemento, límite superior y límites inferior.*

Tipo de material	Tamaño de tamiz	Tamaño de tamiz (mm)	Porcentaje que pasa	Límite Inferior	Límite Superior
Base	1 1/2"	37.5	70-100	70.00%	100.00%
	1"	25	45-100	45.00%	100.00%
	1/2"	12.70	30-90	30.00%	90.00%
	No. 4	4.76	20-70	20.00%	70.00%
	No. 10	2.00	15-60	15.00%	60.00%
	No. 40	0.43	5 -- 20	5.00%	20.00%
	No. 200	0.075	0-20	0.00%	20.00%

*Fuente: Revista del Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC)  
Año 12, No. 44, San Salvador, Marzo 2007.*

✓ **MATERIALES Y EQUIPO**

- Juego de Tamices
  - o **Gravas:** 1", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4,
  - o **Arenas:** No. 4, No. 10, No. 30, No.40 y No. 200, con tapa y fondo.
- Vibrador Eléctrico / Rop -Tap
- Balanza de 0.1 gr. de precisión.
- Brocha pequeña
- Taras
- Horno

✓ **PROCEDIMIENTO**

- 1) Determinación de la cantidad de material a ensayar.

**Tabla 3. 2** *Material necesario para realizar la prueba de granulometría*

<b>TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULAS (PULGADAS)</b>	<b>PESO SECO MÍNIMO A ENSAYAR (GRAMOS)</b>
3 ½	35,000
3	30,000
2 ½	25,000
2	20,000
1 ½	15,000
1	10,000
¾	5,000
½	2,500
3/8	1,000

*Fuente: ASTM D-422-90*

- 2) Se procede a secar el material, a temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Durante un periodo de 24  $\pm$  4 horas.
- 3) Se procede a elegir los tamices que forman parte de nuestros límites granulométricos, y se los coloca de mayor a menor.

- 4) Se coloca el material en la tamizadora mecánica, un tiempo de 10 minutos respectivamente.
- 5) Se colocan los tamices para efectuar el tamizado del material retenido en la N°4. Determinar el peso del material retenido en c/u de las mallas y anotar estos valores.
- 6) Luego para el material que pasa la malla N°4 cuartear esta fracción hasta obtener la cantidad necesaria a analizar (500 ó 1000 gr). Tomar la muestra ya cuarteada y pesarla, este será el peso de la muestra.
- 7) Lavar el suelo en la malla N° 200, dejando perder el material que pasa.
- 8) El suelo retenido se coloca en una charola previamente pesada colocándose posteriormente al horno durante un periodo de 24± horas, pasado esto se sacara el material y se pesara y anotara este peso como peso retenido parcial seco.
- 9) Calcular el peso de material perdido en el lavado a si: **Material que pasa la malla No. 200 = peso total seco - Peso retenido parcial seco.**
- 10) Tamizar el material retenido parcial seco. Las mallas se ensamblan en orden descendente es decir desde la mayor abertura hasta la de menor tamaño; recordando colocar el fondo, para que el material que pasa la última malla se retenga en esta.
- 11) Determinar el peso del material retenido en c/u de las mallas y anotar estos valores.
- 12) Se procede a tomar los pesos parciales retenidos en los tamices. Se realiza la suma total para verificar que porcentaje se perdió durante el proceso, con respecto al peso inicial. Para pérdidas superiores al 5% será necesario repetir todo el proceso.
- 13) Se procede a realizar los cálculos de los retenidos y pasantes acumulados, para determinar el coeficiente de uniformidad, coeficiente de concavidad, coeficiente de finura y la curva granulométrica respectivamente.

## FOTOGRAFÍAS DEL PROCEDIMIENTO

**Fotografía 3. 1** *Procedimiento de las pruebas de granulometría*



*Cuarteo de los materiales*



*Secado de los Materiales*



*Pesaje de los Materiales*



*Tamizado de los materiales en Rop -Tap*



*Materiales tamaño mayor a malla No.4*



*Cuarteo de material que pasa malla No. 4, para posterior lavado.*



*Lavado por la malla No. 200*



*Tamizado de Material que pasa la malla No. 4 despues de lavado por la No. 200*

✓ RESULTADOS

**GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL-SELECTO**

**A) TAMIZADO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN LA MALLA NO. 4**

$W_0 = 9,494.70$  gr

**Resultados de Tamizado (Retenidos)**

1 " =	420.7	gr
3/4 " =	628.9	gr
1/2 " =	815.5	gr
3/8 " =	571	gr
No.4 =	1171.2	gr
<b>Material que pasa la malla No.4</b>	<b>5,884.40</b>	<b>gr</b>
<b><math>W_{f\text{ total}}</math></b> =	<b>9491.7</b>	<b>gr</b>

**Error por Perdidas**

<b>Error = <math>(W_0 - W_f)/W_f</math></b>
<b><math>(W_0 - W_f)</math> = 3.00 gr</b>
<b>Error = 0.03% &lt; 0.5% OK</b>

**B) TAMIZADO DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA NO.4**

(Después de lavado Por No. 200)

$W_0 = 577.4$  gr

**Resultados de Tamizado (Retenidos)**

<b>No. 4 =</b>	<b>2.9</b>	<b>gr</b>
<b>No. 10 =</b>	<b>177.9</b>	<b>gr</b>
<b>No. 30 =</b>	<b>216.9</b>	<b>gr</b>
<b>No. 40 =</b>	<b>45.9</b>	<b>gr</b>
<b>No. 200 =</b>	<b>132.8</b>	<b>gr</b>
<b>Fondo =</b>	<b>0.8</b>	<b>gr</b>
<b><math>W_{f\text{ total}}</math> =</b>	<b>577.2</b>	<b>gr</b>

**Error por Perdidas**

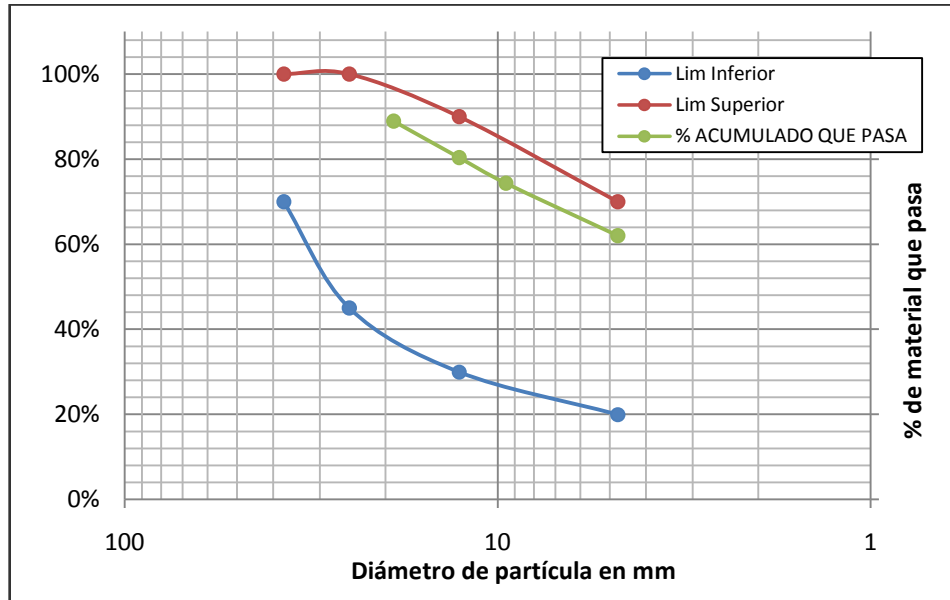
<b>Error = <math>(W_0 - W_f)/W_f</math></b>
<b><math>(W_0 - W_f)</math> = 0.20 gr</b>
<b>Error = 0.03% &lt; 0.5% OK</b>

<b>Contenido de humedad (w %) fracción que pasa la malla No. 4</b>	<b>Material que pasa la malla No. 200</b>
$W_{\text{ tara No.6}} = 71.9$ gr	$W_{\text{ muestra húmeda}} = 743.3$ gr
$W_{\text{ tara No.6 + Mat-Sel}} = 436.1$ gr	$W_{\text{ retenido parcialmente seco}} = 577.4$ gr
$W_{\text{ tara No.6 + Mat-Sel seco}} = 423.7$ gr	<i>Material que pasa la malla No. 200 = Peso total seco</i>
(w %) = 3.52%	<i>- Peso retenido parcial seco</i>
	<b>Material que pasa la malla No. 200 = 140.59 gr</b>

**Tabla 3. 3** Tamizado del material-selecto que se retiene en la malla No. 4

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
1"	25	420.7	4.43%	4.43%	95.57%
3/4 "	19.05	628.9	6.62%	11.05%	88.95%
1/2 "	12.70	815.5	8.59%	19.64%	80.36%
3/8 "	9.52	571	6.01%	25.66%	74.34%
No.4	4.76	1,171.20 + 3	12.37%	38.02%	61.98%

**Figura 3. 2** Curva granulométrica de material-selecto que se retiene en la malla No. 4



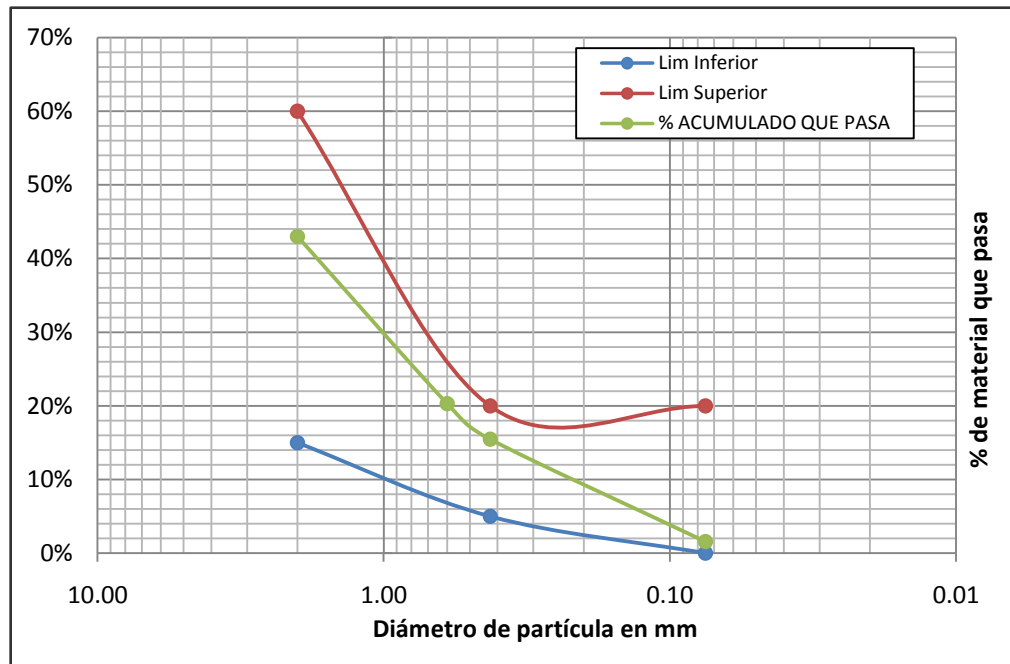
**Tabla 3. 4** Cantidad de arena y grava del material-selecto

Material	Cantidad (gr)	Porcentaje (%)
Arena	5,855.55	61.67%
Grava	3,639.15	38.33%
<b>Total</b>	<b>9,494.70</b>	<b>100.00%</b>

**Tabla 3. 5 Tamizado del material-selecto que pasa la malla No. 4**

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
No. 4	4.76	2.9	0.50%	0.50%	99.50%
No. 10	2.00	177.90 + 0.20	30.85%	30.85%	68.65%
No. 30	0.60	216.9	37.56%	68.91%	31.09%
No. 40	0.43	45.9	7.95%	76.86%	23.14%
No. 200	0.075	132.8	23.00%	99.86%	0.14%
Fondo	-	0.8	0.14%	100.00%	0.00%
<b>Total</b>		<b>577.4</b>	<b>100.00%</b>		

**Figura 3. 3 Curva granulométrica de material-selecto que pasa la malla No. 4**

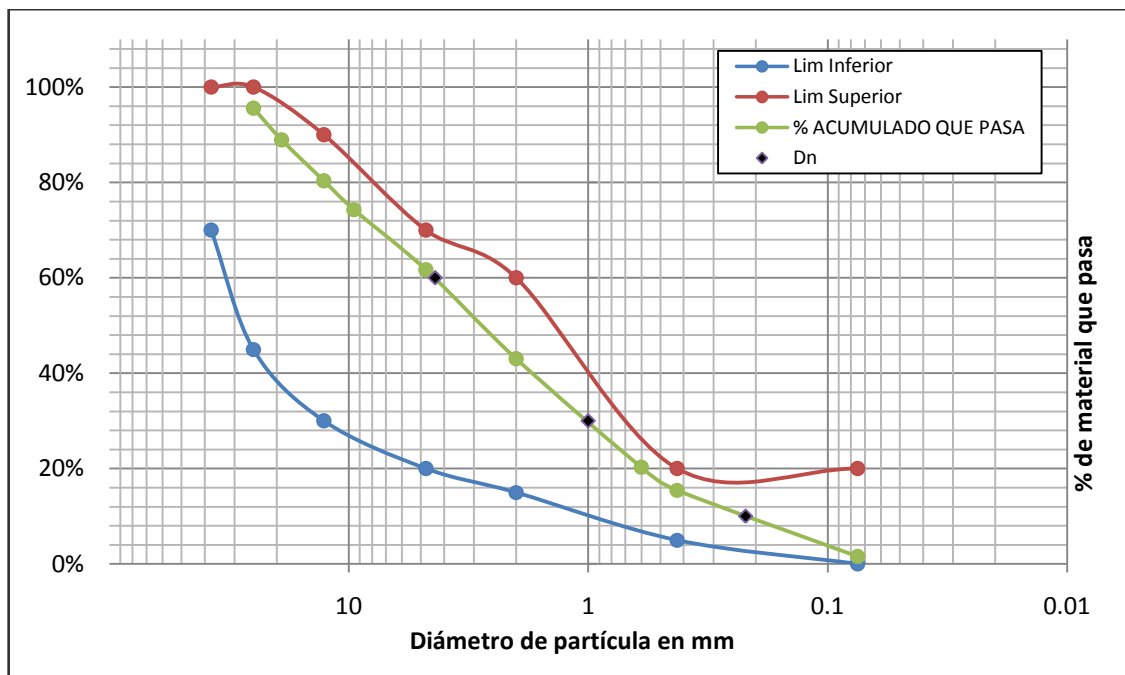




**Tabla 3. 6 Granulometría del Material-Selecto**

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
1 "	25.0	420.7	4.43%	4.43%	95.57%
3/4 "	19.05	628.9	6.63%	11.06%	88.94%
1/2 "	12.70	815.5	8.59%	19.65%	80.35%
3/8 "	9.52	571	6.02%	25.67%	74.33%
No. 4	4.76	1200.05	12.64%	38.31%	61.69%
No. 10	2.00	1,771.69	18.67%	31.31%	43.03%
No. 30	0.60	2,157.66	22.73%	79.71%	20.29%
No. 40	0.43	456.60	4.81%	84.52%	15.48%
No. 200	0.075	1,321.06	13.92%	98.43%	1.57%
Fondo	-	148.55	1.57%	100.00%	0.00%
<b>Total</b>		<b>9491.70</b>	<b>gr</b>		

**Figura 3. 4 Curva granulométrica de material-selecto**



## GRANULOMETRÍA DEL CONCRETO TRITURADO

### C) TAMIZADO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN LA MALLA NO. 4

$W_o = 5,396.60$  gr

#### Resultados de Tamizado (Retenidos)

1/2 " =	688.3	gr
3/8 " =	860.3	gr
No.4 =	1457.2	gr
<b>Material que pasa la malla No.4</b>		
	2,389.50	gr
<b><math>W_f</math> total =</b>	<b>5395.3</b>	<b>gr</b>

#### Error por Perdidas

<b>Error = <math>(W_o - W_f)/W_f</math></b>
<b><math>(W_o - W_f) = 1.30</math> gr</b>
<b>Error = 0.02% &lt; 0.5% OK</b>

### D) TAMIZADO DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA NO.4

(Después de lavado Por No. 200)

$W_o = 548.9$  gr

#### Resultados de Tamizado (Retenidos)

No. 4 =	8.9	gr
No. 10 =	231.4	gr
No. 30 =	191.0	gr
No. 40 =	33.4	gr
No. 200 =	83.1	gr
Fondo =	0.5	gr
<b><math>W_f</math> total =</b>	<b>548.9</b>	<b>gr</b>

#### Error por Perdidas

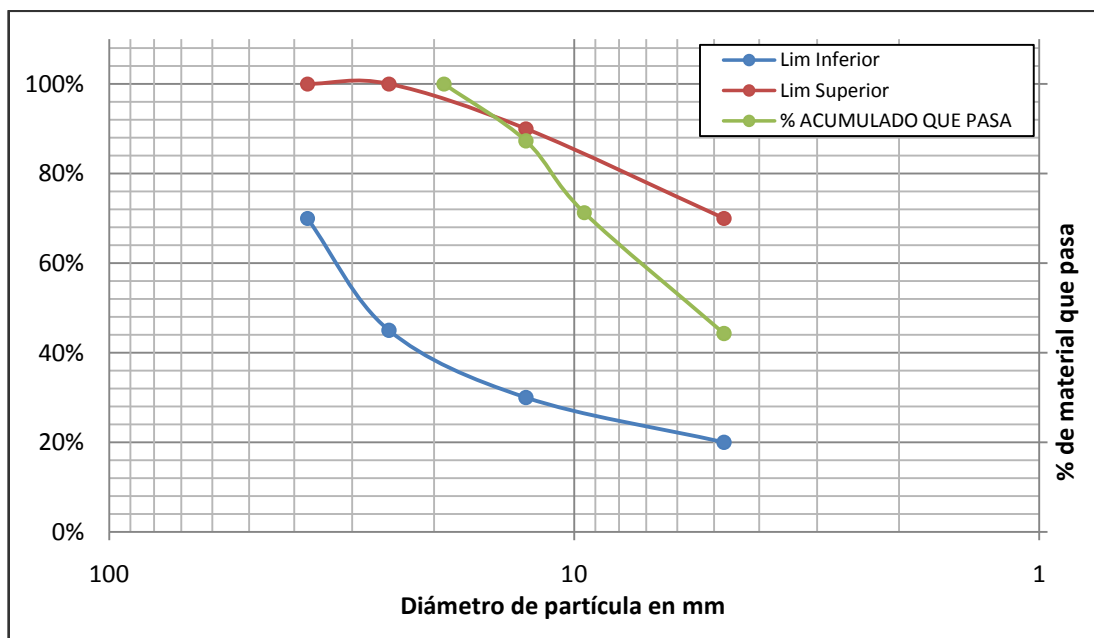
<b>Error = <math>(W_o - W_f)/W_f</math></b>
<b><math>(W_o - W_f) = 0.60</math> gr</b>
<b>Error = 0.11% &lt; 0.5% OK</b>

Contenido de humedad (w %) fracción que pasa la malla No. 4	Material que pasa la malla No. 200
$W_{\text{tara No.6}} = 78.2$ gr	$W_{\text{muestra húmeda}} = 586.5$ gr
$W_{\text{tara No.6 + concreto}} = 531$ gr	$W_{\text{retenido parcialmente seco}} = 548.9$ gr
$W_{\text{tara No.6 + concreto seco}} = 509.7$ gr	<i>Material que pasa la malla No. 200 = Peso total seco - Peso retenido parcial seco</i>
$(w \%) = 4.94\%$	<b>Material que pasa la malla No. 200 = 10.01 gr</b>

**Tabla 3. 7 Tamizado del concreto triturado que se retiene en la malla No. 4**

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
3/4 "	19.05	0	0	0	100.00%
1/2 "	12.70	688.3	12.75%	12.75%	87.25%
3/8 "	9.52	860.3	15.94%	28.70%	71.30%
No.4	4.76	1,457.2 + 1.3	27.03%	55.72%	44.28%

**Figura 3. 5 Curva granulométrica del concreto triturado que se retiene en la malla No. 4**



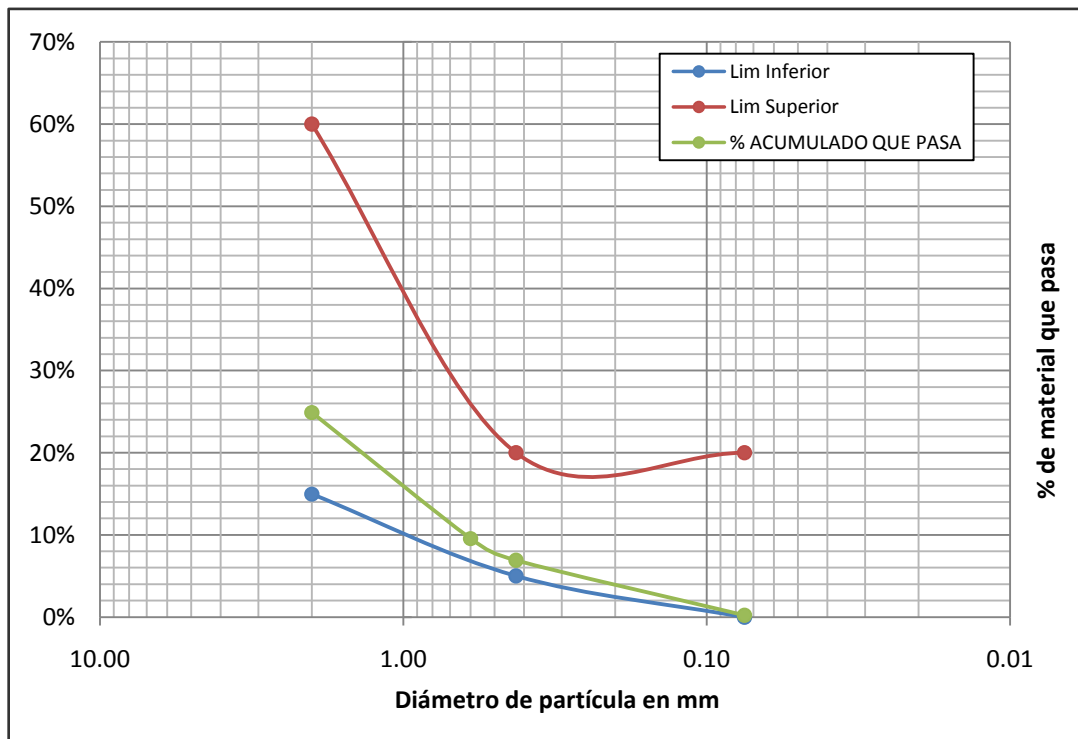
**Tabla 3. Cantidad de arena y grava del concreto triturado**

Material	Cantidad (gr)	Porcentaje (%)
Arena	2,350.92	43.56%
Grava	3,045.68	56.44%
<b>Total</b>	<b>5,396.60</b>	<b>100.00%</b>

**Tabla 3. 8** Tamizado del concreto triturado que pasa la malla No. 4

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
No. 4	4.76	8.9	1.62%	1.62%	98.38%
No. 10	2.00	231.4 + 0.6	42.27%	42.27%	56.11%
No. 30	0.60	191	34.80%	78.68%	21.32%
No. 40	0.43	33.4	6.08%	84.77%	15.23%
No. 200	0.075	83.1	15.14%	99.91%	0.09%
Fondo	-	0.5	0.09%	100.00%	0.00%
<b>Total</b>		548.9	100.00%		

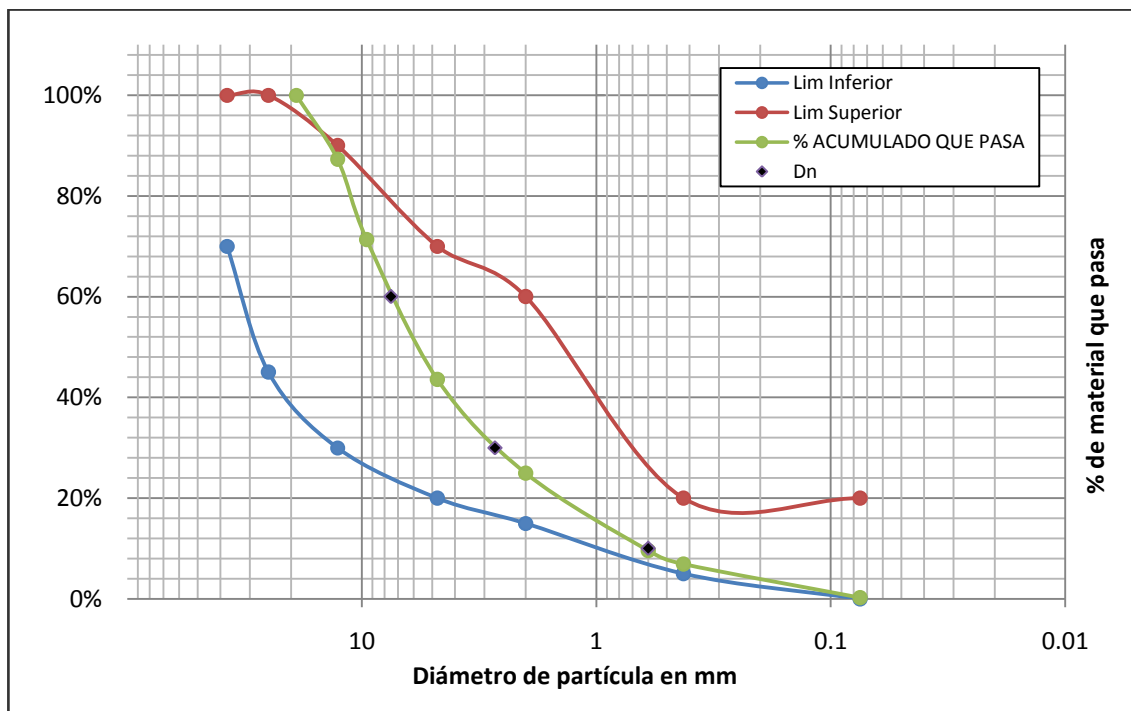
**Figura 3. 6** Curva granulométrica del concreto triturado que pasa la malla No. 4



**Tabla 3. 9 Granulometría del concreto triturado**

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
3/4 "	19.05	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2 "	12.70	688.3	12.75%	12.75%	87.25%
3/8 "	9.52	860.3	15.94%	28.70%	71.30%
No. 4	4.76	1,497.08	27.74%	56.44%	43.56%
No. 10	2.00	1,005.72	18.64%	75.07%	24.93%
No. 30	0.60	827.99	15.34%	90.42%	9.58%
No. 40	0.43	144.79	2.68%	93.10%	6.90%
No. 200	0.075	360.24	6.68%	99.77%	0.23%
Fondo	-	12.18	0.23%	100.00%	0.00%
<b>Total</b>		<b>5396.60</b>	<b>gr</b>		

**Figura 3. 7 Curva granulométrica del concreto triturado**



## GRANULOMETRÍA DEL BLOQUE DE CONCRETO TRITURADO

### E) TAMIZADO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN LA MALLA NO. 4

$W_o = 5,265.30$  gr

#### Resultados de Tamizado (Retenidos)

1/2 " =	621.0	gr
3/8 " =	656.5	gr
No.4 =	1167.8	gr
<b>Material que pasa la malla No.4</b>		
	2,818.40	gr
$W_{f\ total} =$	<b>5263.7</b>	<b>gr</b>

#### Error por Perdidas

$Error = (W_o - W_f)/W_f$
$(W_o - W_f) =$ 1.60 gr
$Error =$ 0.03% < 0.5% OK

### F) TAMIZADO DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA NO.4

(Después de lavado Por No. 200)

$W_o = 628.5$  gr

#### Resultados de Tamizado (Retenidos)

No. 4 =	7.6	gr
No. 10 =	257.5	gr
No. 30 =	218.7	gr
No. 40 =	40.6	gr
No. 200 =	102.7	gr
Fondo =	0.8	gr
$W_{f\ total} =$	<b>627.9</b>	<b>gr</b>

#### Error por Perdidas

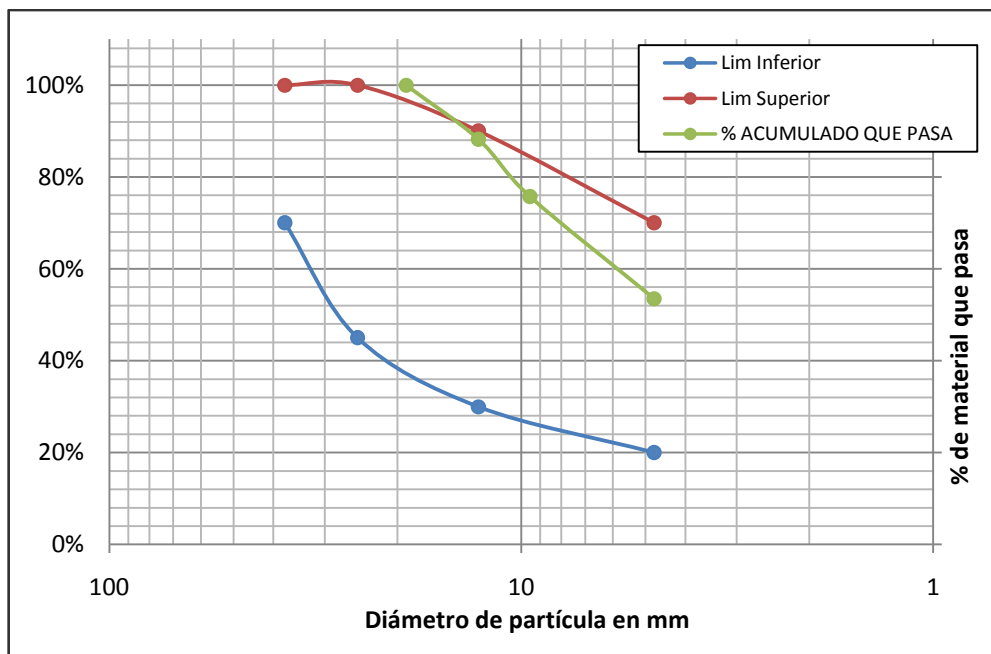
$Error = (W_o - W_f)/W_f$
$(W_o - W_f) =$ 0.60 gr
$Error =$ 0.10% < 0.5% OK

Contenido de humedad (w %) fracción que pasa la malla No. 4	Material que pasa la malla No. 200
$W_{\text{tara No.2}} =$ 72.0 gr	$W_{\text{muestra húmeda}} =$ 667.6 gr
$W_{\text{tara No.2 + bloq-concreto}} =$ 466.8 gr	$W_{\text{reten parcialmente seco}} =$ 628.5 gr
$W_{\text{tara No.2 + bloq concr seco}} =$ 463.4 gr	<i>Material que pasa la malla No. 200 = Peso total seco - Peso retenido parcial seco</i>
$(w \%) =$ 0.87%	<b>Material que pasa la malla No. 200 = 33.35 gr</b>

**Tabla 3. 10** Tamizado del bloque de concreto triturado que se retiene en la malla No. 4

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
3/4 "	19.05	0	0	0	100.00%
1/2 "	12.70	621	11.79%	11.79%	88.21%
3/8 "	9.52	656.5	12.47%	24.26%	75.74%
No.4	4.76	1,167.8 + 1.6	22.21%	46.47%	53.53%

**Figura 3. 8** Curva granulométrica del bloque de concreto triturado que se retiene en la malla No. 4



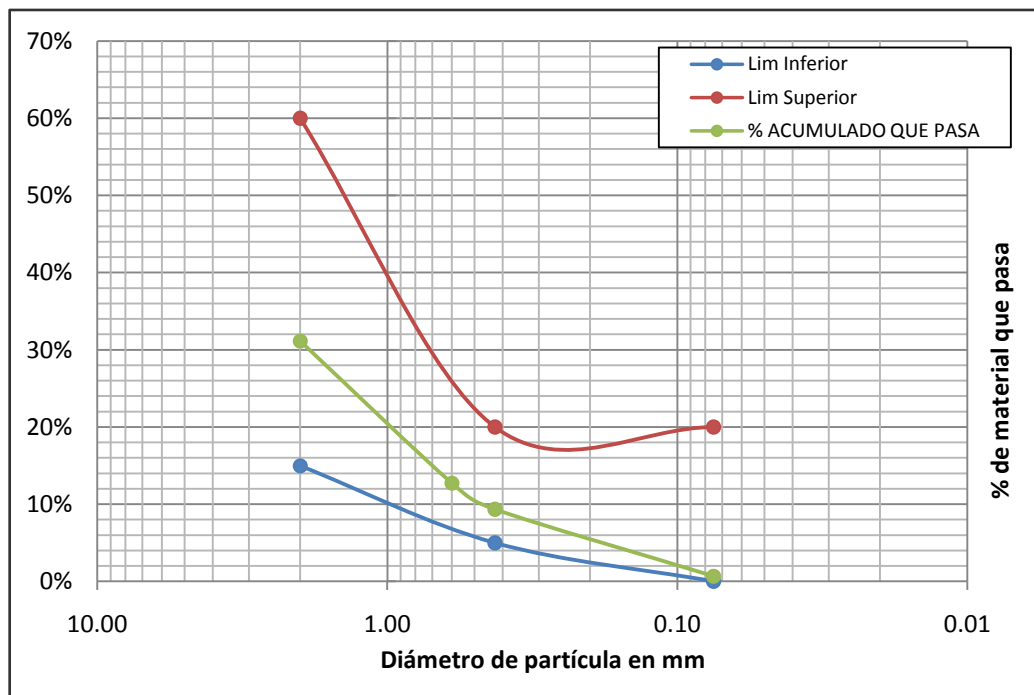
**Tabla 3. 11** Cantidad de arena y grava del bloque de concreto triturado

Material	Cantidad (gr)	Porcentaje (%)
Arena	2,784.72	52.89%
Grava	2,480.58	47.11%
<b>Total</b>	<b>5,265.30</b>	<b>100.00%</b>

**Tabla 3. 12** Tamizado del bloque de concreto triturado que pasa la malla No. 4

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
No. 4	4.76	7.6	1.21%	1.21%	98.79%
No. 10	2.00	257.5 + 0.6	41.07%	41.07%	57.72%
No. 30	0.60	218.7	34.80%	77.07%	22.93%
No. 40	0.43	40.6	6.46%	83.53%	16.47%
No. 200	0.075	102.7	16.34%	99.87%	0.13%
Fondo	-	0.8	0.13%	100.00%	0.00%
<b>Total</b>		628.5	100.00%		

**Figura 3. 9** Curva granulométrica del bloque de concreto triturado que pasa la malla No. 4

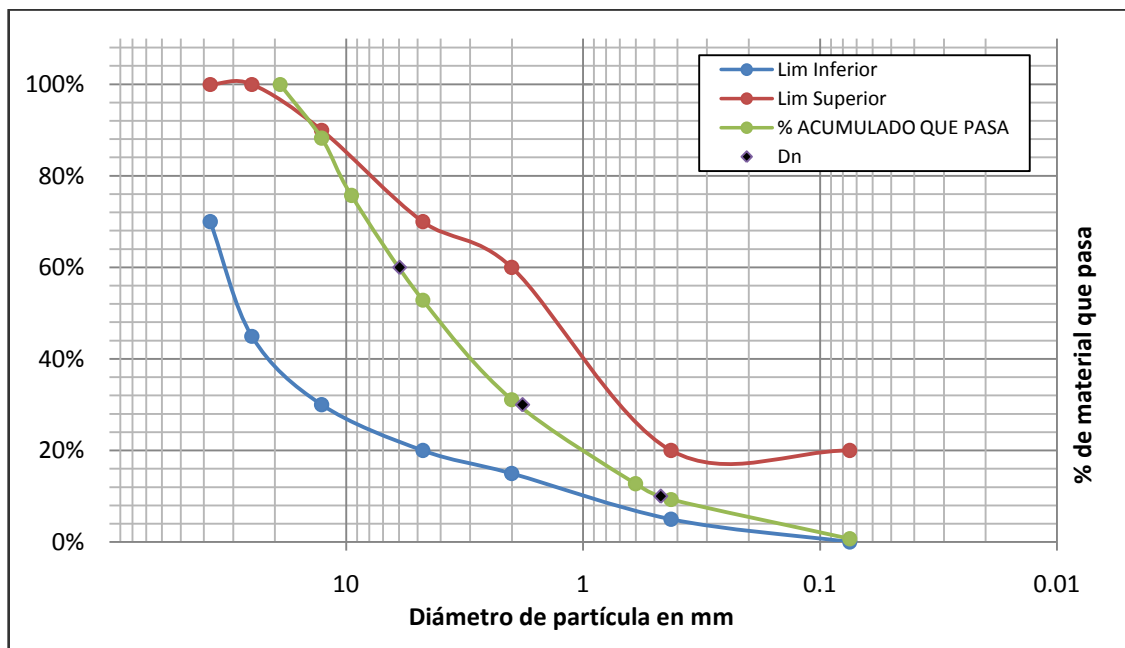




**Tabla 3. 13** Granulometría del bloque de concreto triturado

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
3/4 "	19.05	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2 "	12.70	621	11.79%	11.79%	88.21%
3/8 "	9.52	656.5	12.47%	24.26%	75.74%
No. 4	4.76	1,203.08	22.85%	47.11%	52.89%
No. 10	2.00	1,143.71	21.72%	68.83%	31.17%
No. 30	0.60	969.12	18.41%	87.24%	12.76%
No. 40	0.43	179.91	3.42%	90.66%	9.34%
No. 200	0.075	455.09	8.64%	99.30%	0.70%
Fondo	-	36.90	0.70%	100.00%	0.00%
<b>Total</b>		<b>5265.30</b>	<b>gr</b>		

**Figura 3. 10** Curva granulométrica del bloque de concreto triturado



## GRANULOMETRÍA DEL LADRILLO DE BARRO TRITURADO

### G) TAMIZADO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN LA MALLA NO. 4

$W_o = 5,058.40$  gr

#### Resultados de Tamizado (Retenidos)

1/2 " =	203.9	gr
3/8 " =	409.8	gr
No.4 =	963.5	gr
<b>Material que pasa la malla No.4</b>		
	3,480.40	gr
$W_{f \text{ total}} =$	<b>5057.6</b>	<b>gr</b>

#### Error por Perdidas

$\text{Error} = (W_o - W_f)/W_f$
$(W_o - W_f) = 0.80$ gr
$\text{Error} = 0.02\% < 0.5\% \text{ OK}$

### H) TAMIZADO DE MATERIAL QUE PASA LA MALLA NO.4

(Después de lavado Por No. 200)

$W_o = 628.5$  gr

#### Resultados de Tamizado (Retenidos)

No. 4 =	7.6	gr
No. 10 =	257.5	gr
No. 30 =	218.7	gr
No. 40 =	40.6	gr
No. 200 =	102.7	gr
Fondo =	0.8	gr
$W_{f \text{ total}} =$	<b>627.9</b>	<b>gr</b>

#### Error por Perdidas

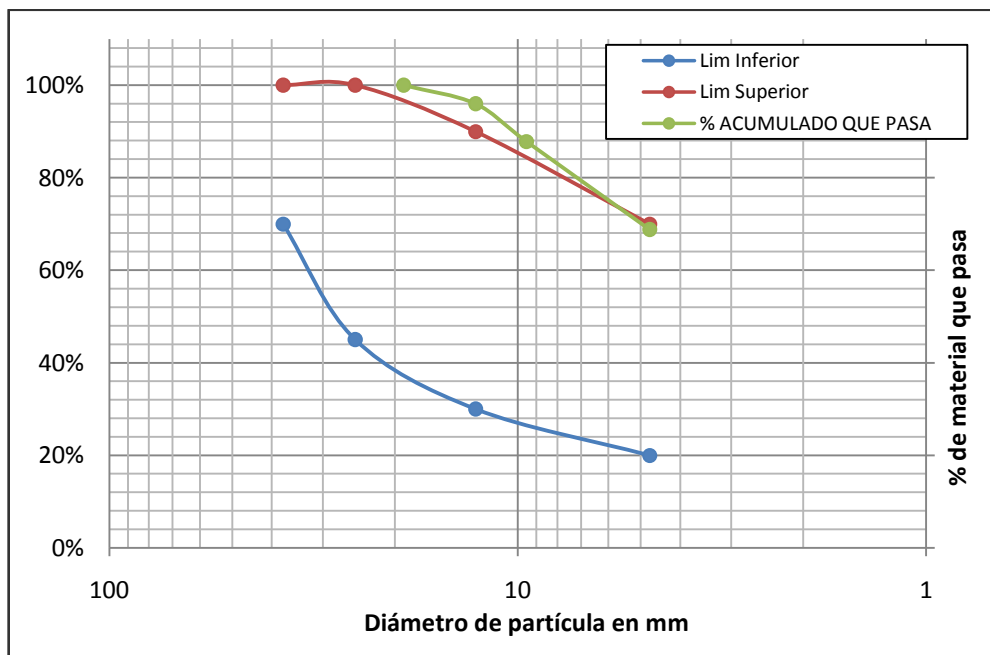
$\text{Error} = (W_o - W_f)/W_f$
$(W_o - W_f) = 0.60$ gr
$\text{Error} = 0.10\% < 0.5\% \text{ OK}$

Contenido de humedad (w %) fracción que pasa la malla No. 4	Material que pasa la malla No. 200
$W_{\text{tara No.5}} = 67.8$ gr	$W_{\text{muestra húmeda}} = 760$ gr
$W_{\text{tara No.5 + ladrillo}} = 287$ gr	$W_{\text{retenido parcialmente seco}} = 645.3$ gr
$W_{\text{tara No.5 + ladrillo seco}} = 285.3$ gr	<i>Material que pasa la malla No. 200 = Peso total seco - Peso retenido parcial seco</i>
$(w \%) = 0.78\%$	<b>Material que pasa la malla No. 200 = 108.81 gr</b>

**Tabla 3. 14** Tamizado del ladrillo de barro triturado que se retiene en la malla No. 4

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
3/4 "	19.05	0	0	0	100.00%
1/2 "	12.70	203.9	4.03%	4.03%	95.97%
3/8 "	9.52	409.8	8.10%	12.13%	87.87%
No.4	4.76	963.5 + 0.8	19.06%	31.20%	68.80%

**Figura 3. 11** Curva granulométrica del ladrillo de barro triturado que se retiene en la malla No. 4



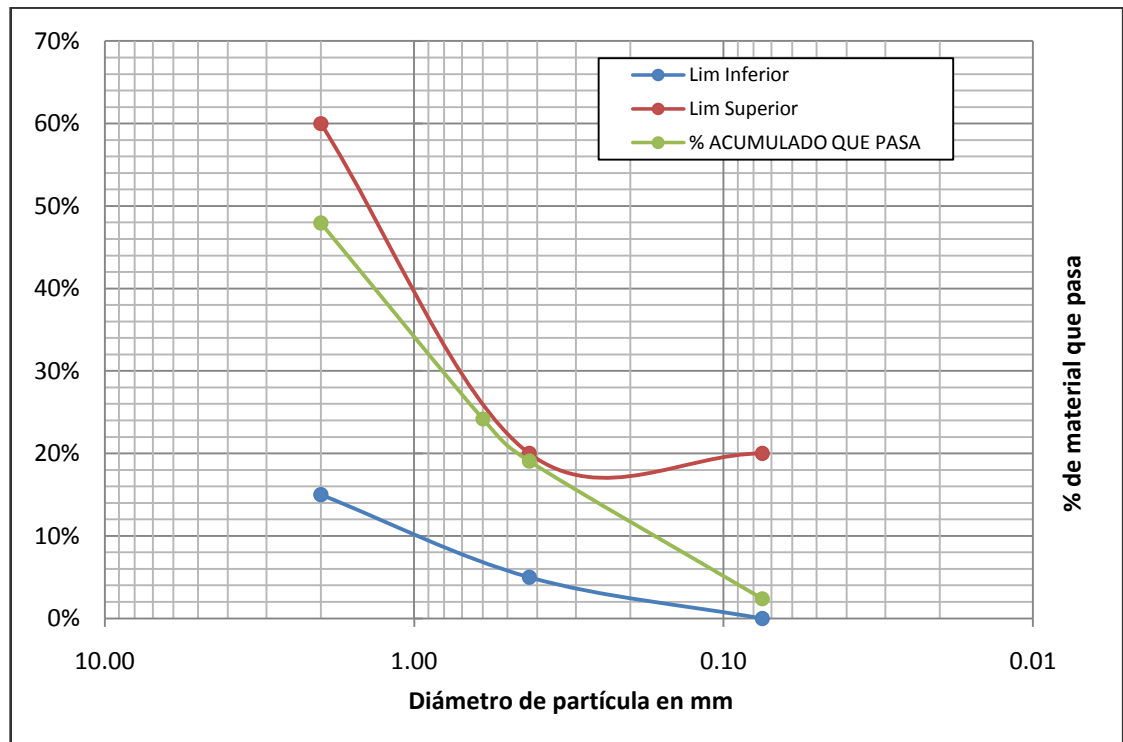
**Tabla 3. 15** Cantidad de arena y grava del ladrillo de barro triturado

Material	Cantidad (gr)	Porcentaje (%)
Arena	3,455.32	68.31%
Grava	1,603.08	31.69%
<b>Total</b>	<b>5,058.40</b>	<b>100.00%</b>

**Tabla 3. 16** Tamizado del ladrillo de barro triturado que pasa la malla No. 4

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
No. 4	4.76	4.8	0.74%	0.74%	99.26%
No. 10	2.00	196.70 + 0.7	30.59%	30.59%	68.67%
No. 30	0.60	229.5	35.56%	66.90%	33.10%
No. 40	0.43	49.8	7.72%	74.62%	25.38%
No. 200	0.075	161.2	24.98%	99.60%	0.40%
Fondo	-	2.6	0.40%	100.00%	0.00%
<b>Total</b>		645.3	100.00%		

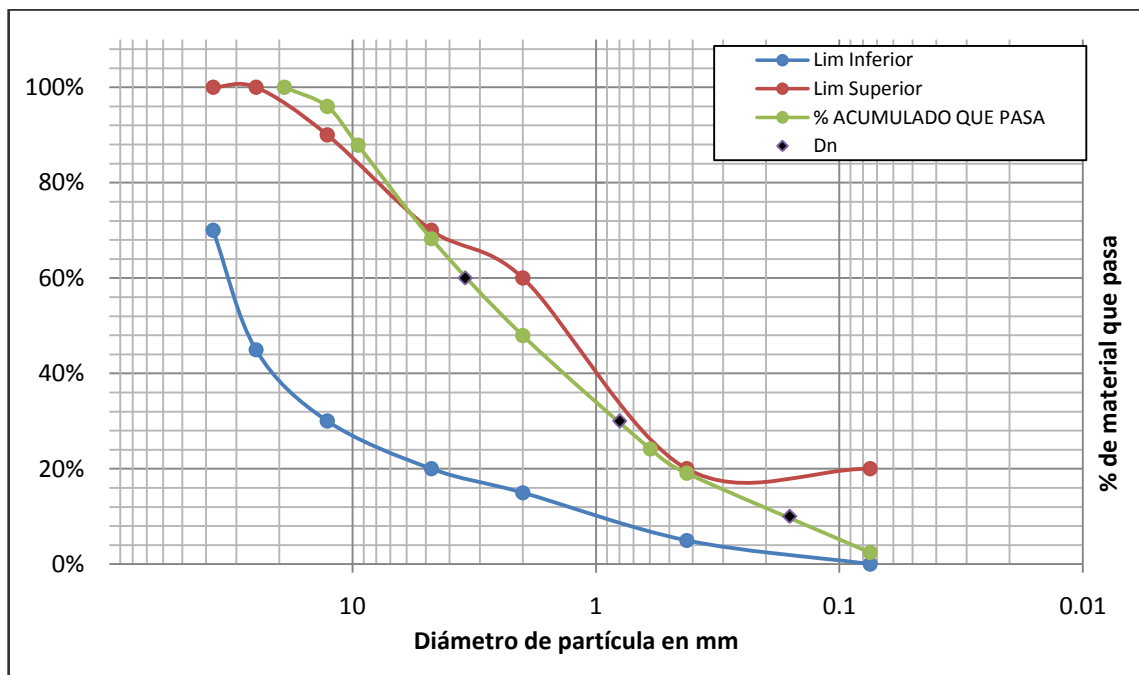
**Figura 3. 12** Curva granulométrica del ladrillo de barro triturado que pasa la malla No. 4



**Tabla 3. 17 Granulometría del ladrillo de barro triturado**

MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
3/4 "	19.05	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/2 "	12.70	203.9	4.03%	4.03%	95.97%
3/8 "	9.52	409.8	8.10%	12.13%	87.87%
No. 4	4.76	989.38	19.56%	31.69%	68.31%
No. 10	2.00	1,031.38	20.39%	52.08%	47.92%
No. 30	0.60	1,199.10	23.71%	75.79%	24.21%
No. 40	0.43	260.20	5.14%	80.93%	19.07%
No. 200	0.075	842.25	16.65%	97.58%	2.42%
Fondo	-	122.39	2.42%	100.00%	0.00%
<b>Total</b>		<b>5058.40</b>	<b>gr</b>		

**Figura 3. 13 Curva granulométrica del ladrillo de barro triturado**



**Tabla 3. 18** *Coeficientes granulométricos del material-selecto*

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	$Cu = D_{60}/D_{10}$	mm	%
		$D_{60} =$	4.35 60.00%
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	$Cc = D_{30}^2/(D_{10} \times D_{60})$	$D_{10} =$	0.22 10.00%
		$D_{30} =$	1.00 30.00%
		<b>Cu = 19.77</b>	<b>Cc = 1.04</b>

**Tabla 3. 19** *Coeficientes granulométricos del concreto triturado*

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	$Cu = D_{60}/D_{10}$	mm	%
		$D_{60} =$	7.5 60.00%
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	$Cc = D_{30}^2/(D_{10} \times D_{60})$	$D_{10} =$	0.60 10.00%
		$D_{30} =$	2.70 30.00%
		<b>Cu = 12.50</b>	<b>Cc = 1.62</b>

**Tabla 3. 20** *Coeficientes granulométricos del bloque de concreto triturado*

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	$Cu = D_{60}/D_{10}$	mm	%
		$D_{60} =$	5.95 60.00%
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	$Cc = D_{30}^2/(D_{10} \times D_{60})$	$D_{10} =$	0.40 10.00%
		$D_{30} =$	1.80 30.00%
		<b>Cu = 14.88</b>	<b>Cc = 1.36</b>

**Tabla 3. 21** *Coeficientes granulométricos del ladrillo de barro triturado*

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	$Cu = D_{60}/D_{10}$	mm	%
		$D_{60} =$	3.45 60.00%
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	$Cc = D_{30}^2/(D_{10} \times D_{60})$	$D_{10} =$	0.16 10.00%
		$D_{30} =$	0.80 30.00%
		<b>Cu = 21.56</b>	<b>Cc = 1.16</b>

Para la clasificación de los materiales en base a la prueba granulométrica, ver análisis e interpretación de resultados en sección 4.1.

### **3.3. GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE GRANOS DE GRAVA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO (ASTM C-127-01)**

Este método de prueba cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (sin incluir el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregado grueso.

**Absorción:** es incremento en masa de agregado debido a la penetración de agua dentro de los poros de las partículas durante un periodo prescrito de tiempo, pero sin incluir agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresada como un porcentaje de la masa seca.

**Densidad:** es la masa por unidad de volumen de un material, expresado como kilogramos por metro cúbico.

**Densidad Relativa (Gravedad Específica):** es la relación de la densidad de un material a la densidad de agua destilada a una temperatura estipulada; los valores son adimensionales.

#### ✓ **MATERIALES Y EQUIPOS**

- **Balanza:** precisión 0.5g, la balanza tendrá que ser equipada con aparatos adaptables para suspender el contenedor de la muestra en agua desde el centro de la plataforma o cacerola de la balanza.
- **Contenedor de muestra:** Una cesta de malla de 3.35mm (No6) o más fina.
- **Tanque de agua:** un tanque dentro del cual el contenedor de la muestra es colocado mientras se suspende bajo la balanza.
- **Tamices:** un tamiz 4.75mm (No4).
- **Termómetro**
- **Horno**

## ✓ PROCEDIMIENTO

Después de homogeneizar completamente la muestra y eliminar todo el material que pasa la 4.75 (tamiz N°4), lavar la muestra retenida en la malla N°4 para eliminar los finos adheridos a las partículas y secarlas al horno a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  para luego saturarla durante  $24 \pm 4$  horas.

La masa mínima de la muestra para la prueba está dada por la siguiente tabla:

**Tabla 3. 22** *Masa mínima de muestra para la prueba gravedad específica y absorción de granos de grava*

Tamaño máximo nominal, mm (in)	Masa mínima de prueba, kg (lb)
12.5 (1/2) o menos	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 ½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 ½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

*Fuente: ASTM C-127-01*

- 1) Remover la muestra de prueba del agua y rodarla en una tela absorbente hasta que todas las películas visibles de agua sean removidas. Limpia las partículas grandes individualmente. Una corriente de aire en movimiento es permitida para ayudar en la operación de secado. Ten cuidado de evitar la evaporación de agua de los poros de agregado durante la operación de secado superficial. Determina la masa de la muestra de prueba en la condición saturada superficialmente seca.
- 2) Después de determinar la masa en aire, inmediatamente coloca la muestra de prueba saturada superficialmente seca en la canasta y determina su masa aparente a  $23 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ . Toma cuidado de remover todo el aire atrapado antes de determinar su masa agitando la canasta mientras está en inmersión.



- 3) Se ca la muestra de prueba a una masa constante a una temperatura de  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ , enfría en aire a la temperatura del cuarto 1 a 3h, o hasta que el agregado sea enfriado a una temperatura que es confortable para manipular (aproximadamente  $50^{\circ}\text{C}$ ), y determina la masa.

### FOTOGRAFÍAS DEL PROCEDIMIENTO

**Fotografía 3. 2** *Procedimiento de prueba gravedad específica y absorción de granos de grava*



*Tamizado del Material por malla No. 4*



*Lavado del material retenido en malla No.4*



*Secado de materiales en horno durante 24 h.*



*Saturación de los materiales durante 24 h.*



*Llevando materiales a condición Saturado Superficialmente Seco (SSS)*



*Pesado de material en condición SSS*



*Colocación de equipo para pesaje del material saturado en condición sumergida*



*Medición de temperatura, estabilización de temperatura con hielo.*

**Tabla 3. 23** Resultados de densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregado grueso del material-selecto.

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO				
ASTM C-127-01				
ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS				
<b>Proyecto:</b>	DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO			
<b>Material:</b>	Material- Selecto			
<b>Peso de sumergido de canasta =</b>	106.9	gr		
Descripción	Muestra 1 (Tara 1)	Muestra 2 (Tara 2)	Muestra 3 (Tara 3)	Muestra 4 (Tara 4)
W sss (gr)	1,500.00	1,500.00	1,500.00	1,500.00
W sumergido (gr)	942.60	941.20	943.40	941.10
W seca (gr)	1,377.60	1,377.60	1,376.70	1,375.80
Densidad Relativa (Gravedad Específica)				
Densidad Relativa (Gravedad Específica)	2.47	2.47	2.47	2.46
Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSS)	2.69	2.68	2.69	2.68
Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente)	3.17	3.16	3.18	3.16
Densidad				
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	2,465.30	2,459.12	2,467.23	2,455.47
Densidad SSS (kg/m <sup>3</sup> )	2,684.34	2,677.61	2,688.20	2,677.13
Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	3,158.98	3,148.85	3,169.30	3,157.03
Densidad Promedio y Densidad Relativa (Gravedad Específica)				
Densidad Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	2,461.78			
Densidad Relativa (Gravedad Específica) Promedio	2.47			
Absorción				
Absorción (%)	8.89%	8.89%	8.96%	9.03%
Valor promedio de absorción (%)	8.94%			

**Tabla 3. 24** Resultados de densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregado grueso del concreto triturado.

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO				
ASTM C-127-01				
<b>Proyecto:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO			
<b>Material:</b>	Concreto Triturado			
<b>Peso de sumergido de canasta =</b>	103.2	gr		
Descripción	Muestra 1 (Tara X)	Muestra 2 (Tara R)	Muestra 3 (Tara S)	Muestra 4 (Tara 100)
W sss (gr)	1,558.00	1,851.60	1,537.70	1,533.90
W sumergido (gr)	880.40	1,039.20	862.30	861.30
W seca (gr)	1,429.70	1,694.80	1,403.70	1,403.50
Densidad Relativa (Gravedad Específica)				
Densidad Relativa (Gravedad Específica)	2.11	2.09	2.08	2.09
Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSS)	2.30	2.28	2.28	2.28
Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente)	2.60	2.59	2.59	2.59
Densidad				
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	2,104.67	2,080.95	2,073.13	2,081.46
Densidad SSS (kg/m <sup>3</sup> )	2,293.54	2,273.47	2,271.03	2,274.85
Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2,596.26	2,578.65	2,586.24	2,582.06
Densidad Promedio y Densidad Relativa (Gravedad Específica)				
Densidad Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	2,085.05			
Densidad Relativa (Gravedad Específica) Promedio	2.09			
Absorción				
Absorción (%)	8.97%	9.25%	9.55%	9.29%
Valor promedio de absorción (%)	9.27%			

**Tabla 3. 25** Resultados de densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregado grueso del bloque de concreto triturado.

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO				
ASTM C-127-01				
<b>Proyecto:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO			
<b>Material:</b>	Bloque de Concreto Triturado			
<b>Peso de sumergido de canasta =</b>	103.2	gr		
Descripción	Muestra 1 (Tara 1)	Muestra 2 (Tara 2)	Muestra 3 (Tara 3)	Muestra 4 (Tara 4)
W sss (gr)	1,535.40	1,521.90	1,591.00	1,757.10
W sumergido (gr)	818.10	814.00	849.20	937.60
W seca (gr)	1,365.50	1,354.60	1,418.50	1,559.40
Densidad Relativa (Gravedad Específica)				
Densidad Relativa (Gravedad Específica)	1.90	1.91	1.91	1.90
Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSS)	2.14	2.15	2.14	2.14
Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente)	2.49	2.51	2.49	2.51
Densidad				
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1,898.91	1,908.76	1,907.46	1,898.11
Densidad SSS (kg/m <sup>3</sup> )	2,135.18	2,144.51	2,139.42	2,138.75
Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2,488.28	2,499.47	2,485.43	2,501.61
Densidad Promedio y Densidad Relativa (Gravedad Específica)				
Densidad Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	1,903.31			
Densidad Relativa (Gravedad Específica) Promedio	1.91			
Absorción				
Absorción (%)	12.44%	12.35%	12.16%	12.68%
Valor promedio de absorción (%)	12.41%			

**Tabla 3. 26** Resultados de densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción de agregado grueso del ladrillo de barro triturado.

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO				
ASTM C-127-01				
<b>Proyecto:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO			
<b>Material:</b>	Ladrillo de Barro Triturado			
<b>Peso de sumergido de canasta =</b>	103.2	gr		
Descripción	Muestra 1 (Tara R1)	Muestra 2 (Tara R2)	Muestra 3 (Tara R3)	Muestra 4 (Tara Va)
W sss (gr)	1,540.60	2,067.60	1,673.60	1,463.00
W sumergido (gr)	755.50	1,017.40	824.20	719.20
W seca (gr)	1,258.80	1,702.50	1,375.10	1,195.00
Densidad Relativa (Gravedad Específica)				
Densidad Relativa (Gravedad Específica)	1.60	1.62	1.62	1.61
Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSS)	1.96	1.97	1.97	1.97
Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente)	2.50	2.49	2.50	2.51
Densidad				
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1,599.35	1,617.07	1,614.86	1,602.60
Densidad SSS (kg/m <sup>3</sup> )	1,957.39	1,963.85	1,965.41	1,962.01
Densidad Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	2,494.84	2,478.83	2,489.86	2,505.28
Densidad Promedio y Densidad Relativa (Gravedad Específica)				
Densidad Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	1,608.47			
Densidad Relativa (Gravedad Específica) Promedio	1.61			
Absorción				
Absorción (%)	22.39%	21.44%	21.71%	22.43%
Valor promedio de absorción (%)	21.99%			

### 3.4. PESO UNITARIO SUELTO Y PESO UNITARIO VARILLADO EN AGREGADOS

#### DENSIDAD DE MASA (“PESO UNITARIO”) Y VACIOS EN AGREGADO (ASTM C-29 / C-29M – 97)

##### ✓ MATERIALES Y EQUIPOS

- **Balanza** con 0.05kg de precisión
- **Varilla apisonadora**, varilla de acero redondeada, con 5/8in [16mm] en diámetro y aproximadamente 24in [600mm] en longitud, teniendo el extremo apisonado, o ambos extremos, redondeados a una punta hemisférica, el diámetro de la cual es 5/8in.
- **Medidor**, cilindro metálico, preferiblemente proveído con manijas, tendrá que ser a prueba de agua, con la tapa y el fondo nivelados y constantes, y suficientemente rígidos para mantener su forma bajo uso rugoso. La medición tendrá que tener una altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso tendrá que tener una altura menor de 80% ni mayor de 150% del diámetro. La capacidad de medición tendrá los límites en la tabla siguiente:

**Tabla 3. 27** Capacidad del medidor para prueba peso unitario suelto y peso unitario varillado.

Tamaño Máximo Nominal de Agregado (Pulg)	Capacidad de medición Ltrs. (m3)
½	2.8 (0.0028)
1	9.3 (0.0093)
1 ½	14 (0.014)
3	28 (0.028)
4	70 (0.070)
5	100 (0.100)

Fuente: ASTM C-29 / C-29M – 97

- **Pala o cucharon, brochas.**

✓ **PROCEDIMIENTO**

**PESO UNITARIO SUELTO EN AGREGADOS**

1. Se mide el molde para obtener su volumen.
2. Se pesa el molde.
3. La operación consiste en llenar el recipiente hasta que rebose, utilizando un cucharón, descargándose el agregado desde una altura que no exceda de 50 mm (2 pulgadas) sobre el borde del recipiente.
4. Téngase el cuidado de prevenir hasta donde sea posible la segregación de las partículas de distintos tamaños que componen la muestra.
5. Luego se quita con cuidado el excedente, para que esté al nivel del recipiente. (enrasado).
6. Se limpia el exceso del agregado con la brocha.
7. Finalmente se pesa la muestra.
8. Este procedimiento se repite 3 veces.
9. Cálculos

**Ecuación 3** *Determinación de peso unitario suelto.*

$$\text{Peso unitario suelto} = \text{peso de la muestra} / \text{volumen del medidor}$$

**PESO UNITARIO VARILLADO O COMPACTADO EN AGREGADOS**

1. Ya que se usa el mismo molde, no se requiere hacer las medidas del mismo, por lo que en este caso se iniciará llenando el molde hasta 1/3 de su capacidad y nivele la superficie con los dedos.
2. Luego con la varilla se golpea 25 veces en forma de espiral de afuera hacia adentro.
3. En el varillado de la primera capa, no permita que la barra golpee fuertemente el fondo del recipiente.
4. Se sigue agregando la muestra hasta los 2/3 de la capacidad del recipiente, nuevamente nivele la superficie y golpea 25 veces.



5. En el varillado de la segunda capa use solamente la fuerza suficiente para que la varilla llegue hasta la capa anterior.
6. Finalmente, se llena el recipiente hasta que desborde y se compacta con 25 golpes.
7. En el varillado de la tercera capa use solamente la fuerza suficiente para que la varilla llegue hasta la capa anterior.
8. Luego se quita con cuidado el excedente, para que este esté al nivel del recipiente.
9. Se limpia el exceso del agregado con la brocha.
10. Finalmente se pesa.
11. Este procedimiento se repite 3 veces.
12. Cálculos

**Ecuación 4** *Determinación de peso unitario varillado.*

$$\text{Peso unitario varillado} = \text{peso de la muestra} / \text{volumen del medidor}$$

### FOTOGRAFÍAS DEL PROCEDIMIENTO

**Fotografía 3.** *3 Procedimiento de prueba peso unitario suelto y peso unitario varillado*



*Ejecución de la prueba, en la imagen cucharón, medidor metálico, varilla metálica y materiales.*



*Pesaje material más medidor metálico, peso unitario suelto y peso unitario.*

✓ **RESULTADOS**

**Tabla 3. 28** *Resultados de prueba peso unitario suelto y peso unitario varillado de material-selecto*

<b>DENSIDAD DE MASA (“PESO UNITARIO”) Y VACIOS EN AGREGADO</b>	
ASTM C-29 / C-29M- 97	
<b>PROYECTO:</b> ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO	
<b>MATERIAL:</b> MATERIAL-SELECTO	
<b>FECHA DE ENSAYO:</b> 8/10/2012	

<b>METODO SUELTO</b>			
<b>No. De Ensayo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de Muestra + Medidor (g)	13013	13005	13149
Peso del Medidor (g)	3126	3126	3126
Peso de Muestra (g)	9887	9879	10023
Volumen del Medidor (cm <sup>3</sup> )	6957	6957	6957
Densidad Bulk (kg/m <sup>3</sup> )	1421	1420	1441
<b>Promedio densidad Bulk (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1427</b>		

<b>METODO VARRILLADO</b>			
<b>No. De Ensayo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de Muestra + Medidor (g)	13925	13880	13892
Peso del Medidor (g)	3126	3126	3126
Peso de Muestra (g)	10799	10754	10766
Volumen del Medidor (cm <sup>3</sup> )	6957	6957	6957
Densidad Bulk (kg/m <sup>3</sup> )	1552	1546	1547
<b>Promedio densidad Bulk (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1548</b>		

**Tabla 3. 29** Resultados de prueba peso unitario suelto y peso unitario varillado de concreto triturado

<b>DENSIDAD DE MASA (“PESO UNITARIO”) Y VACIOS EN AGREGADO</b>	
ASTM C-29 / C-29M- 97	
<b>PROYECTO:</b> ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO	
<b>MATERIAL:</b> CONCRETO TRITURADO	
<b>FECHA DE ENSAYO:</b> 11/10/2012	

<b>METODO SUELTO</b>			
<b>No. De Ensayo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de Muestra + Medidor (g)	11811	12030	12033
Peso del Medidor (g)	3126	3126	3126
Peso de Muestra (g)	8685	8904	8907
Volumen del Medidor (cm <sup>3</sup> )	6957	6957	6957
Densidad Bulk (kg/m <sup>3</sup> )	1248	1280	1280
<b>Promedio densidad Bulk (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1269</b>		

<b>METODO VARRILLADO</b>			
<b>No. De Ensayo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de Muestra + Medidor (g)	12772	12482	12661
Peso del Medidor (g)	3126	3126	3126
Peso de Muestra (g)	9646	9356	9535
Volumen del Medidor (cm <sup>3</sup> )	6957	6957	6957
Densidad Bulk (kg/m <sup>3</sup> )	1387	1345	1371
<b>Promedio densidad Bulk (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1367</b>		

**Tabla 3. 30** Resultados de prueba peso unitario suelto y peso unitario varillado de bloque de concreto triturado

<b>DENSIDAD DE MASA (“PESO UNITARIO”) Y VACIOS EN AGREGADO</b>	
ASTM C-29 / C-29M- 97	
<b>PROYECTO:</b> ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO	
<b>MATERIAL:</b> BLOQUE DE CONCRETO TRITURADO	
<b>FECHA DE ENSAYO:</b> 9/10/2012	

<b>METODO SUELTO</b>			
<b>No. De Ensayo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de Muestra + Medidor (g)	11380	11352	11412
Peso del Medidor (g)	3126	3126	3126
Peso de Muestra (g)	8254	8226	8286
Volumen del Medidor (cm <sup>3</sup> )	6957	6957	6957
Densidad Bulk(kg/m <sup>3</sup> )	1186	1182	1191
<b>Promedio densidad Bulk (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1187</b>		

<b>METODO VARRILLADO</b>			
<b>No. De Ensayo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de Muestra + Medidor (g)	12237	12274	12243
Peso del Medidor (g)	3126	3126	3126
Peso de Muestra (g)	9111	9148	9117
Volumen del Medidor (cm <sup>3</sup> )	6957	6957	6957
Densidad Bulk(kg/m <sup>3</sup> )	1310	1315	1310
<b>Promedio densidad Bulk (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1312</b>		

**Tabla 3. 31** Resultados de prueba peso unitario suelto y peso unitario varillado de ladrillo de barro triturado

<b>DENSIDAD DE MASA (“PESO UNITARIO”) Y VACIOS EN AGREGADO</b>			
ASTM C-29 / C-29M- 97			
<b>PROYECTO:</b> ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO			
<b>MATERIAL:</b> LADRILLO DE BARRO TRITURADO			
<b>FECHA DE ENSAYO:</b> 10/10/2012			

<b>METODO SUELTO</b>			
<b>No. De Ensayo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de Muestra + Medidor (g)	10703	10623	10706
Peso del Medidor (g)	3126	3126	3126
Peso de Muestra (g)	7577	7497	7580
Volumen del Medidor (cm <sup>3</sup> )	6957	6957	6957
Densidad Bulk(kg/m <sup>3</sup> )	1089	1078	1089
<b>Promedio densidad Bulk (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1085</b>		

<b>METODO VARRILLADO</b>			
<b>No. De Ensayo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de Muestra + Medidor (g)	11429	11458	11479
Peso del Medidor (g)	3126	3126	3126
Peso de Muestra (g)	8303	8332	8353
Volumen del Medidor (cm <sup>3</sup> )	6957	6957	6957
Densidad Bulk(kg/m <sup>3</sup> )	1193	1198	1201
<b>Promedio densidad Bulk (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1197</b>		

### 3.5. LÍMITES DE CONSISTENCIA

#### DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO Y LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS

(ASTM D-4318-00)

##### 1. LÍMITE PLÁSTICO

Humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 1/8" de diámetro se disgreguen en trozos de 1/4" a 3/8" de largo y no puedan ser reamados ni reconstituidos.

##### 2. EL LÍMITE LÍQUIDO

Es la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remoldeada, depositada en la taza de bronce de la máquina Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2 mm entre sí, fluya y entren en contacto en una longitud de 10 mm, aplicando 25 golpes.

##### ✓ MATERIALES Y EQUIPOS

- **Plato de Evaporación:** Debe ser de porcelana, acero inoxidable, bronce o aluminio, con un diámetro de aproximadamente 120 mm.
- **Espátula:** Debe contar con una hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo y 20 mm de ancho.
- **Aparato de Límite Líquido (Máquina Casagrande):** Taza de bronce con una masa de  $200 \pm 20$  g, montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de plástico duro de una resiliencia tal que una bolita de acero de 8 mm de diámetro, dejada caer libremente desde una altura de 25 cm, rebote entre un 75 y un 90%.
- **Acanalador:** Combinación de acanalador y calibre.
- **Capsulas para Secado:** Debe ser de aluminio, bronce o acero inoxidable.

- **Balanza:** La balanza debe tener una precisión de 0.01 g.
- **Probeta Graduada:** La probeta debe tener una capacidad mínima de 25 ml.
- **Horno:** Provisto de circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantener la temperatura a  $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

✓ **PROCEDIMIENTO**

**a) Preparación de la muestra:**

Se tomará una muestra de material secado al aire. El material que se ha secado, se pasará por la malla No. 4, de este se desmenuza una cantidad y se pasa éste por la malla No. 40 y se toma como muestra el material que pasa dicho tamiz (una masa mínima de ensaye de 500g).

**CÁLCULO DEL LÍMITE PLÁSTICO:**

1. Se coloca una muestra de suelo que ha sido preparada como se indica anteriormente en una cápsula y se añade agua, mezclando debidamente hasta la masa del suelo se vuelve suficientemente plástica para darle forma de bola.
2. Se toma una porción de esta bola y se arrolla esta masa colocándola entre los dedos de las manos y la placa de vidrio y con suficiente presión se hace una barrita o rollito con un diámetro uniforme en toda su longitud. La velocidad de amasado deberá ser de 80 a 90 pasadas por minuto, se considera como una pasada el movimiento completo de la mano hacia adelante y hacia atrás.
3. Cuando el diámetro de la barrita se reduzca a un octavo se reduce en unos 6 a 8 pedazos. Nuevamente se unen los pedazos entre los dedos y pulgares de ambas manos, hasta darle a la masa una forma aproximadamente elipsoidal y vuelve a amasarse. Se continuará este amasado hasta que la barrita de suelo tenga un diámetro de un octavo aproximadamente y se vuelve a repetir la operación ya indicada hasta que en los cilindros aparezcan grietas o se quiebre bajo la presión del amasado y no sea ya posible obtener barritas o rollitos de un octavo.

4. El desmenuzamiento (resquebrajamiento) puede ocurrir cuando la barrita de suelo tenga un diámetro mayor de 1/8". Esto se considerará satisfactorio, siempre que el suelo haya sido previamente amasado en rollitos de 1/8" de diámetro.
5. El resquebrajamiento será diferente para los varios tipos de suelo. Algunos se despedazan en muchos fragmentos pequeños, en otros, se forma en la capa exterior tubular que empieza a rajarse en los extremos, progresando esta rajadura hacia centro y despedazándose luego en gran cantidad de fragmentos pequeños laminados. Las arcillas muy plásticas requieren mucha presión para deformar la barrita, particularmente cuando su contenido de humedad se acerca a su límite.
6. La barrita de arcilla se rompe en una serie de fragmentos, de formas más o menos cilíndricas, de 1/4" a 3/8" de largo. En ningún momento el laboratorista deberá forzar la rotura de la barrita cuando tenga 1/8", ya sea reduciendo la velocidad del amasado o la presión de mano, o ambas y continuando el arrollado sin mayor deformación hasta que el rollito de suelo se parta; sin embargo se permite reducir la deformación total para suelos poco plásticos haciendo que el diámetro inicial de la masa de forma elipsoidal sea de 1/8" aproximadamente.
7. Reúnanse las porciones de suelo resquebrajado y colóquese en un platillo de cristal. Pesar el platillo con el suelo y registrar este peso. Secar el suelo a peso constante, introduciendo el platillo con el suelo en un horno y registrar este peso. La diferencia entre ambos nos dará el peso del agua en la muestra.
8. Calcular el límite plástico, expresándolo como un contenido de humedad referido en porcentaje, al peso del suelo secado al horno.

**Ecuación 5** *Cálculo del límite plástico.*

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{peso del suelo secado al horno}} \times 100$$

9. Obtener tres límites plásticos de la misma muestra de suelo, con el fin de obtener un promedio, que representará el límite plástico de dicho suelo.



## CÁLCULO DEL LÍMITE LÍQUIDO:

### **Ajuste y control del aparato del límite líquido:**

Gire la manivela hasta que la taza se eleve a su mayor altura. Utilizando el calibrador de 10 mm (adosado al ranurador), verifique que la distancia entre el punto de percusión y la base sea exactamente de 10 mm. De ser necesario, afloje los tornillos de fijación y mueva el de ajuste hasta obtener la altura de caída requerida. Si el ajuste es correcto se escuchará un ligero campanileo producido por la leva al golpear el tope de la taza; si la taza se levanta por sobre el calibre o no se escucha ningún sonido, realice un nuevo ajuste.

1. Del material que pasa la malla No. 40. Se toma una muestra y se coloca en una cápsula, se le agrega agua y con una espátula se mezcla perfectamente hasta obtener una pasta suave y espesa. La muestra se guarda en un frasco durante 24 horas para tener una humedad uniforme.
2. El material que se ha dejado curando durante 24 horas, se añadirá una pequeña cantidad de agua y se mezclará continuamente con la espátula hasta que se haya mezclado completamente hasta obtener una consistencia uniforme.
3. Tomar una porción de esta mezcla y colocarla en el platillo de bronce distribuyéndola con el menor número posible de golpes de espátula, teniendo cuidado de que no se formen burbujas de aire dentro de la masa de suelo. Este se nivelará con la espátula, de tal forma de que tenga un centímetro de espesor como máximo. El sobrante de suelo deberá quitarse y colocarse en la cápsula de porcelana. La masa de suelo en el plato de bronce se dividirá, cortándola, por medio del acanalador, los cortes se efectuarán moviendo el acanalador unas seis veces de adelante hacia atrás. La profundidad del canal será aumentada progresivamente con cada pasada del acanalador y solamente la última pasada deberá tocar el fondo del plato de bronce. El canal que se forme deberá ser uniforme y limpio, para evitar desprendimientos de las paredes del canal, o deslizamientos de la masa del material en el plato de bronce.

4. El plato de bronce que contiene la muestra preparada y cortada tendrá que ser levantado por medio del manubrio a una velocidad de dos revoluciones por segundo, hasta que las dos mitades de la muestra se unan en su base en una distancia de media pulgada (1.3 cm), aproximadamente; luego se registra el número de golpes que ha sido necesario dar para cerrar el canal. Cuando se esta levantando y haciendo caer el plato de bronce, es decir durante el conteo de los golpes, se debe mantener fina la base.
5. Una porción de suelo. Se toma de la sección donde se unieron las mitades de la muestra, se coloca en un platillo de vidrio previamente pesado, se pesa el conjunto, posteriormente se introduce en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C o hasta obtener un peso constante. Pesar la muestra seca. La diferencia entre el peso de la muestra húmeda y seca se registrará como peso del agua.
6. El suelo que queda en el plato de bronce será trasladado a la cápsula de porcelana. Luego se lavará y secara debidamente el plato de bronce y el ranurador y se repetirá la operación indicada.
7. Las operaciones anteriores se repiten por lo menos para dos porciones adicionales de la muestra, añadiendo agua hasta que el suelo tenga una consistencia fluida. El objeto de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que por lo menos una determinación sea hecha entre los siguientes límites de golpes: 25 a 35, 20 a 30 y 15 a 20.
8. El contenido de humedad del suelo se expresará de la siguiente manera:

**Ecuación 6** *Cálculo del porcentaje de humedad*

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{\text{peso del agua}}{\text{peso del suelo secado al horno}} \times 100$$

9. Repítanse los pasos siguientes.

### CÁLCULOS DE LÍMITE LÍQUIDO:

- Calcule y registre la humedad de cada determinación (w), de acuerdo con el método definido anteriormente para determinar el contenido de humedad.
- Construya un grafico semilogarítmico, con la humedad (w) como ordenada en escala aritmética y el número de golpes (N) como abscisa en escala logarítmica.
- Dibuje los puntos correspondientes a los resultados de cada una de las cinco (o más) determinaciones efectuadas y construya una recta (curva de fluidez) que pase tan aproximadamente como sea posible por los puntos.
- Exprese el Límite Líquido (LL) del suelo como la humedad correspondiente a la intersección de la curva de fluidez con la abscisa de 25 golpes, aproximando a un decimal.

### CÁLCULO DEL ÍNDICE PLÁSTICO:

- Calcular el índice plástico del suelo como la diferencia numérica entre su límite líquido y su límite plástico así:

### **Ecuación 7** *Cálculo del índice plástico*

$$\text{Índice Plástico} = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico.}$$

### FOTOGRAFÍAS DEL PROCEDIMIENTO

#### **Fotografía 3. 4** *Procedimiento de límites de Atterberg*



*Mezclado de material ladrillo de barro triturado que pasa por malla No.40*



*Ejecución de prueba para determinar limite plástico*



*Deformación de espécimen de prueba por carencia de propiedades cohesivas*



*Deformación de espécimen de prueba por carencia de propiedades cohesivas*



*Colocación de muestra en maquina Casagrande*



*Ejecución de prueba para determinar Limite Liquido*

## ✓ RESULTADOS

Los límites de consistencia de los materiales en estudio no son realizables, se intento determinar el Límite Plástico y Limite Liquido, y estos procedimientos no se pudieron realizar, por la carencia de plasticidad de los especímenes.

### **3.6. PROCTOR MODIFICADO**

#### **PRUEBA PROCTOR MODIFICADA (AASHTO T-180)**

En general, la compactación de los suelos es el método más sencillo de estabilización disponible, es decir, el método que permite el mejoramiento de las propiedades físicas indeseables del suelo, a fin de obtener una estructura, resistente al corte y relación de vacíos deseables.

Este método de prueba controla los procesos de compactación que se realizan en el laboratorio, cuando se busca determinar la relación entre el contenido de humedad (W%) y el peso volumétrico seco del suelo ( $\gamma_s$ ), para que con dichos datos se pueda definir una curva de compactación.

Esta prueba es una variación de la prueba Proctor Estándar, que obedece al rápido desenvolvimiento del equipo de compactación, por lo que ésta busca representar en forma adecuada las mayores compactaciones que podrían alcanzarse en campo; así que la energía de compactación especificada para este método de prueba es mayor que el del método estándar; dicha energía es lograda colocando al suelo 5 capas y aplicando 25 golpes por capa, utilizando un martillo de 10 lbr. , con una altura de caída de 18" considerando a la vez que el espécimen puede ser preparado en un molde de 4" ó 6" de diámetro, produciendo una energía de compactación de 56000 Lb-pie / pie<sup>3</sup>.

#### **✓ MATERIALES Y EQUIPOS**

- Molde metálico cilíndrico; con extensión y placa de base.
- Malla ¾ " y No. 4
- Extractor de muestras Pistón
- Recipientes para determinar el contenido de humedad.
- Espátulas Cierras
- Pie de rey

- |                                    |                     |
|------------------------------------|---------------------|
| metálico.                          | - Piseta y probeta. |
| - Balanza de 0.1 gr. de precisión. | - Brocha            |
| - Horno de secado.                 | - Franelas.         |
| - Regla metálica                   | - Bandeja metálica  |
| - Guantes de hule.                 | - Cucharón.         |
|                                    | - Martillo de 10 lb |

### ✓ PROCEDIMIENTO

#### *a) Preparación de la humedad del suelo para definir curva de compactación.*

1. Secar la muestra de suelo al aire libre durante aproximadamente 24 hrs. antes del ensayo.
2. Si pasadas las 24 hrs. de secada al aire se observa que aún tiene cierto grado de humedad, se procede a la determinación de este ( $W_i$ ).
3. Determinar el método a usar.
4. Tamizar la muestra secada al aire por la malla No. 4(4.75mm) ó 3/4"(19.0mm), dependiendo del método a utilizar.
5. Preparar por lo menos cuatro muestras de tal manera que la variación de humedad de las mismas, permita definir dos puntos en la rama de seca y dos en la rama húmeda, preparar otra muestra y tratar de darle una humedad que se estime lo más cercana posible a la humedad óptima.
6. Usar aproximadamente 3.0 kg. de material tamizado por cada muestra para ser compactada con el método A ó B y 6 kg si se utiliza el método C.
7. Cuando se calcula la cantidad de agua para añadir a las muestras, hacer incrementos que varíen en  $\pm$  un 2% y en caso de suelos con alto contenido de humedad óptimo, las variaciones podrán ser mayores del 2%. Pero no deberán exceder del 4%. La ecuación para, el cálculo de la cantidad de agua a agregar para llevar la muestra húmeda de prueba, es la siguiente:

**Ecuación 8** Cantidad de agua agregada a la muestra para ejecución de ensayo Proctor.

$$W_w = K \frac{w_2 - w_1}{1 + w_1}$$

Donde:

K = Cantidad, en gramos, de material con la humedad que contiene  $w_1$

$w_1$  = Humedad que contiene el material, en decimal.

$w_2$  = humedad a que deberá hacerse la prueba, correspondiente al grado de compactación que ese desea producir, en decimal.

$W_w$  = Cantidad de agua a agregar en centímetros cúbicos.

8. Agregar al suelo (muestra) la cantidad de agua necesaria para hacerla llegar a la humedad requerida, y mezclar completamente hasta observar un color uniforme.

*b) Proceso de compactación.*

9. Pesar el molde de compactación (con base y su anillo de extensión) y además determinar sus dimensiones internas (diámetro y altura).
10. Fijar la base metálica al molde con la extensión (collarín) y ajustarlos debidamente.
11. Colocar el molde en una superficie rígida, nivelada y uniforme, para realizar el ensayo sin error.
12. Compactar el espécimen en el número de capas que corresponda al método, procurando que cada una sea igual de espesor.
13. Compactar cada capa uniformemente con 25 golpes si se utiliza el molde de 4"(101.6mm) ó con 56 golpes si el molde es de 6"(154.4mm), picar con un cuchillo la superficie de ésta, para garantizar una buena adherencia con la próxima capa.
14. Al finalizar la compactación de la última capa, utilizar un cuchillo para aflojar el suelo del collar, de tal manera que al retirar éste, no se pierda material de la capa superior del espécimen.
15. Enrasar el material del molde con una regla metálica

16. Quitar la placa de base y pesar el conjunto de molde-muestra compactada
17. Sacar el cilindro de suelo compactado utilizando un gato hidráulico
18. Cortarlo axialmente a través de su centro de tal forma de sacar dos partes, y luego tomar una muestra de la parte central de cada una de éstas para el contenido de humedad.

### FOTOGRAFÍAS DEL PROCEDIMIENTO

**Fotografía 3. 5** *Procedimiento de prueba proctor modificado*



*Cuarteo del material*



*Determinación de humedad inicial de ensayo*



*Homogenización de la muestra para ensayo*



*Ejecución del ensayo de compactación*





*Enrasado del Molde*



*Pesaje de molde + Material Húmedo*



*Extracción de muestras para determinar  
humedad*



*Secado de las muestras*

**Tabla 3. 32 Prueba proctor modificada del material-selecto**

RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD									
AASHTO T-180									
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO								
<b>MATERIAL:</b>	Material-Selecto								
<b>FECHA:</b>	26/06/2012								
DENSIDAD					HUMEDAD				
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4
% Agua de Proyecto	11	13	15	17	No. de Charola	9	4	1	5
Agua de Proyecto, (cc)	115	171	228	284	Peso T + peso Suelo H., (g)	365.9	396.7	384.6	461.9
P.s. húmedo + molde, (g)	5,971.0	6,066.0	6,112.0	6,089.0	Peso T + peso Suelo Seco, (g)	351.1	374	360.6	425
Peso del Molde, (g)	4,155.0	4,155.0	4,155.0	4,156.0	Peso Tara, (g)	195.5	175.5	176.5	185.5
Peso de suelo húmedo, (g)	1,816.0	1,911.0	1,957.0	1,933.0	Peso agua, (g)	14.8	22.7	24	36.9
Volumen de molde, (cm <sup>3</sup> )	937.0	937.0	937.0	937.0	Peso Suelo Seco	155.6	198.5	184.1	239.5
P. Vol. Húmedo, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,938.10	2,039.49	2,088.58	2,063.0	Contenido de agua, (%)	9.51	11.44	13.04	15.41
P. Vol. Seco, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,769.77	1,830.19	1,847.71	1,787.56	Humedad Natural = 6.89%				
<b>PESO VOLUMÉTRICO MÁX:</b>	<b>1848</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>							
<b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b>	<b>12.9</b>	<b>%</b>							
Norma	<b>T-180</b>								
Método	<b>C</b>								
No. capas	<b>5</b>								
No. golpes	<b>25</b>								
Molde	<b>1</b>								
Volumen del molde, CC	<b>937.0</b>								
Peso del martillo, lbs	<b>10.0</b>								
Altura de caída	<b>18"</b>								
Peso de la muestra, gr	<b>3000</b>								

**Densidad-Humedad**

● Densidad-Humedad  
■ Relación Óptima

$y = -0.566x^3 + 13.44x^2 - 63.33x + 1643$

12.9, 1848

CONTENIDO DE HUMEDAD, %

P VS, Kg/m <sup>3</sup>	1,760	1,770	1,780	1,790	1,800	1,810	1,820	1,830	1,840	1,850	1,860
	9	11	13	15	17						

**Tabla 3. 33 Prueba proctor modificada del concreto triturado**

RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD									
AASHTO T-180									
<b>PROYECTO:</b>	EESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO								
<b>MATERIAL:</b>	Concreto Triturado								
<b>FECHA:</b>	27/06/2012								
DENSIDAD					HUMEDAD				
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4
% Agua de Proyecto	11	13	15	17	No. de Charola	4	1	5	6
Agua de Proyecto, (cc)	156.1	213.0	269.8	326.7	Peso T + peso Suelo H., (g)	490.9	457.3	418.3	508.2
P.s. húmedo + molde, (g)	5,856.0	5,939.0	5,922.0	5,873.1	Peso T + peso Suelo Seco, (g)	458.7	424.6	387.9	462.4
Peso del Molde, (g)	4,155.0	4,155.0	4,156.0	4,156.0	Peso Tara, (g)	175.5	176.5	185.5	174.5
Peso de suelo húmedo, (g)	1,701.0	1,784.0	1,766.0	1,717.1	Peso agua, (g)	32.2	32.7	30.4	45.8
Volumen de molde, (cm <sup>3</sup> )	937.0	937.0	937.0	937.0	Peso Suelo Seco	283.2	248.1	202.4	287.9
P. Vol. Húmedo, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,815.37	1,903.95	1,884.7	1,832.6	Contenido de agua, (%)	11.37	13.18	15.02	15.91
P. Vol. Seco, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,630.03	1,682.23	1,638.62	1,581.03	Humedad Natural = 5.51%				

<b>PESO VOLUMÉTRICO MÁX:</b>	<b>1682.6</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
<b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b>	<b>13.25</b>	<b>%</b>

Norma	<b>T-180</b>
Método	<b>C</b>
No. capas	<b>5</b>
No. golpes	<b>25</b>
Molde	<b>1</b>
Volumen del molde, CC	<b>937.0</b>
Peso del martillo, lbs	<b>10.0</b>
Altura de caída	<b>18"</b>
Peso de la muestra, gr	<b>3000</b>

**Densidad-Humedad**

$y = -0.175x^3 - 7.338x^2 + 287.8x - 436.2$

**Tabla 3. 34 Prueba proctor modificada del bloque de concreto triturado**

RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD									
AASHTO T-180									
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO								
<b>MATERIAL:</b>	Bloque de Concreto Triturado								
<b>FECHA:</b>	12/06/2012								
DENSIDAD					HUMEDAD				
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4
% Agua de Proyecto	14	16	18	20	No. de Charola	7	6	4	1
Agua de Proyecto, (cc)	312	370	428	486	Peso T + peso Suelo H., (g)	429.3	366.3	366.5	404
P.s. húmedo + molde, (g)	5,841.0	5,922.0	5,939.0	5,922.0	Peso T + peso Suelo Seco, (g)	399.8	341.3	337.5	369.1
Peso del Molde, (g)	4,155.0	4,155.0	4,155.0	4,156.0	Peso Tara, (g)	198.5	185.5	175.5	176.5
Peso de suelo húmedo, (g)	1,686.0	1,767.0	1,784.0	1,766.0	Peso agua, (g)	29.5	25	29	34.9
Volumen de molde, (cm <sup>3</sup> )	937.0	937.0	937.0	937.0	Peso Suelo Seco	201.3	155.8	162	192.6
P. Vol. Húmedo, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,799.36	1,885.81	1,903.95	1,884.7	Contenido de agua, (%)	14.65	16.05	17.90	18.12
P. Vol. Seco, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,569.37	1,625.05	1,614.87	1,595.61	Humedad Natural = 3.27%				

<b>PESO VOLUMÉTRICO MÁX:</b>	<b>1646</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
<b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b>	<b>16.95</b>	<b>%</b>

Norma	<b>T-180</b>
Método	<b>C</b>
No. capas	<b>5</b>
No. golpes	<b>25</b>
Molde	<b>1</b>
Volumen del molde, CC	<b>937.0</b>
Peso del martillo, lbs	<b>10.0</b>
Altura de caída	<b>18"</b>
Peso de la muestra, gr	<b>3000</b>

**Densidad-Humedad**

$y = -7.414x^3 + 346.3x^2 - 5348x + 28898$

**Tabla 3. 35 Prueba proctor modificada del ladrillo de barro triturado**

RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD									
AASHTO T-180									
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO								
<b>MATERIAL:</b>	Ladrillo de Barro Triturado								
<b>FECHA:</b>	2/07/2012								
DENSIDAD					HUMEDAD				
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4
% Agua de Proyecto	12	14	16	18	No. de Charola	5	9	1	8
Agua de Proyecto, (cc)	220.2	277.7	335.3	392.8	Peso T + peso Suelo H., (g)	337.6	370.7	343	365.2
P.s. húmedo + molde, (g)	5,607.0	5,651.0	5,658.0	5,663.0	Peso T + peso Suelo Seco, (g)	320.9	349.5	319.3	339.7
Peso del Molde, (g)	4,155.0	4,155.0	4,156.0	4,156.0	Peso Tara, (g)	185.5	195.5	176.5	197.5
Peso de suelo húmedo, (g)	1,452.0	1,496.0	1,502.0	1,507.0	Peso agua, (g)	16.7	21.2	23.7	25.5
Volumen de molde, (cm³)	937.0	937.0	937.0	937.0	Peso Suelo Seco	135.4	154	142.8	142.2
P. Vol. Húmedo, (Kg/m³)	1,549.63	1,596.58	1,603.0	1,608.3	Contenido de agua, (%)	12.33	13.77	16.60	17.93
P. Vol. Seco, (Kg/m³)	1,379.48	1,403.39	1,374.82	1,363.77	Humedad Natural = 4.34%				

<b>PESO VOLUMÉTRICO MÁX:</b>	<b>1403.7</b>	<b>Kg/m³</b>
<b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b>	<b>14</b>	<b>%</b>

Norma	<b>T-180</b>
Método	<b>A</b>
No. capas	<b>5</b>
No. golpes	<b>25</b>
Molde	<b>1</b>
Volumen del molde, CC	<b>937.0</b>
Peso del martillo, lbs	<b>10.0</b>
Altura de caída	<b>18"</b>
Peso de la muestra, gr	<b>3000</b>

**Densidad-Humedad**

$y = 1.200x^3 - 57.54x^2 + 904.6x - 3276.$

### **3.7. C B R (CALIFORNIA BEARING RATIO)**

#### **DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE CBR**

**(ASTM D-1883-05)**

La finalidad de este ensayo es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables, es un método desarrollado por la división de carreteras del Estado de California (EE. UU.) Y sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para sub-razante, sub-base, y base de pavimentos.

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El (%) CBR está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que un pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material.

*La expresión que define al CBR es la siguiente:*

**Ecuación 9** *Determinación del CBR.*

$$\text{CBR} = (\text{carga unitaria del ensayo} / \text{carga unitaria patrón}) * 100 (\%)$$

De la ecuación se puede ver que el número CBR, es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica el símbolo (%) se omite y la relación se presenta simplemente por el número entero.

Usualmente el número CBR, se basa en la relación de carga para una penetración de 2.5 mm (0.1"). Los ensayos de CBR se hacen sobre muestras compactadas, con un contenido de humedad óptimo obtenido del ensayo de compactación proctor, en general se confeccionan 3 probetas como mínimo, las que poseen distintas energías de compactación (56, 25 y 10 golpes).

## ✓ MATERIALES Y EQUIPOS

### *Para la Compactación*

- Molde de diám.= 6", altura de 7" a 8" y un collarín de 2".
- Disco espaciador de acero diám. 5 15/16" y alt. 2.5".
- Pisón Peso 10 lb y altura de caída 18".
- Trípode y extensómetro con aprox. 0.001".
- Pesas de plomo anular de 5 lbs c/u (2 pesas).

### *Para la Prueba de Penetración*

- Pistón sección circular Diám. = 2 pulg.
- Aparato para aplicar la carga: Prensa hidráulica. V= 0.05 pulg/min. Con anillo calibrado.

### *Equipo misceláneo*

- Balanza
- Tanques para inmersión de muestra a saturar
- Horno
- Tamices
- Cronómetro
- Papel
- Dial, etc.

## ✓ PROCEDIMIENTO

1. Secar la muestra de suelo al aire libre durante aproximadamente 24 hrs. antes del ensayo.
2. Si pasadas las 24 hrs. de secada al aire se observa que aún tiene cierto grado de humedad, se determina el contenido de humedad de la muestra así preparada.
3. Desmenuzar los terrones existentes y tener cuidado de no romper las partículas individuales de la muestra.
4. Determina la humedad óptima.

5. Realizar la prueba Proctor modificada. La muestra deberá tamizarse por la malla  $\frac{3}{4}$  ó la No. 4. Dependiendo del método a utilizar.
6. Se preparan 3 muestras y se compactan con diferente energía de compactación (56, 25, 10 golpes martillo de 10 lb) a humedad óptima  $\pm 0.5\%$ .
7. La muestra se divide en 5 partes. Se compacta en 5 capas con 10, 25 y 56 golpes / capa. La briqueta compactada deberá tener un espesor de 5”.
8. Si las muestras van a ser sometidas a inmersión, determine el contenido de humedad al comienzo y al final del procedimiento de compactación (2 muestras). Cada una de ellas debe pesar como mínimo 500g.
9. Cada muestra se satura y se anota la expansión.
10. Después de las 96 horas se corre el ensayo.

**Nota: Para suelos granulares que absorben humedad fácilmente y cuyo CBR, efectuado con inmersión de 96 h, sea mayor que 40%, podrá considerarse una reducción del tiempo de inmersión hasta un mínimo de 24 h.**

11. El CBR de diseño será aquel correspondiente a la densidad que se especifique.

#### **Determinación de la expansión del material**

1. Determinada la densidad y humedad se coloca el papel filtro sobre la superficie enrasada, un plato metálico perforado y se voltará el molde.
2. Sobre la superficie libre de la muestra se colocará papel filtro y se montará el plato con el vástago graduable. Luego sobre el plato se colocará varias pesas de plomo. La sobrecarga mínima será de 10 lbs.
3. Colocado el vástago y las pesas, se colocará el molde dentro de un tanque o depósito lleno con agua.
4. Se monta el trípode con un extensómetro y se toma una lectura inicial y se tomará cada 24 horas.
5. Al cabo de las 96 horas o antes si el material es arenoso se anota la lectura final para calcular el hinchamiento. Se calcula el % de hinchamiento que es la lectura



final menos la lectura inicial dividido entre la altura inicial de la muestra multiplicado por 100.

**Ecuación 10** *Porcentaje de expansión de especímenes en prueba CBR*

$$E (\%) = (\text{Expansión} / \text{Altura de la muestra}) \times 100$$

6. Después de saturada la muestra, se saca del cilindro y cuidadosamente se drena durante 15 minutos el agua libre que queda. Como para drenar bien el agua es necesario voltear el cilindro sujétese bien el disco y las pesas metálicas al hacer esta operación. Luego remuévase el disco, las pesas y el papel filtro, pésese la muestra.

**Determinación de la resistencia a la penetración.**

1. Se colocará la pesa anular y encima de las pesas de plomo que tenía la muestra cuando estaba sumergida en agua; o sea que la sobrecarga para la prueba de penetración deberá ser prácticamente igual a la sobrecarga que tenía durante el ensayo de hinchamiento.
2. El molde con la muestra y la sobrecarga, se coloca debajo de la prensa y se asienta el pistón sobre la muestra, aplicando una carga de 10 lbs.
3. Una vez asentado el pistón, se coloca en cero el extensómetro que mide la penetración y el dial del extensómetro también se coloca en cero.
4. Se hinca el pistón en incrementos de 0.025” a la velocidad de 0.05”/ minuto ó en incrementos 0.64mm a la velocidad de 1,27 mm/min y se leen las cargas totales que ha sido necesario aplicar hasta hincar el pistón 0.50 pulgada ó 12.7mm.
5. Anote la carga máxima alcanzada, registrando la penetración a la que se produce, si esto ocurre para una penetración menor que (0.300pulg) 12,7mm, se suelta la carga lentamente; se retira el molde de la prensa y se quitan las pesas y la base metálica perforada.

7. Finalmente se determina el contenido de humedad de la muestra. Se recomienda tomar el promedio de los diferentes contenidos de humedad (parte superior e inferior de la muestra).

### FOTOGRAFÍAS DEL PROCEDIMIENTO

**Fotografía 3. 6** *Procedimiento de prueba CBR*



*Colocación del papel filtro grueso*



*Compactación de materiales en molde de CBR, a 56, 25 y 10 golpes por capa*



*Colocación de contrapesos anulares*



*Colocación de trípode y dial para medir deformaciones*



*Saturación los especímenes*



*Lectura de inchamiento*



*Penetración de los especímenes*



*Calculo de la humedad de los especímenes*

**Tabla 3. 36 Resultados de C B R para material-selecto**

<b>VALOR SOPORTANTE RELATIVO (C. B. R.)</b>	
<b>ASTM D-1883-05</b>	
<b>TEMA :</b> ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO	
<b>MATERIAL :</b> MATERIAL-SELECTO	
<b>CLASIFICACIÓN :</b> SW = A-1	<b>FECHA :</b> 15/10/2012

<b>ENSAYO PRELIMINAR</b>	
<b>PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)</b>	
HUMEDAD OPTIMA %	12.90
PESO VOL. SECO MAXIMO. Kg/m <sup>3</sup>	1,848

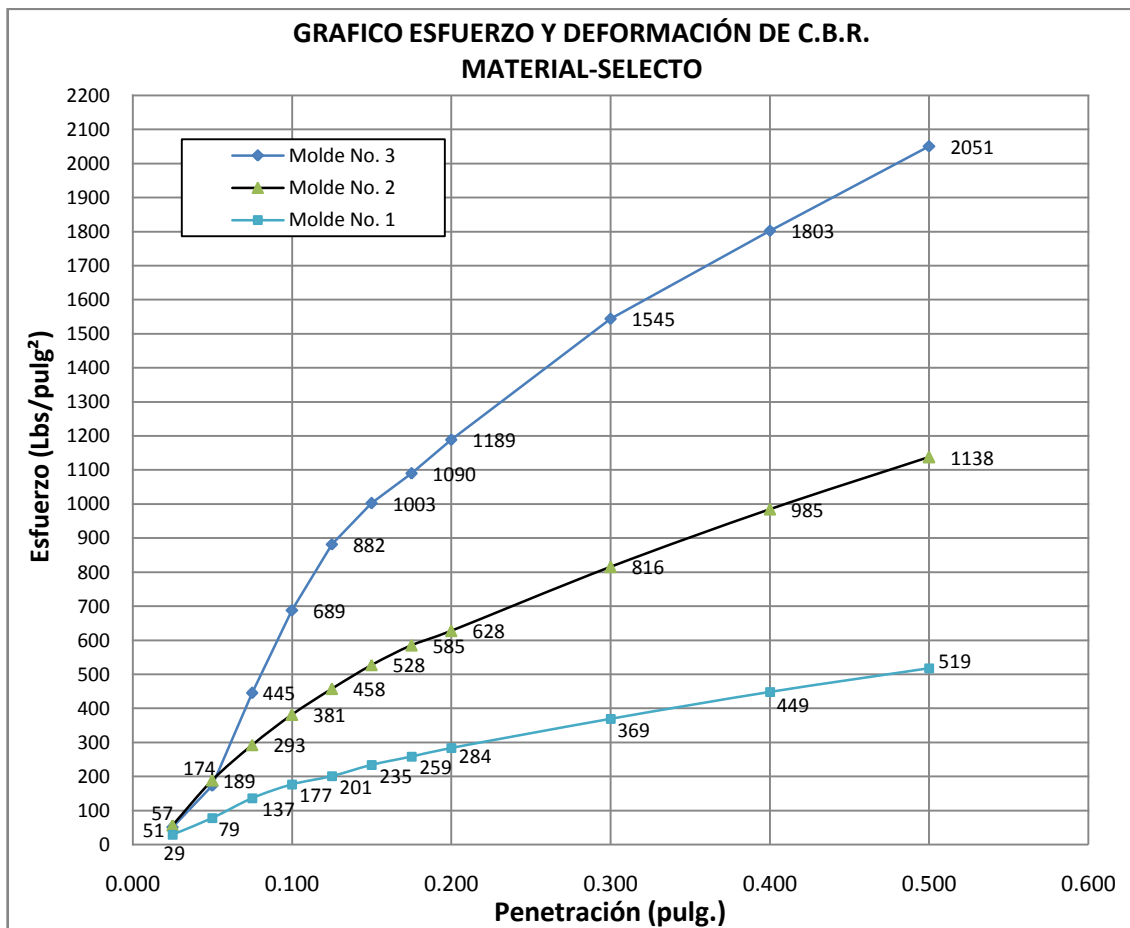
<b>GOLPES POR CAPA</b>	<b>56</b>	<b>25</b>	<b>10</b>
<b>MOLDE No.</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
PESO DE SUELO (gr)	5,000	5,000	5,000
AGUA AGREGADA (gr)	250.0	250.0	250.0
PESO SUELO HÚMEDO - MOLDE (gr)	11,435	11,275	11,130
PESO MOLDE (gr)	7,194	7,133	7,109
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	4,241	4,142	4,021
CAPACIDAD MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2,110	2,108	2,105
CONTENIDO DE AGUA (gr)	12.6	12.6	12.6
PESO VOLUMÉTRICO HÚMEDO (kg/m <sup>3</sup> )	2,010	1,965	1,910
PESO VOLUMÉTRICO SECO (kg/m <sup>3</sup> )	1,784	1,745	1,697
PESO MUESTRA ANTES DE PENETRACIÓN (gr)	11,580	11,480	11,405
SATURADA - MOLDE DESPUÉS PENETRACIÓN (gr)	11,572	11,475	11,387
PESO MUESTRA SATURADA DESPUÉS PENETRACIÓN (gr)	4,378	4,342	4,278
PESO SECO CALCULADO (gr)	3,765	3,678	3,572
PESO VOLUMÉTRICO HÚMEDO (SATURADO) (kg/m <sup>3</sup> )	2,079	2,062	2,041
PESO VOLUMÉTRICO SECO (SATURADO) (kg/m <sup>3</sup> )	1,799	1,766	1,725

<b>Humedades de Saturación (gr)</b>		
<b>Molde No. 3</b>	<b>Molde No. 2</b>	<b>Molde No. 1</b>
687.5	675.4	662.5
621.5	603.5	590.0
196.5	175.5	193.5
15.5	16.8	18.3

<b>Humedades</b>			
<b>Molde No.</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
PESO SUELO HÚMEDO - TARA (gr)	516.0	553.5	633.7
PESO SUELO SECO - TARA (gr)	479.8	513.5	582.5
TARA (gr)	193.5	196.5	175.5
CONTENIDO DE AGUA %	12.64	12.62	12.58

<b>ABUNDAMIENTO (CBR DE MATERIAL-SELECTO)</b>			
FECHA	MOLDE No. 3	MOLDE No. 2	MOLDE No. 1
	Sobrecarga 10 lbs	Sobrecarga 10lbs	Sobrecarga 10 Lbs.
	Lectura (mm)	Lectura (mm)	Lectura (mm)
22/10/2012	0.00	0.00	0.03
23/10/2012	0.10	0.07	0.05
24/10/2012	0.18	0.09	0.07
25/10/2012	0.19	0.13	0.10
26/10/2012	0.20	0.14	0.11
<b>% Abundamiento</b>	<b>0.17</b>	<b>0.12</b>	<b>0.07</b>

PENETRACION (CBR DE MATERIAL-SELECTO)						
Penetración en Pulgadas	MOLDE No. 3 Sobrecarga 10 lbs		MOLDE No. 2 Sobrecarga 10lbs		MOLDE No. 1 Sobrecarga 10 Lbs.	
	Lect.	Lb/Pulg.2	Lect.	Lb/Pulg.2	Lect.	Lb/Pulg.2
0.025	17	51	19	57	10	29
0.050	57	174	62	189	26	79
0.075	146	445	96	293	45	137
0.100	226	689	125	381	58	177
0.125	290	882	150	458	66	201
0.150	330	1003	173	528	77	235
0.175	359	1090	192	585	85	259
0.200	392	1189	206	628	93	284
0.300	511	1545	268	816	121	369
0.400	598	1803	324	985	147	449
0.500	682	2051	375	1138	170	519



VALORES DE CBR PARA EL MATERIAL-SELECTO									
Penetración en Pulgadas	MOLDE No. 3			MOLDE No. 2			MOLDE No. 1		
	Sobrecarga 10 Lbs.			Sobrecarga 10 Lbs			Sobrecarga 10 Lbs		
	Lect.	Lb/Pulg.2	CBR	Lect.	Lb/Pulg.2	CBR	Lect.	Lb/Pulg.2	CBR
0.100	226	689	69	125	381	38	58	177	18
0.200	392	1189	79	206	628	42	93	284	19

### GRAFICO CBR DE DISEÑO

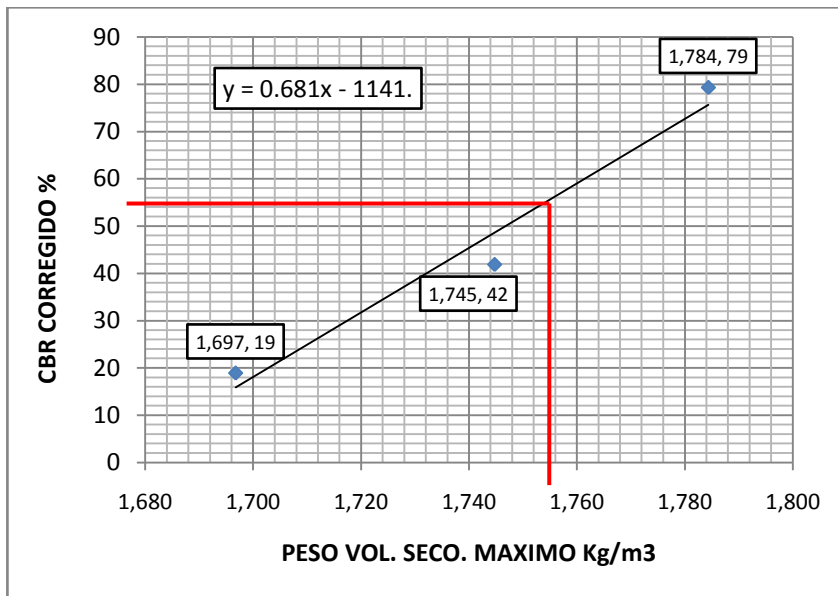


GRAFICO	
PESO VOL	CBR 0.2 PULG
1,784	79
1,745	42
1,697	19

**CBR AL 95% T-180 = 1755.6 Kg/m3 = 56% (DISEÑO)**

**Tabla 3. 37 Resultados de C B R para concreto triturado**

<b>VALOR SOPORTANTE RELATIVO (C. B. R.)</b>	
<b>ASTM D-1883-05</b>	
<b>TEMA :</b> ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO	
<b>MATERIAL :</b> CONCRETO TRITURADO	
<b>CLASIFICACIÓN :</b> SW = A-1	<b>FECHA :</b> 15/10/2012

<b>ENSAYO PRELIMINAR</b>	
<b>PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)</b>	
HUMEDAD OPTIMA %	13.25
PESO VOL. SECO MAXIMO. Kg/m <sup>3</sup>	1,682

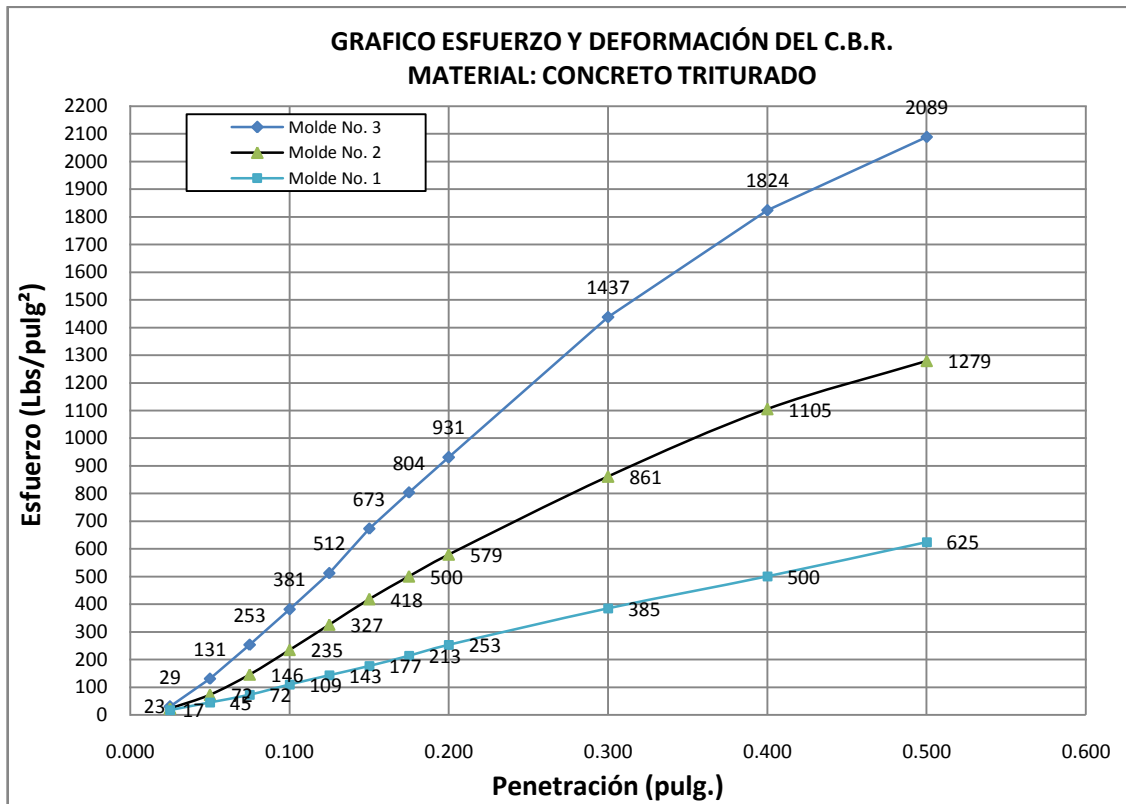
<b>GOLPES POR CAPA</b>	<b>56</b>	<b>25</b>	<b>10</b>
<b>MOLDE No.</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
PESO DE SUELO (gr)	5,000	5,000	5,000
AGUA AGREGADA (gr)	404.0	404.0	404.0
PESO SUELO HÚMEDO - MOLDE (gr)	11,074	10,872	10,694
PESO MOLDE (gr)	7,194	7,133	7,109
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	3,880	3,739	3,585
CAPACIDAD MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2,110	2,108	2,105
CONTENIDO DE AGUA (gr)	12.8	12.8	13.3
PESO VOLUMÉTRICO HÚMEDO (kg/m <sup>3</sup> )	1,839	1,774	1,703
PESO VOLUMÉTRICO SECO (kg/m <sup>3</sup> )	1,630	1,573	1,504
PESO MUESTRA ANTES DE PENETRACIÓN (gr)	11,282	11,136	10,962
SATURADA – MOLDE DESPUÉS PENETRACIÓN (gr)	11,270	11,125	10,937
PESO MUESTRA SATURADA DESPUÉS PENETRACIÓN (gr)	4,076	3,992	3,828
PESO SECO CALCULADO (gr)	3,440	3,315	3,165
PESO VOLUMÉTRICO HÚMEDO (SATURADO) (kg/m <sup>3</sup> )	1,937	1,899	1,830
PESO VOLUMÉTRICO SECO (SATURADO) (kg/m <sup>3</sup> )	1,640	1,590	1,518

<b>Humedades de Saturación (gr)</b>		
<b>Molde No. 3</b>	<b>Molde No. 2</b>	<b>Molde No. 1</b>
880.1	853.2	847.1
772.0	746.5	732.7
175.5	196.5	176.5
18.1	19.4	20.6

<b>Molde No.</b>	<b>Humedades</b>		
	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
PESO SUELO HÚMEDO – TARA (gr)	738.9	654.6	720.3
PESO SUELO SECO – TARA (gr)	677.0	602.8	656.5
TARA (gr)	193.5	197.5	175.5
CONTENIDO DE AGUA %	12.80	12.78	13.26

<b>ABUNDAMIENTO (CBR CONCRETO TRITURADO)</b>			
<b>FECHA</b>	<b>MOLDE No. 3</b>	<b>MOLDE No. 2</b>	<b>MOLDE No. 1</b>
	<b>Sobrecarga 10 lbs</b>	<b>Sobrecarga 10lbs</b>	<b>Sobrecarga 10 Lbs.</b>
	<b>Lectura (mm)</b>	<b>Lectura (mm)</b>	<b>Lectura (mm)</b>
22/10/2012	0	0	0
23/10/2012	0.06	0.04	0.03
24/10/2012	0.09	0.07	0.05
25/10/2012	0.11	0.09	0.06
26/10/2012	0.13	0.10	0.07
<b>% Abundamiento</b>	<b>0.11</b>	<b>0.09</b>	<b>0.06</b>

PENETRACION (CBR CONCRETO TRITURADO)						
Penetración en Pulgadas	MOLDE No. 3 Sobrecarga 10 lbs		MOLDE No. 2 Sobrecarga 10lbs		MOLDE No. 1 Sobrecarga 10 Lbs.	
	Lect.	Lb/Pulg.2	Lect.	Lb/Pulg.2	Lect.	Lb/Pulg.2
0.025	10	29	8	23	6	17
0.050	43	131	24	72	15	45
0.075	83	253	48	146	24	72
0.100	125	381	77	235	36	109
0.125	168	512	107	327	47	143
0.150	221	673	137	418	58	177
0.175	264	804	164	500	70	213
0.200	306	931	190	579	83	253
0.300	475	1437	283	861	126	385
0.400	605	1824	364	1105	164	500
0.500	695	2089	422	1279	205	625





VALORES DE CBR PARA EL CONCRETO TRITURADO									
Penetración en Pulgadas	MOLDE No. 3			MOLDE No. 2			MOLDE No. 1		
	Sobrecarga 10 Lbs.			Sobrecarga 10 Lbs			Sobrecarga 10 Lbs		
	Lect.	Lb/Pulg.2	CBR	Lect.	Lb/Pulg.2	CBR	Lect.	Lb/Pulg.2	CBR
0.100	125	381	38	77	235	23	36	109	11
0.200	306	931	62	190	579	39	83	253	17

### GRAFICO CBR DE DISEÑO

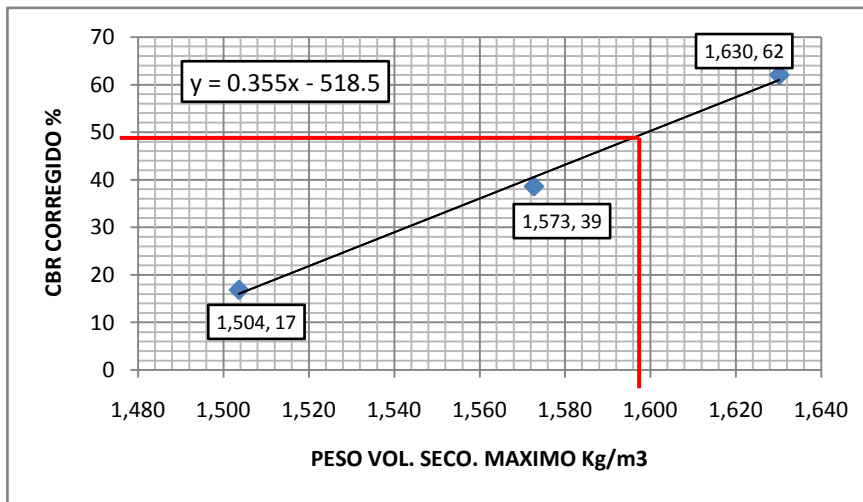


GRAFICO	
PESO VOL	CBR 0.2 PULG
1,630	62
1,573	39
1,504	17

**CBR AL 95% T180 = 1597.9 Kg/m3= 51% (DISEÑO)**

**Tabla 3. 38 Resultados de C B R para bloque de concreto triturado**

<b>VALOR SOPORTANTE RELATIVO (C. B. R.)</b>	
<b>ASTM D-1883-05</b>	
<b>TEMA :</b> ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO	
<b>MATERIAL :</b> BLOQUE DE CONCRETO TRITURADO	
<b>CLASIFICACIÓN :</b> SW = A-1	<b>FECHA :</b> 15/10/2012

<b>ENSAYO PRELIMINAR</b>	
<b>PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)</b>	
HUMEDAD OPTIMA %	15.10
PESO VOL. SECO MAXIMO. Kg/m <sup>3</sup>	1,611

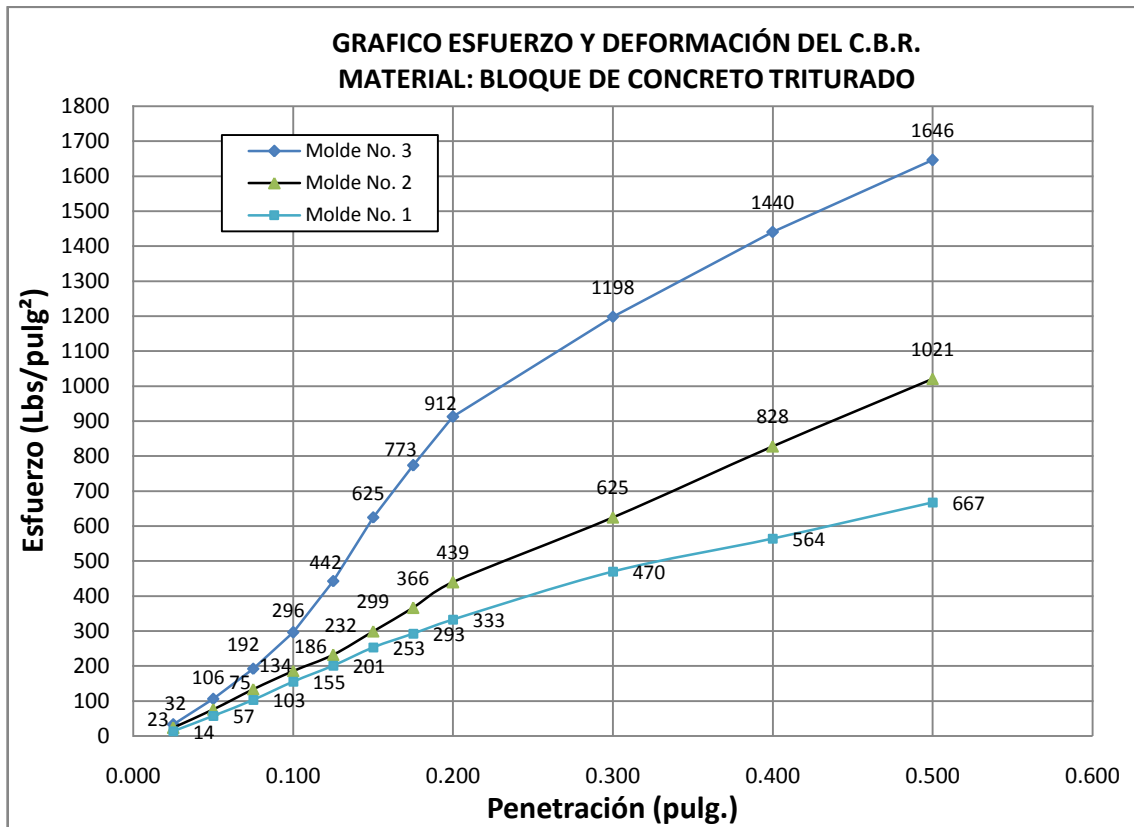
<b>GOLPES POR CAPA</b>	<b>56</b>	<b>25</b>	<b>10</b>
<b>MOLDE No.</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
PESO DE SUELO (gr)	5,000	5,000	5,000
AGUA AGREGADA (gr)	566.0	566.0	566.0
PESO SUELO HÚMEDO - MOLDE (gr)	9,979	9,922	9,701
PESO MOLDE (gr)	6,101	6,316	6,171
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	3,878	3,606	3,530
CAPACIDAD MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2,123	2,123	2,123
CONTENIDO DE AGUA (gr)	15.0	14.8	15.1
PESO VOLUMÉTRICO HÚMEDO (kg/m <sup>3</sup> )	1,827	1,699	1,663
PESO VOLUMÉTRICO SECO (kg/m <sup>3</sup> )	1,588	1,480	1,445
PESO MUESTRA ANTES DE PENETRACIÓN (gr)	10,165	10,130	9,940
SATURADA – MOLDE DESPUÉS PENETRACIÓN (gr)	10,145	10,115	9,915
PESO MUESTRA SATURADA DESPUÉS PENETRACIÓN (gr)	4,044	3,799	3,744
PESO SECO CALCULADO (gr)	3,371	3,142	3,067
PESO VOLUMÉTRICO HÚMEDO (SATURADO) (kg/m <sup>3</sup> )	1,914	1,797	1,775
PESO VOLUMÉTRICO SECO (SATURADO) (kg/m <sup>3</sup> )	1,617	1,508	1,465

<b>Humedades de Saturación (gr)</b>		
<b>Molde No. 3</b>	<b>Molde No. 2</b>	<b>Molde No. 1</b>
733.0	756.0	641.0
649.8	662.5	561.5
196.5	174.5	185.5
18.4	19.2	21.1

<b>Humedades</b>			
<b>Molde No.</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
PESO SUELO HÚMEDO – TARA (gr)	565.1	652.5	627.3
PESO SUELO SECO – TARA (gr)	515.5	593.8	568.0
TARA (gr)	185.5	196.5	175.5
CONTENIDO DE AGUA %	15.03	14.77	15.11

<b>ABUNDAMIENTO (CBR BLOQUE DE CONCRETO TRITURADO)</b>			
FECHA	MOLDE No. 3	MOLDE No. 2	MOLDE No. 1
	Sobrecarga 10 lbs	Sobrecarga 10lbs	Sobrecarga 10 Lbs.
	Lectura (mm)	Lectura (mm)	Lectura (mm)
22/10/2012	0.00	0.00	0.00
23/10/2012	0.11	0.07	0.05
24/10/2012	0.14	0.09	0.07
25/10/2012	0.17	0.12	0.09
26/10/2012	0.18	0.14	0.12
<b>% Abundamiento</b>	<b>0.15</b>	<b>0.12</b>	<b>0.10</b>

PENETRACION (CBR BLOQUE DE CONCRETO TRITURADO)						
Penetración en Pulgadas	MOLDE No. 3 Sobrecarga 10 lbs		MOLDE No. 2 Sobrecarga 10lbs		MOLDE No. 1 Sobrecarga 10 Lbs.	
	Lect.	Lb/Pulg.2	Lect.	Lb/Pulg.2	Lect.	Lb/Pulg.2
0.025	11	32	8	23	5	14
0.050	35	106	25	75	19	57
0.075	63	192	44	134	34	103
0.100	97	296	61	186	51	155
0.125	145	442	76	232	66	201
0.150	205	625	98	299	83	253
0.175	254	773	120	366	96	293
0.200	300	912	144	439	109	333
0.300	395	1198	205	625	154	470
0.400	476	1440	272	828	185	564
0.500	545	1646	336	1021	219	667



VALORES DE CBR PARA EL BLOQUE DE CONCRETO TRITURADO									
Penetración en Pulgadas	MOLDE No. 3			MOLDE No. 2			MOLDE No. 1		
	Sobrecarga 10 Lbs.			Sobrecarga 10 Lbs			Sobrecarga 10 Lbs		
	Lect.	Lb/Pulg.2	CBR	Lect.	Lb/Pulg.2	CBR	Lect.	Lb/Pulg.2	CBR
0.100	97	296	30	61	186	19	51	155	16
0.200	300	912	61	144	439	29	109	333	22

**GRAFICO CBR DE DISEÑO**

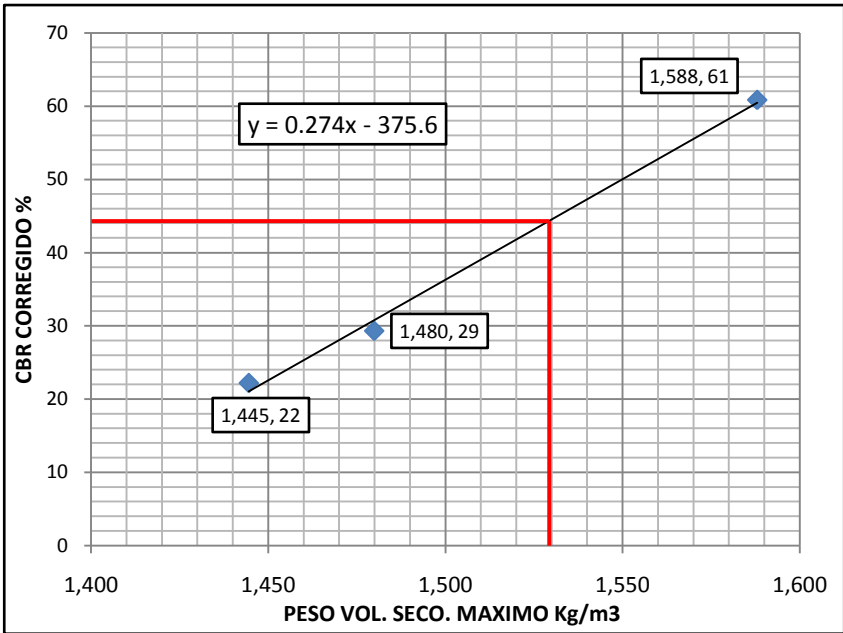


GRAFICO	
PESO VOL	CBR 0.2 PULG
1,784	61
1,745	29
1,697	22

**CBR AL 95% T180 = 1529.98 Kg/m3= 44% (DISENO)**

**Tabla 3. 39 Resultados de C B R para ladrillo de barro triturado**

<b>VALOR SOPORTANTE RELATIVO (C. B. R.)</b>	
<b>ASTM D-1883-05</b>	
<b>TEMA :</b> ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO	
<b>MATERIAL :</b> LADRILLO DE BARRO TRITURADO	
<b>CLASIFICACIÓN :</b> SW = A-1	<b>FECHA :</b> 15/10/2012

<b>ENSAYO PRELIMINAR</b>	
<b>PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)</b>	
HUMEDAD OPTIMA %	14.00
PESO VOL. SECO MAXIMO. Kg/m <sup>3</sup>	1,404

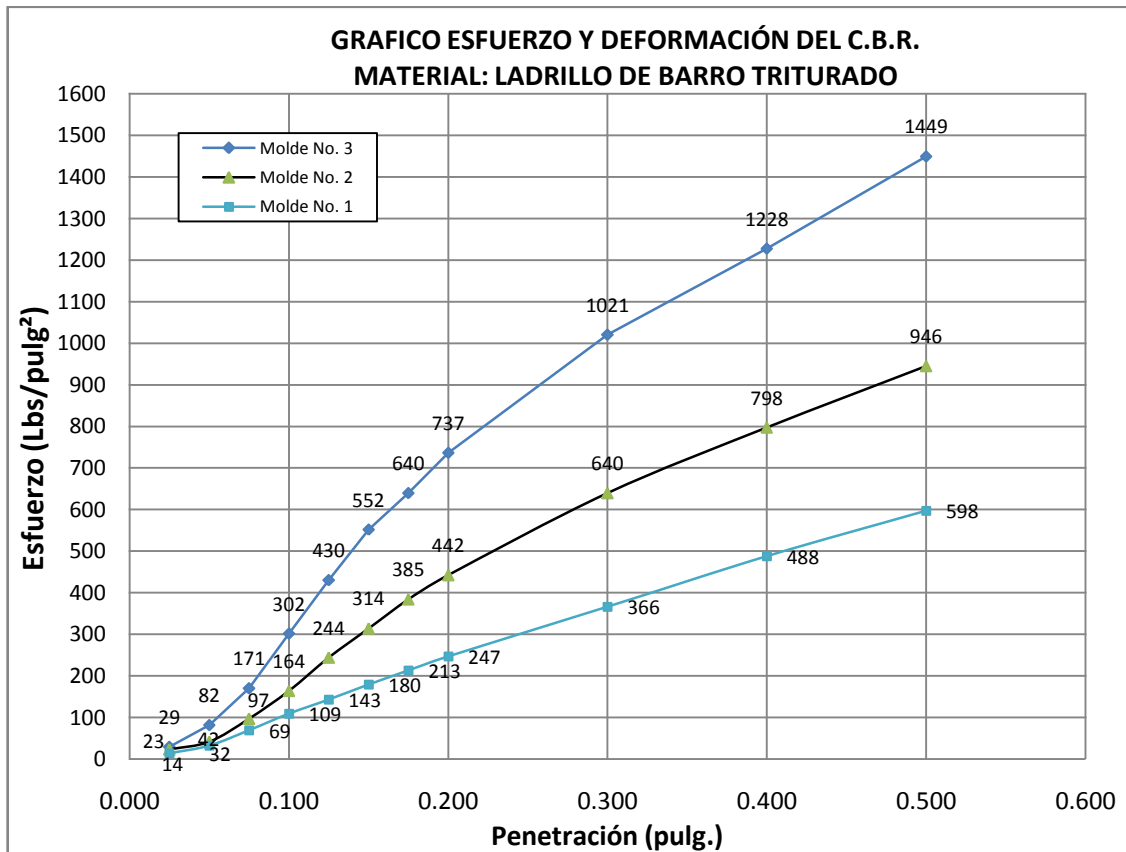
<b>GOLPES POR CAPA</b>	<b>56</b>	<b>25</b>	<b>10</b>
<b>MOLDE No.</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
PESO DE SUELO (gr)	5,000	5,000	5,000
AGUA AGREGADA (gr)	572.0	572.0	572.0
PESO SUELO HÚMEDO - MOLDE (gr)	9,525	9,565	9,265
PESO MOLDE (gr)	6,101	6,316	6,171
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	3,424	3,249	3,094
CAPACIDAD MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2,123	2,123	2,123
CONTENIDO DE AGUA (gr)	14.0	14.2	14.2
PESO VOLUMÉTRICO HÚMEDO (kg/m <sup>3</sup> )	1,613	1,530	1,457
PESO VOLUMÉTRICO SECO (kg/m <sup>3</sup> )	1,414	1,340	1,276
PESO MUESTRA ANTES DE PENETRACIÓN (gr)	9,960	10,055	9,810
SATURADA – MOLDE DESPUÉS PENETRACIÓN (gr)	9,765	10,025	9,925
PESO MUESTRA SATURADA DESPUÉS PENETRACIÓN (gr)	3,664	3,709	3,754
PESO SECO CALCULADO (gr)	3,003	2,844	2,710
PESO VOLUMÉTRICO HÚMEDO (SATURADO) (kg/m <sup>3</sup> )	1,818	1,761	1,714
PESO VOLUMÉTRICO SECO (SATURADO) (kg/m <sup>3</sup> )	1,410	1,354	1,296

<b>Humedades de Saturación (gr)</b>		
<b>Molde No. 3</b>	<b>Molde No. 2</b>	<b>Molde No. 1</b>
565.8	520.7	593.5
482.9	446.0	491.5
196.5	197.5	175.5
28.9	30.1	32.3

<b>Molde No.</b>	<b>Humedades</b>		
	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
PESO SUELO HÚMEDO – TARA (gr)	607.0	526.5	559.0
PESO SUELO SECO – TARA (gr)	556.5	482.6	512.6
TARA (gr)	196.5	174.5	185.5
CONTENIDO DE AGUA %	14.03	14.25	14.19

<b>ABUNDAMIENTO (CBR LADRILLO DE BARRO TRITURADO)</b>			
<b>FECHA</b>	<b>MOLDE No. 3</b>	<b>MOLDE No. 2</b>	<b>MOLDE No. 1</b>
	<b>Sobrecarga 10 lbs</b>	<b>Sobrecarga 10lbs</b>	<b>Sobrecarga 10 Lbs.</b>
	<b>Lectura (mm)</b>	<b>Lectura (mm)</b>	<b>Lectura (mm)</b>
22/10/2012	0.00	0.00	0.04
23/10/2012	0.18	0.09	0.06
24/10/2012	0.22	0.13	0.08
25/10/2012	0.25	0.16	0.11
26/10/2012	0.28	0.19	0.14
<b>% Abundamiento</b>	<b>0.24</b>	<b>0.16</b>	<b>0.09</b>

PENETRACION (CBR LADRILLO DE BARRO TRITURADO)						
Penetración en Pulgadas	MOLDE No. 3 Sobrecarga 10 lbs		MOLDE No. 2 Sobrecarga 10lbs		MOLDE No. 1 Sobrecarga 10 Lbs.	
	Lect.	Lb/Pulg.2	Lect.	Lb/Pulg.2	Lect.	Lb/Pulg.2
0.025	10	29	8	23	5	14
0.050	27	82	14	42	11	32
0.075	56	171	32	97	23	69
0.100	99	302	54	164	36	109
0.125	141	430	80	244	47	143
0.150	181	552	103	314	59	180
0.175	210	640	126	385	70	213
0.200	242	737	145	442	81	247
0.300	336	1021	210	640	120	366
0.400	405	1228	262	798	160	488
0.500	479	1449	311	946	196	598



VALORES DE CBR PARA EL LADRILLO DE BARRO TRITURADO									
Penetración en Pulgadas	MOLDE No. 3			MOLDE No. 2			MOLDE No. 1		
	Sobrecarga 10 Lbs.			Sobrecarga 10 Lbs			Sobrecarga 10 Lbs		
	Lect.	Lb/Pulg.2	CBR	Lect.	Lb/Pulg.2	CBR	Lect.	Lb/Pulg.2	CBR
0.100	99	302	30	54	164	16	36	109	11
0.200	242	737	49	145	442	29	81	247	16

**GRAFICO CBR DE DISEÑO**

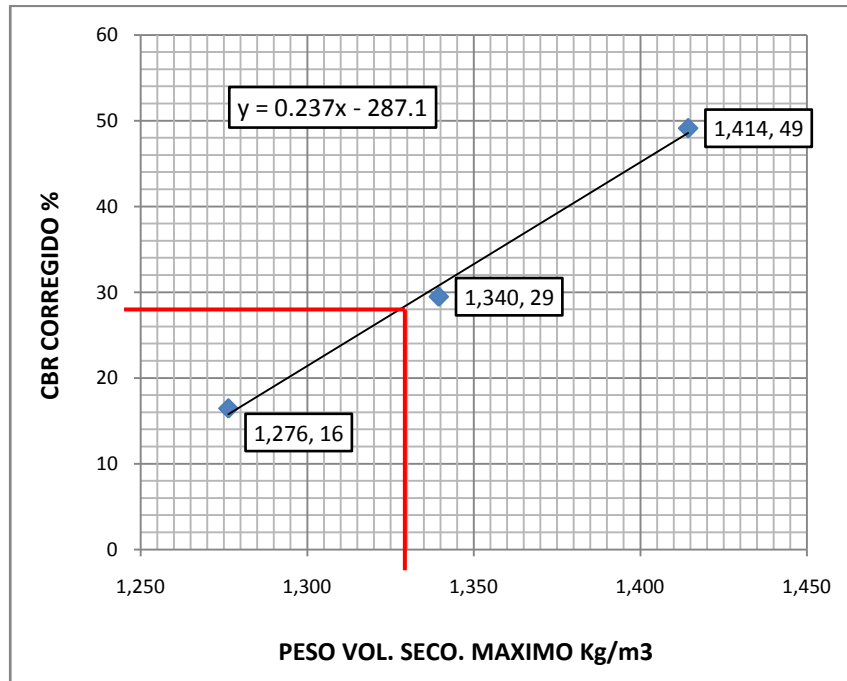


GRAFICO	
PESO VOL	CBR 0.2 PULG
1,414	49
1,340	29
1,276	16

**CBR AL 95% T180 = 1333.8 Kg/m3= 29 % (DISENO)**

### 3.8. PRUEBA PROCTOR MODIFICADO CON CEMENTO

#### PRUEBA PROCTOR MODIFICADA (AASHTO T-180) NORMA GENERAL DE DOSIFICACIÓN DE SUELO-CEMENTO (PCA)

La determinación de la cantidad adecuada de cemento se fundamenta en el análisis del comportamiento de las probetas de ensayo con diferentes cantidades de cemento. En general, son ensayadas tres cantidades, diferenciando la cantidad mediante dos puntos porcentuales.

La mejor manera de fijar las cantidades de cemento para los ensayos es la comparación del suelo en estudio con otros ya ensayados, llevándose a consideración la granulometría, los índices de consistencia etc...

Para suelos con los cuales no se tiene experiencia anterior, la **Tabla 3.36** de la Norma General de Dosificación de suelo-cemento, elaborada por la PCA, indica la cantidad a ser adoptada en el ensayo de compactación.

**Tabla 3. 40** Cantidad de cemento para el ensayo de compactación

Clasificación de suelo según la AASHTO	Cantidad de cemento en peso (%)
A1 – a	5
A1 – b	6
A2	7
A3	9
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Fuente: Norma, "Dosificación de mezclas de suelo-cemento" propuesta por la "Portland Cement Association (PCA)" – año: 2002.

Previo a la clasificación de los materiales en estudio (A1–a), realizada en base a resultados obtenidos en la prueba de granulometría se puede determinar en esta tabla las cantidades de cemento para los ensayos la cual es **5% +/- 2%**.



### ✓ PROCEDIMIENTO, MATERIALES Y EQUIPO

El método de ensayo de compactación del suelo-cemento es análogo al método de ensayo de compactación de suelos. En este caso, para la preparación de la muestra, se sigue el mismo proceso del ensayo de compactación de la AASHTO (T-180), con la adición que se agrega el porcentaje de cemento en función del peso de la muestra de suelo a ensayar.

### FOTOGRAFÍAS DEL PROCEDIMIENTO

**Fotografía 3.** *7 Procedimiento del ensayo de compactación con cemento*



*Pesaje de muestras de material para ensayo*



*Pesaje de cemento*



*Mezclado de agua cemento y material*



*Ejecución del ensayo de compactación*

✓ **RESULTADOS**

**Tabla 3. 41 Prueba proctor modificada del material selecto con 3% de cemento**

RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD									
AASHTO T-180									
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO								
<b>Material:</b>	Material-Selecto								
<b>Fecha:</b>	13/08/2012								
<b>Porcentaje de cemento:</b>	3 %								
DENSIDAD					HUMEDAD				
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4
% Agua de Proyecto	12	14	16	18	No. de Charola	4	9	6	5
Agua de Proyecto, (cc)	141.7	199.4	257.1	314.8	Peso T + peso Suelo H., (g)	634.8	681	678.8	652.3
P.s. húmedo + molde, (g)	6,070.0	6,127.0	6,227.0	6,194.0	Peso T + peso Suelo Seco, (g)	588.3	627.8	614.5	589.5
Peso del Molde, (g)	4,238.0	4,238.0	4,238.0	4,238.0	Peso Tara, (g)	176.5	195.5	174.5	185.5
Peso de suelo húmedo, (g)	1,832.0	1,889.0	1,989.0	1,956.0	Peso agua, (g)	46.5	53.2	64.3	62.8
Volumen de molde, (cm³)	937.0	937.0	937.0	937.0	Peso Suelo Seco	411.8	432.3	440	404
P. Vol. Húmedo, (Kg/m³)	1,955.18	2,016.01	2,122.7	2,087.5	Contenido de agua, (%)	11.29	12.31	14.61	15.54
P. Vol. Seco, (Kg/m³)	1,756.80	1,795.10	1,852.08	1,806.67	Humedad Natural = 7.09%				
<b>PESO VOL. SECO MÁX:</b>	<b>1855</b>	<b>Kg/m³</b>							
<b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b>	<b>14.25</b>	<b>%</b>							
Norma	<b>T-180</b>								
Método	<b>C</b>								
No. capas	<b>5</b>								
No. golpes	<b>25</b>								
Molde	<b>1</b>								
Volumen del molde, CC	<b>937.0</b>								
Peso del martillo, lbs	<b>10.0</b>								
Altura de caída	<b>18"</b>								
Peso de la muestra, gr	<b>3000</b>								

**Tabla 3. 42 Prueba proctor modificada del material selecto con 5% de cemento**

<b>RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD</b>									
<b>AASHTO T-180</b>									
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO								
<b>Material:</b>	Material-Selecto								
<b>Fecha:</b>	14/08/2012								
<b>Porcentaje de cemento:</b>	5 %								
<b>DENSIDAD</b>					<b>HUMEDAD</b>				
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4
% Agua de Proyecto	12	14	16	18	<b>No. de Charola</b>	5	1	9	6
Agua de Proyecto, (cc)	144.4	203.3	262.1	320.9	<b>Peso T + peso Suelo H., (g)</b>	653.3	649.5	625.1	647.2
P.s. húmedo + molde, (g)	6,114.0	6,162.0	6,241.0	6,204.0	<b>Peso T + peso Suelo Seco, (g)</b>	605.8	596.1	568.1	579.4
Peso del Molde, (g)	4,238.0	4,238.0	4,238.0	4,238.0	<b>Peso Tara, (g)</b>	185.5	176.5	195.5	174.5
Peso de suelo húmedo, (g)	1,876.0	1,924.0	2,003.0	1,966.0	<b>Peso agua, (g)</b>	47.5	53.4	57	67.8
Volumen de molde, (cm³)	937.0	937.0	937.0	937.0	<b>Peso Suelo Seco</b>	420.3	419.6	372.6	404.9
P. Vol. Húmedo, (Kg/m³)	2,002.13	2,053.36	2,137.7	2,098.2	<b>Contenido de agua, (%)</b>	11.30	12.73	15.30	16.74
P. Vol. Seco, (Kg/m³)	1,798.84	1,821.54	1,854.04	1,797.24	<b>Humedad Natural = 7.09%</b>				
<b>PESO VOL. SECO MÁX:</b>	<b>1856.5</b>	<b>Kg/m³</b>							
<b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b>	<b>14.85</b>	<b>%</b>							
Norma	<b>T-180</b>								
Método	<b>C</b>								
No. capas	<b>5</b>								
No. golpes	<b>25</b>								
Molde	<b>1</b>								
Volumen del molde, CC	<b>937.0</b>								
Peso del martillo, lbs	<b>10.0</b>								
Altura de caída	<b>18"</b>								
Peso de la muestra, gr	<b>3000</b>								

**Densidad-Humedad**

● Densidad-Humedad  
■ Relación Óptima

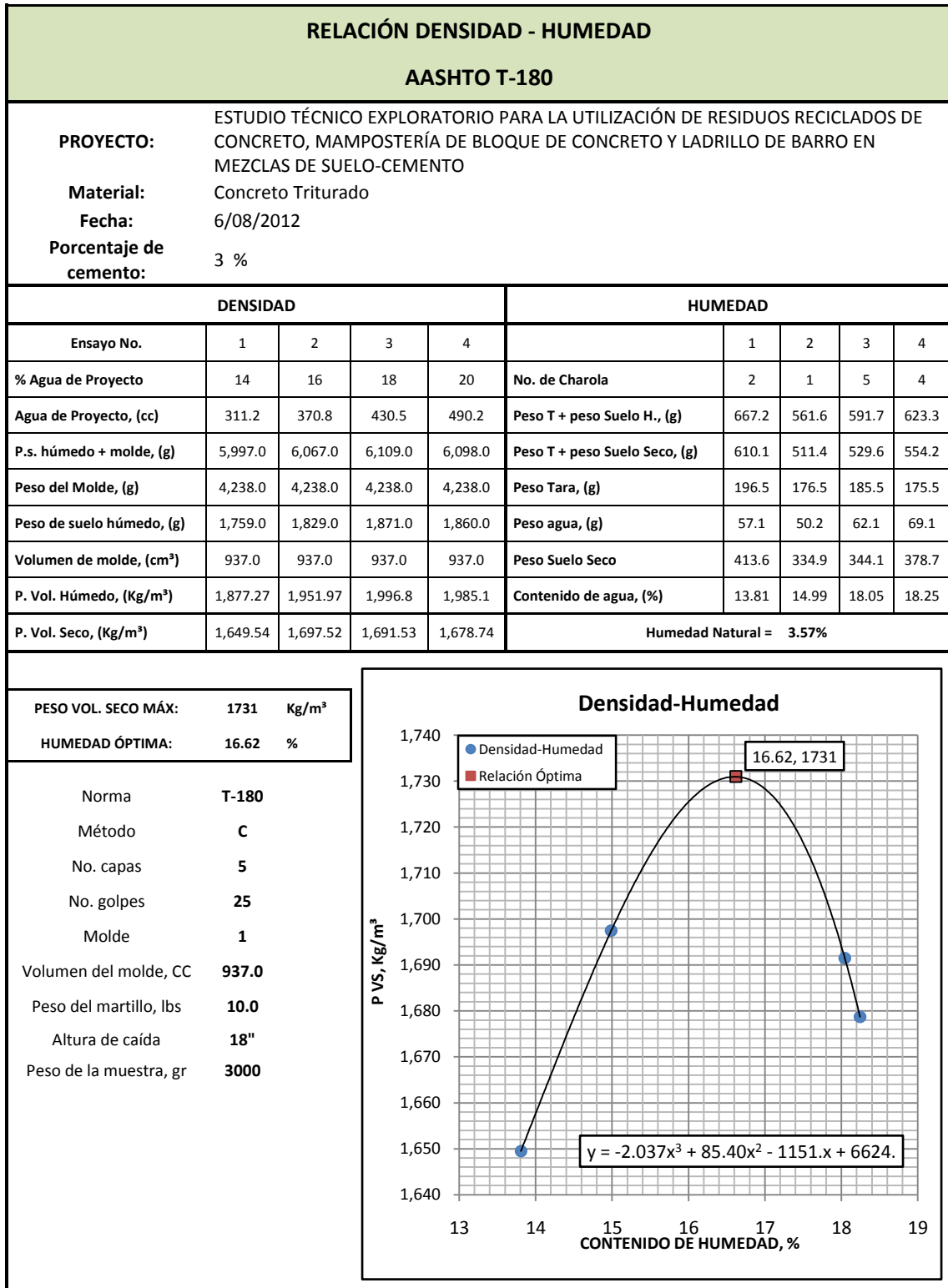
$y = -2.218x^3 + 86.43x^2 - 1098.x + 6381.$

14.85, 1856.5

**Tabla 3. 43 Prueba proctor modificada del material selecto con 7% de cemento**

<b>RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD</b>																											
<b>AASHTO T-180</b>																											
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO																										
<b>Material:</b>	Material-Selecto																										
<b>Fecha:</b>	17/08/2012																										
<b>Porcentaje de cemento:</b>	7 %																										
DENSIDAD					HUMEDAD																						
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4																		
% Agua de Proyecto	12	14	16	18	No. de Charola	3	4	2	6																		
Agua de Proyecto, (cc)	147.2	207.1	267.1	327.0	Peso T + peso Suelo H., (g)	624.2	683.5	669.8	630.8																		
P.s. húmedo + molde, (g)	6,118.0	6,171.0	6,215.0	6,176.0	Peso T + peso Suelo Seco, (g)	577.3	627.5	608.8	566.5																		
Peso del Molde, (g)	4,238.0	4,238.0	4,238.0	4,238.0	Peso Tara, (g)	177.5	175.5	196.5	174.5																		
Peso de suelo húmedo, (g)	1,880.0	1,933.0	1,977.0	1,938.0	Peso agua, (g)	46.9	56	61	64.3																		
Volumen de molde, (cm <sup>3</sup> )	937.0	937.0	937.0	937.0	Peso Suelo Seco	399.8	452	412.3	392																		
P. Vol. Húmedo, (Kg/m <sup>3</sup> )	2,006.40	2,062.97	2,109.9	2,068.3	Contenido de agua, (%)	11.73	12.39	14.80	16.40																		
P. Vol. Seco, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,795.75	1,835.55	1,837.99	1,776.85	<b>Humedad Natural = 7.09%</b>																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td><b>PESO VOL. SECO MÁX:</b></td> <td><b>1859.5</b></td> <td><b>Kg/m<sup>3</sup></b></td> </tr> <tr> <td><b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b></td> <td><b>13.5</b></td> <td><b>%</b></td> </tr> </table>										<b>PESO VOL. SECO MÁX:</b>	<b>1859.5</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b>	<b>13.5</b>	<b>%</b>												
<b>PESO VOL. SECO MÁX:</b>	<b>1859.5</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>																									
<b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b>	<b>13.5</b>	<b>%</b>																									
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Norma</td> <td style="width: 50%;">T-180</td> </tr> <tr> <td>Método</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>No. capas</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>No. golpes</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Molde</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Volumen del molde, CC</td> <td>937.0</td> </tr> <tr> <td>Peso del martillo, lbs</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td>Altura de caída</td> <td>18"</td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra, gr</td> <td>3000</td> </tr> </table>										Norma	T-180	Método	C	No. capas	5	No. golpes	25	Molde	1	Volumen del molde, CC	937.0	Peso del martillo, lbs	10.0	Altura de caída	18"	Peso de la muestra, gr	3000
Norma	T-180																										
Método	C																										
No. capas	5																										
No. golpes	25																										
Molde	1																										
Volumen del molde, CC	937.0																										
Peso del martillo, lbs	10.0																										
Altura de caída	18"																										
Peso de la muestra, gr	3000																										

**Tabla 3. 44 Prueba proctor modificada del concreto triturado con 3% de cemento**



**Tabla 3. 45 Prueba proctor modificada del concreto triturado con 5% de cemento**

RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD																											
AASHTO T-180																											
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO																										
<b>Material:</b>	Concreto Triturado																										
<b>Fecha:</b>	7/08/2012																										
<b>Porcentaje de cemento:</b>	5 %																										
DENSIDAD					HUMEDAD																						
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4																		
% Agua de Proyecto	14	16	18	20	No. de Charola	4	2	5	1																		
Agua de Proyecto, (cc)	317.2	378.0	438.9	499.7	Peso T + peso Suelo H., (g)	593.2	566.9	591.9	573.7																		
P.s. húmedo + molde, (g)	5,960.0	6,080.0	6,123.0	6,155.0	Peso T + peso Suelo Seco, (g)	540.4	517.1	533.6	517.3																		
Peso del Molde, (g)	4,238.0	4,238.0	4,238.0	4,238.0	Peso Tara, (g)	175.5	196.5	185.5	176.5																		
Peso de suelo húmedo, (g)	1,722.0	1,842.0	1,885.0	1,917.0	Peso agua, (g)	52.8	49.8	58.3	56.4																		
Volumen de molde, (cm <sup>3</sup> )	937.0	937.0	937.0	937.0	Peso Suelo Seco	364.9	320.6	348.1	340.8																		
P. Vol. Húmedo, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,837.78	1,965.85	2,011.7	2,045.9	Contenido de agua, (%)	14.47	15.53	16.75	16.55																		
P. Vol. Seco, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,605.47	1,701.54	1,723.15	1,755.39	Humedad Natural = 3.57%																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">PESO VOL. SECO MÁX:</td> <td style="width: 15%;">1770</td> <td style="width: 15%;">Kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD ÓPTIMA:</td> <td>16.27</td> <td>%</td> </tr> </table>										PESO VOL. SECO MÁX:	1770	Kg/m <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA:	16.27	%												
PESO VOL. SECO MÁX:	1770	Kg/m <sup>3</sup>																									
HUMEDAD ÓPTIMA:	16.27	%																									
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Norma</td> <td style="width: 70%;">T-180</td> </tr> <tr> <td>Método</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>No. capas</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>No. golpes</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Molde</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Volumen del molde, CC</td> <td>937.0</td> </tr> <tr> <td>Peso del martillo, lbs</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td>Altura de caída</td> <td>18"</td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra, gr</td> <td>3000</td> </tr> </table>										Norma	T-180	Método	C	No. capas	5	No. golpes	25	Molde	1	Volumen del molde, CC	937.0	Peso del martillo, lbs	10.0	Altura de caída	18"	Peso de la muestra, gr	3000
Norma	T-180																										
Método	C																										
No. capas	5																										
No. golpes	25																										
Molde	1																										
Volumen del molde, CC	937.0																										
Peso del martillo, lbs	10.0																										
Altura de caída	18"																										
Peso de la muestra, gr	3000																										

**Tabla 3. 46 Prueba proctor modificada del concreto triturado con 7% de cemento**

RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD									
AASHTO T-180									
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO								
<b>Material:</b>	Concreto Triturado								
<b>Fecha:</b>	8/08/2012								
<b>Porcentaje de cemento:</b>	7 %								
DENSIDAD					HUMEDAD				
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4
% Agua de Proyecto	16	18	19	20	No. de Charola	6	4	1	5
Agua de Proyecto, (cc)	382.1	444.1	475.0	506.0	Peso T + peso Suelo H., (g)	653.4	679	666.3	730.9
P.s. húmedo + molde, (g)	6,066.0	6,176.0	6,144.0	6,165.0	Peso T + peso Suelo Seco, (g)	590.9	611.2	595.2	652.2
Peso del Molde, (g)	4,238.0	4,238.0	4,238.0	4,238.0	Peso Tara, (g)	174.5	175.5	176.5	185.5
Peso de suelo húmedo, (g)	1,828.0	1,938.0	1,906.0	1,927.0	Peso agua, (g)	62.5	67.8	71.1	78.7
Volumen de molde, (cm³)	937.0	937.0	937.0	937.0	Peso Suelo Seco	416.4	435.7	418.7	466.7
P. Vol. Húmedo, (Kg/m³)	1,950.91	2,068.30	2,034.2	2,056.6	Contenido de agua, (%)	15.01	15.56	16.98	16.86
P. Vol. Seco, (Kg/m³)	1,696.30	1,789.79	1,738.87	1,759.81	Humedad Natural = 3.66%				
<b>PESO VOL. SECO MÁX:</b> 1820 Kg/m³ <b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b> 16.1 %									
Norma	T-180								
Método	C								
No. capas	5								
No. golpes	25								
Molde	1								
Volumen del molde, CC	937.0								
Peso del martillo, lbs	10.0								
Altura de caída	18"								
Peso de la muestra, gr	3000								

**Tabla 3. 47 Prueba proctor modificada del bloque de concreto triturado con 3% de cemento**

RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD									
AASHTO T-180									
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO								
<b>Material:</b>	Bloque de Concreto Triturado								
<b>Fecha:</b>	9/08/2012								
<b>Porcentaje de cemento:</b>	3 %								
DENSIDAD					HUMEDAD				
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4
% Agua de Proyecto	15	16	18	20	No. de Charola	2	3	6	5
Agua de Proyecto, (cc)	357.0	387.0	446.9	506.9	Peso T + peso Suelo H., (g)	567.6	660.9	748.4	750.4
P.s. húmedo + molde, (g)	5,946.0	5,961.0	5,997.0	6,067.0	Peso T + peso Suelo Seco, (g)	519.2	596.1	662	667.3
Peso del Molde, (g)	4,238.0	4,238.0	4,238.0	4,238.0	Peso Tara, (g)	196.5	177.5	174.5	185.5
Peso de suelo húmedo, (g)	1,708.0	1,723.0	1,759.0	1,829.0	Peso agua, (g)	48.4	64.8	86.4	83.1
Volumen de molde, (cm³)	937.0	937.0	937.0	937.0	Peso Suelo Seco	322.7	418.6	487.5	481.8
P. Vol. Húmedo, (Kg/m³)	1,822.84	1,838.85	1,877.3	1,952.0	Contenido de agua, (%)	15.00	15.48	17.72	17.25
P. Vol. Seco, (Kg/m³)	1,585.10	1,592.35	1,594.65	1,664.83	Humedad Natural = 3.09%				
<b>PESO VOL. SECO MÁX: 1677 Kg/m³</b>									
<b>HUMEDAD ÓPTIMA: 16.88 %</b>									
Norma	<b>T-180</b>								
Método	<b>C</b>								
No. capas	<b>5</b>								
No. golpes	<b>25</b>								
Molde	<b>1</b>								
Volumen del molde, CC	<b>937.0</b>								
Peso del martillo, lbs	<b>10.0</b>								
Altura de caída	<b>18"</b>								
Peso de la muestra, gr	<b>3000</b>								

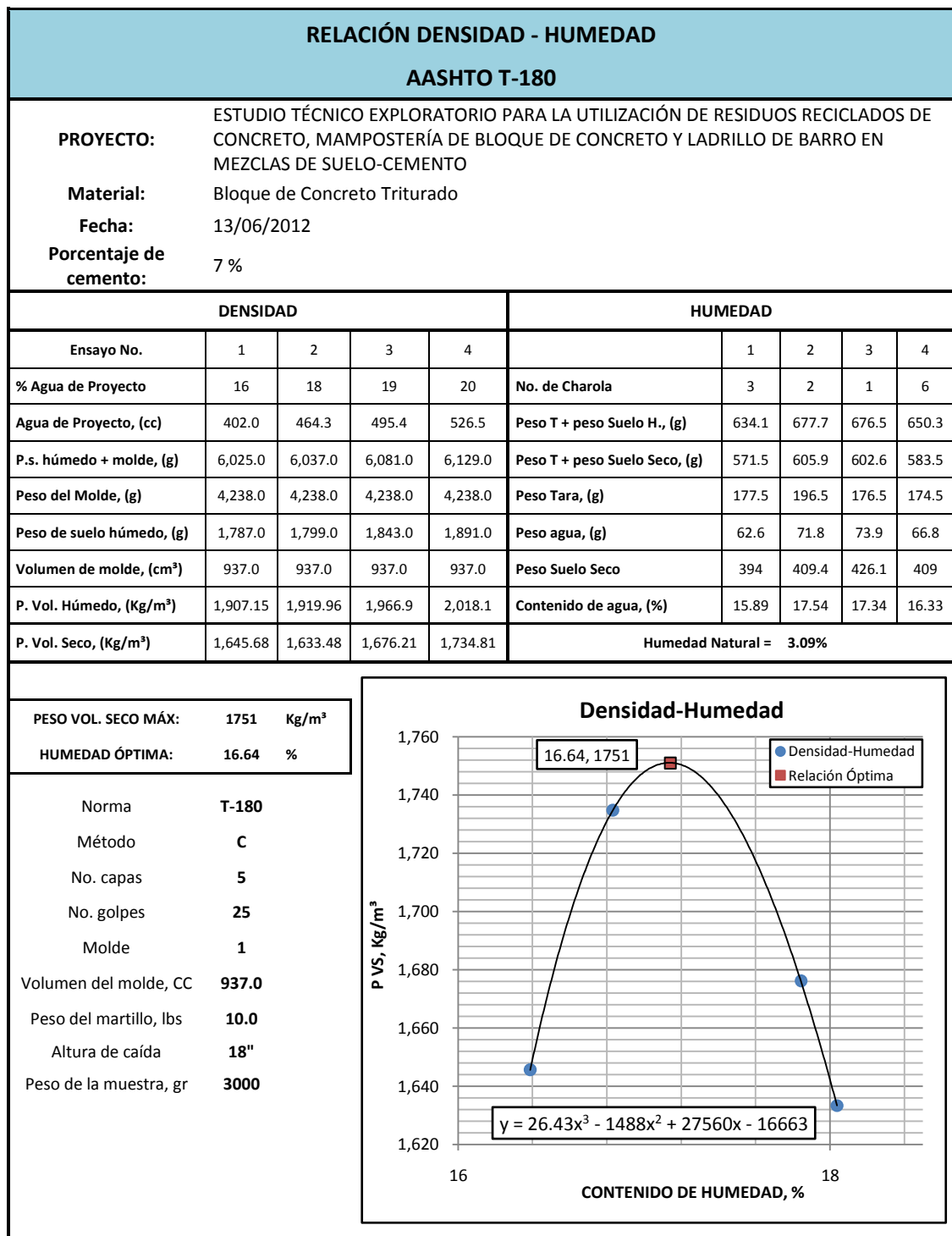
<b>PESO VOL. SECO MÁX:</b>	<b>1677</b>	<b>Kg/m³</b>
<b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b>	<b>16.88</b>	<b>%</b>



**Tabla 3. 48 Prueba proctor modificada del bloque de concreto triturado con 5% de cemento**

RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD																											
AASHTO T-180																											
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO																										
<b>Material:</b>	Bloque de Concreto Triturado																										
<b>Fecha:</b>	10/08/2012																										
<b>Porcentaje de cemento:</b>	5 %																										
DENSIDAD					HUMEDAD																						
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4																		
% Agua de Proyecto	14	16	18	19	No. de Charola	2	6	3	5																		
Agua de Proyecto, (cc)	333.4	394.5	455.6	486.1	Peso T + peso Suelo H., (g)	762.7	683.3	692.2	691.3																		
P.s. húmedo + molde, (g)	5,950.0	6,018.0	6,060.0	6,027.0	Peso T + peso Suelo Seco, (g)	693.5	616.1	617.3	616.4																		
Peso del Molde, (g)	4,238.0	4,238.0	4,238.0	4,238.0	Peso Tara, (g)	196.5	174.5	177.5	185.5																		
Peso de suelo húmedo, (g)	1,712.0	1,780.0	1,822.0	1,789.0	Peso agua, (g)	69.2	67.2	74.9	74.9																		
Volumen de molde, (cm <sup>3</sup> )	937.0	937.0	937.0	937.0	Peso Suelo Seco	497	441.6	439.8	430.9																		
P. Vol. Húmedo, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,827.11	1,899.68	1,944.5	1,909.3	Contenido de agua, (%)	13.92	15.22	17.03	17.38																		
P. Vol. Seco, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,603.80	1,648.78	1,661.54	1,626.55	Humedad Natural = 3.09%																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">PESO VOL. SECO MÁX:</td> <td style="width: 15%;">1685</td> <td style="width: 15%;">Kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD ÓPTIMA:</td> <td>16.33</td> <td>%</td> </tr> </table>										PESO VOL. SECO MÁX:	1685	Kg/m <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA:	16.33	%												
PESO VOL. SECO MÁX:	1685	Kg/m <sup>3</sup>																									
HUMEDAD ÓPTIMA:	16.33	%																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Norma</td> <td style="width: 70%;">T-180</td> </tr> <tr> <td>Método</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>No. capas</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>No. golpes</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Molde</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Volumen del molde, CC</td> <td>937.0</td> </tr> <tr> <td>Peso del martillo, lbs</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td>Altura de caída</td> <td>18"</td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra, gr</td> <td>3000</td> </tr> </table>										Norma	T-180	Método	C	No. capas	5	No. golpes	25	Molde	1	Volumen del molde, CC	937.0	Peso del martillo, lbs	10.0	Altura de caída	18"	Peso de la muestra, gr	3000
Norma	T-180																										
Método	C																										
No. capas	5																										
No. golpes	25																										
Molde	1																										
Volumen del molde, CC	937.0																										
Peso del martillo, lbs	10.0																										
Altura de caída	18"																										
Peso de la muestra, gr	3000																										
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> </div> </div>																											

**Tabla 3. 49 Prueba proctor modificada del bloque de concreto triturado con 7% de cemento**



**Tabla 3. 50 Prueba proctor modificada del ladrillo de barro triturado con 3% de cemento**

<b>RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD</b>																											
<b>AASHTO T-180</b>																											
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO																										
<b>Material:</b>	Ladrillo de Barro Triturado																										
<b>Fecha:</b>	18/08/2012																										
<b>Porcentaje de cemento:</b>	3 %																										
<b>DENSIDAD</b>					<b>HUMEDAD</b>																						
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4																		
% Agua de Proyecto	15	16	18	20	No. de Charola	1	2	3	4																		
Agua de Proyecto, (cc)	385.3	415.5	476.0	536.4	Peso T + peso Suelo H., (g)	520.9	662.6	627.8	572.2																		
P.s. húmedo + molde, (g)	5,701.0	5,719.0	5,730.0	5,740.0	Peso T + peso Suelo Seco, (g)	475.9	600.5	559.2	508.1																		
Peso del Molde, (g)	4,238.0	4,238.0	4,238.0	4,238.0	Peso Tara, (g)	176.5	196.5	177.5	175.5																		
Peso de suelo húmedo, (g)	1,463.0	1,481.0	1,492.0	1,502.0	Peso agua, (g)	45	62.1	68.6	64.1																		
Volumen de molde, (cm <sup>3</sup> )	937.0	937.0	937.0	937.0	Peso Suelo Seco	299.4	404	381.7	332.6																		
P. Vol. Húmedo, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,561.37	1,580.58	1,592.3	1,603.0	Contenido de agua, (%)	15.03	15.37	17.97	19.27																		
P. Vol. Seco, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,357.35	1,369.99	1,349.74	1,343.97	<b>Humedad Natural = 2.25%</b>																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td><b>PESO VOL. SECO MÁX:</b></td> <td><b>1379.3</b></td> <td><b>Kg/m<sup>3</sup></b></td> </tr> <tr> <td><b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b></td> <td><b>16.07</b></td> <td><b>%</b></td> </tr> </table>										<b>PESO VOL. SECO MÁX:</b>	<b>1379.3</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b>	<b>16.07</b>	<b>%</b>												
<b>PESO VOL. SECO MÁX:</b>	<b>1379.3</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>																									
<b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b>	<b>16.07</b>	<b>%</b>																									
<table style="width: 100%;"> <tr> <td>Norma</td> <td><b>T-180</b></td> </tr> <tr> <td>Método</td> <td><b>A</b></td> </tr> <tr> <td>No. capas</td> <td><b>5</b></td> </tr> <tr> <td>No. golpes</td> <td><b>25</b></td> </tr> <tr> <td>Molde</td> <td><b>1</b></td> </tr> <tr> <td>Volumen del molde, CC</td> <td><b>937.0</b></td> </tr> <tr> <td>Peso del martillo, lbs</td> <td><b>10.0</b></td> </tr> <tr> <td>Altura de caída</td> <td><b>18"</b></td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra, gr</td> <td><b>3000</b></td> </tr> </table>										Norma	<b>T-180</b>	Método	<b>A</b>	No. capas	<b>5</b>	No. golpes	<b>25</b>	Molde	<b>1</b>	Volumen del molde, CC	<b>937.0</b>	Peso del martillo, lbs	<b>10.0</b>	Altura de caída	<b>18"</b>	Peso de la muestra, gr	<b>3000</b>
Norma	<b>T-180</b>																										
Método	<b>A</b>																										
No. capas	<b>5</b>																										
No. golpes	<b>25</b>																										
Molde	<b>1</b>																										
Volumen del molde, CC	<b>937.0</b>																										
Peso del martillo, lbs	<b>10.0</b>																										
Altura de caída	<b>18"</b>																										
Peso de la muestra, gr	<b>3000</b>																										
					<div style="text-align: center;"> <b>Densidad-Humedad</b> </div>																						

**Tabla 3. 51 Prueba proctor modificada del ladrillo de barro triturado con 5% de cemento**

RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD									
AASHTO T-180									
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO								
<b>Material:</b>	Ladrillo de Barro Triturado								
<b>Fecha:</b>	22/08/2012								
<b>Porcentaje de cemento:</b>	5 %								
DENSIDAD					HUMEDAD				
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4
% Agua de Proyecto	15	16	18	20	No. de Charola	2	7	1	4
Agua de Proyecto, (cc)	392.8	423.6	485.2	546.8	Peso T + peso Suelo H., (g)	615.2	610.4	635.1	654.4
P.s. húmedo + molde, (g)	5,708.0	5,721.0	5,749.0	5,768.0	Peso T + peso Suelo Seco, (g)	560.6	555.2	566.1	573.7
Peso del Molde, (g)	4,238.0	4,238.0	4,238.0	4,238.0	Peso Tara, (g)	196.5	198.5	176.5	175.5
Peso de suelo húmedo, (g)	1,470.0	1,483.0	1,511.0	1,530.0	Peso agua, (g)	54.6	55.2	69	80.7
Volumen de molde, (cm <sup>3</sup> )	937.0	937.0	937.0	937.0	Peso Suelo Seco	364.1	356.7	389.6	398.2
P. Vol. Húmedo, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,568.84	1,582.71	1,612.6	1,632.9	Contenido de agua, (%)	15.00	15.48	17.71	20.27
P. Vol. Seco, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,364.25	1,370.61	1,369.97	1,357.71	Humedad Natural = 2.25%				
<b>PESO VOL. SECO MÁX:</b>	<b>1375</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>							
<b>HUMEDAD ÓPTIMA:</b>	<b>16.4</b>	<b>%</b>							
Norma	<b>T-180</b>								
Método	<b>A</b>								
No. capas	<b>5</b>								
No. golpes	<b>25</b>								
Molde	<b>1</b>								
Volumen del molde, CC	<b>937.0</b>								
Peso del martillo, lbs	<b>10.0</b>								
Altura de caída	<b>18"</b>								
Peso de la muestra, gr	<b>3000</b>								

Densidad-Humedad	
Y-axis: P VS, Kg/m <sup>3</sup>	X-axis: CONTENIDO DE HUMEDAD, %
Legend: ● Densidad-Humedad, ■ Relación Óptima	Equation: $y = 0.767x^3 - 41.98x^2 + 757.8x - 3147.$
Peak: 16.4, 1375	

**Tabla 3. 52 Prueba proctor modificada del ladrillo de barro triturado con 7% de cemento**

RELACIÓN DENSIDAD - HUMEDAD																											
AASHTO T-180																											
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO																										
<b>Material:</b>	Ladrillo de Barro Triturado																										
<b>Fecha:</b>	23/08/2012																										
<b>Porcentaje de cemento:</b>	7 %																										
DENSIDAD					HUMEDAD																						
Ensayo No.	1	2	3	4		1	2	3	4																		
% Agua de Proyecto	14	16	18	20	No. de Charola	1	7	2	4																		
Agua de Proyecto, (cc)	368.9	431.7	494.4	557.2	Peso T + peso Suelo H., (g)	597.5	620.9	642.2	684.3																		
P.s. húmedo + molde, (g)	5,713.0	5,747.0	5,764.0	5,779.0	Peso T + peso Suelo Seco, (g)	546.2	564.9	574.3	599.7																		
Peso del Molde, (g)	4,238.0	4,238.0	4,238.0	4,238.0	Peso Tara, (g)	176.5	198.5	196.5	175.5																		
Peso de suelo húmedo, (g)	1,475.0	1,509.0	1,526.0	1,541.0	Peso agua, (g)	51.3	56	67.9	84.6																		
Volumen de molde, (cm <sup>3</sup> )	937.0	937.0	937.0	937.0	Peso Suelo Seco	369.7	366.4	377.8	424.2																		
P. Vol. Húmedo, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,574.17	1,610.46	1,628.6	1,644.6	Contenido de agua, (%)	13.88	15.28	17.97	19.94																		
P. Vol. Seco, (Kg/m <sup>3</sup> )	1,382.36	1,396.95	1,380.49	1,371.16	Humedad Natural = 2.25%																						
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>PESO VOL. SECO MÁX:</td> <td>1397.5</td> <td>Kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD ÓPTIMA:</td> <td>15.6</td> <td>%</td> </tr> </table>										PESO VOL. SECO MÁX:	1397.5	Kg/m <sup>3</sup>	HUMEDAD ÓPTIMA:	15.6	%												
PESO VOL. SECO MÁX:	1397.5	Kg/m <sup>3</sup>																									
HUMEDAD ÓPTIMA:	15.6	%																									
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Norma</td> <td>T-180</td> </tr> <tr> <td>Método</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>No. capas</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>No. golpes</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Molde</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Volumen del molde, CC</td> <td>937.0</td> </tr> <tr> <td>Peso del martillo, lbs</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td>Altura de caída</td> <td>18"</td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra, gr</td> <td>3000</td> </tr> </table>										Norma	T-180	Método	A	No. capas	5	No. golpes	25	Molde	1	Volumen del molde, CC	937.0	Peso del martillo, lbs	10.0	Altura de caída	18"	Peso de la muestra, gr	3000
Norma	T-180																										
Método	A																										
No. capas	5																										
No. golpes	25																										
Molde	1																										
Volumen del molde, CC	937.0																										
Peso del martillo, lbs	10.0																										
Altura de caída	18"																										
Peso de la muestra, gr	3000																										
<div style="text-align: center;"> <p><b>Densidad-Humedad</b></p> <p>● Densidad-Humedad ■ Relación Óptima</p> <p><math>y = 1,2613x^3 - 64,769x^2 + 1097,6x - 4746,2</math></p> <p>15.6, 1397.5</p> <p>PVS, Kg/m<sup>3</sup></p> <p>CONTENIDO DE HUMEDAD, %</p> </div>																											

### **3.9. MOLDEADO DE PROBETAS DE ENSAYO**

#### **MOLDEADO DE PROBETAS DE ENSAYO CILÍNDRICAS**

##### **(PCA, ASTM D-1632-00)**

El moldeado de probetas de ensayo es la compactación de una mezcla de suelo-cemento a humedad óptima obtenida del ensayo de compactación con cemento. Siendo la energía de compactación la misma del ensayo de compactación de los suelos (AASHTO T-180), las probetas de ensayo deben llegar al peso específico seco máximo aparente, posteriormente son sometidas a un ciclo de curado y finalmente son ensayadas a compresión.

##### **✓ MATERIALES, EQUIPO Y PROCEDIMIENTO**

El método de ensayo para el moldeado de probetas de suelo-cemento es análogo al método de ensayo de compactación de suelos. En este caso, para la preparación de la muestra, se sigue el mismo proceso del ensayo de compactación de la AASHTO (T-180), para la extracción y curado de las probetas se utiliza el siguiente equipo y herramientas adicionales:

- 1. Extractor de probeta compactada:** Está compuesto de pistón, prensa y armazón, necesarios para extraer la muestra compactada, sin dañarla, por extrusión.
- 2. Elementos varios:** papel periódico, bolsas de plástico.

### 3.9.1. CALCULO DE MATERIALES QUE COMPONEN LA MEZCLA DE SUELO-CEMENTO

A continuación se presenta un *Ejemplo* de los cálculos que se realizan para determinar la cantidad de materiales (cemento, suelo, y agua) que componen la mezcla de suelo-cemento para ejecutar el ensaño Moldeado de probetas:

#### a) Datos de ensayo

Peso específico seco máximo aparente =  $1855 \text{ Kg/m}^3$

Humedad óptima =  $14.25 \%$

Material Retenido en No.4 =  $38.33 \%$

Absorción Material Retenido en No.4 =  $8.94 \%$

Humedad de material pasa No.4 =  $6.93 \%$

Cantidad de cemento en porcentaje =  $3 \%$

#### b) Datos de equipos

*Martillo No. 1*

*Cilindro No. 6*

Volumen del cilindro =  $937.38 \text{ cm}^3$

Peso de cilindro + base =  $4238 \text{ g}$

#### c) Composición de la mezcla

Peso total de suelo =  $3000 \text{ g}$

##### ✓ Material retenido en No.4

Peso seco =  $(38.33 \times 3000) / 100 = 1149.9 \text{ g}$

Peso húmedo =  $1149.9 \times (1 + 0.0894) = 1252.7 \text{ g}$

##### ✓ Material que pasa No.4

Peso seco =  $3000 - 1149.9 = 1850.1 \text{ g}$

Peso húmedo =  $1850.1 \times (1 + 0.0693) = 1978.3 \text{ g}$

Cantidad de cemento porcentaje =  $3 \%$

Peso de cemento =  $(3 \times 3000) / 100 = 90 \text{ g}$

Peso total de la mezcla =  $3000 + 90 = 3090 \text{ g}$

✓ **Cantidad de agua**

Necesaria =  $(14.25 \times 3090) / 100 = 440.33 \text{ g}$

Tomada por suelo grueso =  $1252.7 - 1149.9 = 102.8 \text{ g}$

Tomada por suelo que pasa No.4 =  $1978.3 - 1850.1 = 128.2 \text{ g}$

Teórica a juntar =  $440.33 - 128.2 - 102.8 = 209.3 \text{ g}$

Pérdida por evaporación (0.5 %) =  $(0.5 \times 3090) / 100 = 15.45 \text{ g}$

A mezclar =  $209.3 + 15.45 = 224.75 \text{ g}$

*Con 1252.7 g de suelo grueso saturado y superficialmente seco, 1978.3 g de suelo que pasa maya No. 4 en humedad natural, 90 g de cemento y 224.75 g de agua, se obtiene la mezcla para el moldeado.*

*Durante el ensayo se pesa la probeta de ensayo húmeda juntamente con el cilindro de Moldeado y se retira una muestra para la determinación de la humedad; los dos datos obtenidos permiten verificar las condiciones de moldeado, como sigue:*

**d) Probeta de ensayo No. 6**

Cantidad de cemento en peso = 3 %

Peso de probeta de ensayo húmeda más el cilindro más base = 6226 g

Peso de probeta de ensayo húmeda =  $6226 - 4238 = 1988 \text{ g}$

Cantidad de humedad = 13.99% (determinado)

Peso de probeta de ensayo seca =  $1988 / (1 + 0.1399) = 1744.01 \text{ g}$

Peso específico seco aparente =  $1744.01 / 0.93738 = 1860.5 \text{ Kg/m}^3$



## FOTOGRAFÍAS DEL PROCEDIMIENTO

**Fotografía 3. 8** Procedimiento del moldeado de probetas de suelo-cemento



*Mezclado de agua cemento y material*



*Ejecución del ensayo de compactación*



*Pesaje de probetas mas molde de proctor*



*Extracción del espécimen de suelo-cemento*



*Espécimen de suelo-cemento, concreto triturado.*



*Espécimen de suelo-cemento en envoltura de papel periódico*



*Curado de especímenes de suelo-cemento, método utilizado en nuestro medio.*

✓ **RESULTADOS**

**Tabla 3. 53 Moldeado de probetas, material-selecto con 3% de cemento**

DATOS DEL ENSAYO		
Peso Volumétrico seco máx.	1855	Kg/m <sup>3</sup>
Humedad óptima =	14.25	%
Material Retenido en No.4 =	38.33	%
Absorción Retenido en No.4 =	8.94	%
Humedad de material pasa No.4 =	6.93	%

COMPOSICION DE LA MUESTRA								
Peso total de material			Material retenido en No.4				Material que pasa No.4	
3000 gr			Peso seco = 1149.9 gr				Peso seco = 1850.1 gr	
			Peso húmedo = 1252.7 gr				Peso húmedo = 1978.3 gr	
Contenido de cemento	Peso de cemento	Peso total de la muestra	CANTIDAD DE AGUA					
			Necesaria	Tomada por material grueso	Tomada por material que pasa No.4	Teórica a juntar	Pérdida evaporación (0.5 %)	A Mezclar
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
3	90.0	3090.0	440.33	102.8	128.2	209.3	15.45	224.8

VERIFICACION DE MOLDEADO DE PROBETAS														
Datos de equipos		Numero de Molde	Contenido de cemento en peso	Peso de probeta a húm. +Molde	Peso de probeta de ensayo húmeda	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						Peso de probeta de ensayo seca	Peso volumétrico húmedo	Peso volumétrico seco
Volumen de cilindro	Peso de Molde					Nº de charola	Peso material húmedo	Peso de material seco	Tara de charola	Peso de agua	Contenido de humedad			
(cm <sup>3</sup> )	(g)	(Nº)	(%)	(g)	(g)	(Nº)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )
947.87	3878	1	3	5842	1964	3	601.9	553.7	193.5	48.2	13.38	1732.21	2072.01	1827.47
947.87	3880	2	3	5893	2013	2	575.2	527.5	175.2	47.7	13.54	1772.77	2123.71	1870.27
947.87	3899	3	3	5914	2015	5	551.6	508.3	196.8	43.3	13.90	1769.30	2125.82	1866.60
947.87	3908	4	3	5881	1973	1	530.3	488.4	176.5	41.9	13.43	1739.34	2081.51	1835.00
947.87	3885	5	3	5903	2018	4	592.5	544.8	193.5	47.7	13.58	1776.75	2128.98	1874.47
937.38	4238	6	3	6226	1988	2	556.9	510.1	175.2	46.8	13.97	1744.06	2120.80	1860.57

**Tabla 3. 54 Moldeado de probetas, material-selecto con 5% de cemento**

DATOS DEL ENSAYO		
Peso Volumétrico seco máx.	1856.5	Kg/m <sup>3</sup>
Humedad optima =	14.85	%
Material Retenido en No.4 =	38.33	%
Absorción Retenido en No.4 =	8.94	%
Humedad de material pasa No.4 =	6.93	%

COMPOSICION DE LA MUESTRA								
Peso total de material			Material retenido en No.4			Material que pasa No.4		
3000 gr			Peso seco = 1149.9 gr Peso húmedo = 1252.7 gr			Peso seco = 1850.1 gr Peso húmedo = 1978.3 gr		
Contenido de cemento	Peso de cemento	Peso total de la muestra	CANTIDAD DE AGUA					
			Necesaria	Tomada por material grueso	Tomada por material que pasa No.4	Teórica a juntar	Pérdida evaporación (0.5 %)	A Mezclar
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
5	150.0	3150.0	467.78	102.8	128.2	236.8	15.75	252.5

VERIFICACION DE MOLDEADO DE PROBETAS														
Datos de equipos		Numero de Molde	Contenido de cemento en peso	Peso de probeta húm. Mat. +Molde	Peso de probeta de ensayo húmeda	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						Peso de probeta de ensayo seca	Peso volumétrico húmedo	Peso volumétrico seco
Volumen de cilindro	Peso de Molde					Nº de charola	Peso material húmedo	Peso de material seco	Tara de charola	Peso de agua	Contenido de humedad			
(cm <sup>3</sup> )	(g)	(Nº)	(%)	(g)	(g)	(Nº)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )
937	4238	6	5	6256	2018	4	550.0	503.8	175.5	46.2	14.07	1769.05	2152.81	1887.23
948	3880	2	5	5949	2069	11	572.5	525.0	193.5	47.5	14.33	1809.69	2182.79	1909.22
948	3878	1	5	5926	2048	1	544.8	498.9	176.5	45.9	14.24	1792.76	2160.63	1891.36
948	3885	5	5	5929	2044	5	537.7	494.0	185.5	43.7	14.17	1790.39	2156.41	1888.85
948	3899	3	5	5973	2074	10	510.1	470.5	196.0	39.6	14.43	1812.52	2188.06	1912.20
948	3908	4	5	5963	2055	2	589.3	541.0	196.5	48.3	14.02	1802.31	2168.02	1901.43

**Tabla 3. 55 Moldeado de probetas, material-selecto con 7% de cemento**

DATOS DEL ENSAYO		
Peso Volumétrico seco máx. =	1859	Kg/m <sup>3</sup>
Humedad optima =	13.5	%
Material Retenido en No.4 =	38.33	%
Absorción Retenido en No.4 =	8.94	%
Humedad de material pasa No.4 =	6.93	%

COMPOSICION DE LA MUESTRA								
Peso total de material			Material retenido en No.4			Material que pasa No.4		
3000 gr			Peso seco = 1149.9 gr			Peso seco = 1850.1 gr		
			Peso húmedo = 1252.7 gr			Peso húmedo = 1978.3 gr		
Contenido de cemento	Peso de cemento	Peso total de la muestra	CANTIDAD DE AGUA					
			Necesaria	Tomada por material grueso	Tomada por material que pasa No.4	Teórica a juntar	Pérdida evaporación (0.5 %)	A Mezclar
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
7	210.0	3210.0	433.35	102.8	128.2	202.3	16.05	218.4

VERIFICACION DE MOLDEADO DE PROBETAS														
Datos de equipos		Numero de Molde	Contenido de cemento en peso	Peso de probeta a húm. Mat. +Molde	Peso de probeta de ensayo o húmeda	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						Peso de probeta de ensayo seca	Peso volumétrico húmedo	Peso volumétrico seco
Volumen de cilindro	Peso de Molde					Nº de charola	Peso material húmedo	Peso de material seco	Tara de charola	Peso de agua	Contenido de humedad			
(cm <sup>3</sup> )	(g)	(Nº)	(%)	(g)	(g)	(Nº)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )
937	4238	6	7	6181	1943	1	683.5	626.4	176.5	57.1	12.69	1724.17	2072.80	1839.35
948	3878	1	7	5882	2004	10	647.8	596.2	196.0	51.6	12.89	1775.12	2114.21	1872.75
948	3880	2	7	5911	2031	11	583.1	539.0	193.5	44.1	12.76	1801.10	2142.70	1900.16
948	3899	3	7	5929	2030	4	609.1	560.6	175.5	48.5	12.59	1802.94	2141.64	1902.09
948	3885	5	7	5890	2005	1	577.6	534.8	196.5	42.8	12.65	1779.83	2115.27	1877.71
937	3908	4	7	5891	1983	10	620.8	572.5	195.5	48.3	12.81	1757.80	2115.47	1875.22

**Tabla 3. 56 Moldeado de probetas, concreto triturado con 3% de cemento**

DATOS DEL ENSAYO		
Peso Volumétrico seco máx. =	1731	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
Humedad optima =	16.62	%
Material Retenido en No.4 =	56.44	%
Absorción Retenido en No.4 =	9.27	%
Humedad de material pasa No.4 =	5.94	%

COMPOSICION DE LA MUESTRA								
Peso total de material			Material retenido en No.4			Material que pasa No.4		
3000 gr			Peso seco = 1693.2 gr			Peso seco = 1306.8 gr		
			Peso húmedo = 1850.2 gr			Peso húmedo = 1384.4 gr		
Contenido de cemento	Peso de cemento	Peso total de la muestra	CANTIDAD DE AGUA					
			Necesaria	Tomada por material grueso	Tomada por material que pasa No.4	Teórica a juntar	Pérdida evaporación (0.5 %)	A Mezclar
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
3	90.0	3090.0	513.56	157.0	77.6	279.0	15.45	294.4

VERIFICACION DE MOLDEADO DE PROBETAS														
Datos de equipos		Numero de Molde	Contenido de cemento en peso	Peso de probeta húm. Mat. + Molde	Peso de probeta de ensayo húmeda	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						Peso de probeta de ensayo seca	Peso volumétrico húmedo	Peso volumétrico seco
Volumen de cilindro	Peso de Molde					Nº de charola	Peso material húmedo	Peso de material seco	Tara de charola	Peso de agua	Contenido de humedad			
(cm <sup>3</sup> )	(g)	(Nº)	(%)	(g)	(g)	(Nº)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )
948	3899	3	3	5798	1899	10	658.5	595.9	196.0	62.6	15.65	1641.97	2003.44	1732.27
948	3880	2	3	5770	1890	1	611.1	552.2	176.5	58.9	15.68	1633.85	1993.94	1723.71
948	3885	5	3	5746	1861	2	694.4	623.8	196.5	70.6	16.52	1597.12	1963.35	1684.96
948	3908	4	3	5775	1867	3	568.7	512.5	177.5	56.2	16.78	1598.79	1969.68	1686.71
937	4238	6	3	6077	1839	4	501.4	455	175.5	46.4	16.60	1577.17	1961.85	1682.53
948	3878	1	3	5765	1887	6	633.4	571	174.5	62.4	15.74	1630.41	1990.78	1720.08

**Tabla 3. 57 Moldeado de probetas, concreto triturado con 5% de cemento**

DATOS DEL ENSAYO		
Peso Volumétrico seco máx. =	1770	Kg/m <sup>3</sup>
Humedad optima =	16.27	%
Material Retenido en No.4 =	56.44	%
Absorción Retenido en No.4 =	9.27	%
Humedad de material pasa No.4 =	5.94	%

COMPOSICION DE LA MUESTRA								
Peso total de material			Material retenido en No.4				Material que pasa No.4	
3000 gr			Peso seco = 1693.2 gr		Peso seco = 1306.8 gr		Peso húmedo = 1384.4 gr	
			Peso húmedo = 1850.2 gr					
Contenido de cemento	Peso de cemento	Peso total de la muestra	CANTIDAD DE AGUA					
			Necesaria	Tomada por material grueso	Tomada por material que pasa No.4	Teórica a juntar	Pérdida evaporación (0.5 %)	A Mezclar
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
5	150.0	3150.0	512.51	157.0	77.6	277.9	15.75	293.7

VERIFICACION DE MOLDEADO DE PROBETAS														
Datos de equipos		Numero de Molde	Contenido de cemento en peso	Peso de probeta a húm. Mat. +Molde	Peso de probeta de ensayo o húmeda	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						Peso de probeta de ensayo seca	Peso volumétrico húmedo	Peso volumétrico seco
Volumen de cilindro	Peso de Molde					Nº de charola	Peso material húmedo	Peso de material seco	Tara de charola	Peso de agua	Contenido de humedad			
(cm <sup>3</sup> )	(g)	(Nº)	(%)	(g)	(g)	(Nº)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )
948	3908	4	5	5749	1841	1	603.40	545.5	176.5	57.9	15.69	1591.31	1942.25	1678.82
948	3899	3	5	5792	1893	4	574.00	520.5	175.5	53.5	15.51	1638.86	1997.11	1728.99
948	3878	1	5	5770	1892	11	586.70	532.4	193.5	54.3	16.02	1630.72	1996.05	1720.40
937	4238	6	5	6078	1840	10	655.50	593.3	196.0	62.2	15.66	1590.93	1962.92	1697.21
948	3885	5	5	5720	1835	2	429.00	397.5	196.5	31.5	15.67	1586.39	1935.92	1673.63
948	3880	2	5	5772	1892	3	595.10	538.2	177.5	56.9	15.77	1634.21	1996.05	1724.08

**Tabla 3. 58 Moldeado de probetas, concreto triturado con 7% de cemento**

DATOS DEL ENSAYO		
Peso Volumétrico seco máx. =	1820	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
Humedad optima =	16.1	%
Material Retenido en No.4 =	56.44	%
Absorción Retenido en No.4 =	9.27	%
Humedad de material pasa No.4 =	5.94	%

COMPOSICION DE LA MUESTRA								
Peso total de material			Material retenido en No.4			Material que pasa No.4		
3000 gr			Peso seco = 1693.2 gr			Peso seco = 1306.8 gr		
			Peso húmedo = 1850.2 gr			Peso húmedo = 1384.4 gr		
Contenido de cemento	Peso de cemento	Peso total de la muestra	CANTIDAD DE AGUA					
			Necesaria	Tomada por material grueso	Tomada por material que pasa No.4	Teórica a juntar	Pérdida evaporación (0.5 %)	A Mezclar
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
7	210.0	3210.0	516.81	157.0	77.6	282.2	16.05	298.3

VERIFICACION DE MOLDEADO DE PROBETAS														
Datos de equipos		Numero de Molde	Contenido de cemento en peso	Peso de probeta a húm. Mat. +Molde	Peso de probeta de ensayo o húmeda	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						Peso de probeta de ensayo seca	Peso volumétrico húmedo	Peso volumétrico seco
Volumen de cilindro	Peso de Molde					Nº de charola	Peso material húmedo	Peso de material seco	Tara de charola	Peso de agua	Contenido de humedad			
(cm <sup>3</sup> )	(g)	(Nº)	(%)	(g)	(g)	(Nº)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )
948	3878	1	7	5779	1901	9	591.5	536.7	195.5	54.8	16.06	1637.93	2005.55	1728.01
937	4238	6	7	6113	1875	1	622.6	562.1	176.5	60.5	15.69	1620.71	2000.26	1728.98
948	3880	2	7	5794	1914	11	611.3	555.2	193.5	56.1	15.51	1657.00	2019.26	1748.13
948	3885	5	7	5788	1903	10	536	490.8	196.0	45.2	15.33	1650.01	2007.66	1740.76
948	3880	2	7	5799	1919	2	611.4	557.3	196.5	54.1	14.99	1668.78	2024.54	1760.55
937	4238	6	7	6103	1865	4	571.8	521.1	197.5	50.7	15.67	1612.38	1989.59	1720.09



**Tabla 3. 59 Moldeado de probetas, bloque de concreto triturado con 3% de cemento**

DATOS DEL ENSAYO		
Peso Volumétrico seco máx. =	1677	Kg/m <sup>3</sup>
Humedad optima =	16.88	%
Material Retenido en No.4 =	47.11	%
Absorción Retenido en No.4 =	12.41	%
Humedad de material pasa No.4 =	4.52	%

COMPOSICION DE LA MUESTRA								
Peso total de material			Material retenido en No.4			Material que pasa No.4		
3000 gr			Peso seco = 1413.3 gr			Peso seco = 1586.7 gr		
			Peso húmedo = 1588.7 gr			Peso húmedo = 1658.4 gr		
Contenido de cemento	Peso de cemento	Peso total de la muestra	CANTIDAD DE AGUA					
			Necesaria	Tomada por material grueso	Tomada por material que pasa No.4	Teórica a juntar	Pérdida evaporación (0.5 %)	A Mezclar
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
3	90.0	3090.0	521.59	175.4	71.7	274.5	15.45	289.9

VERIFICACION DE MOLDEADO DE PROBETAS														
Datos de equipos		Numero de Molde	Contenido de cemento en peso	Peso de probeta a húm. Mat. +Molde	Peso de probeta de ensayo o húmeda	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						Peso de probeta de ensayo seca	Peso volumétrico húmedo	Peso volumétrico seco
Volumen de cilindro	Peso de Molde					Nº de charola	Peso material húmedo	Peso de material seco	Tara de charola	Peso de agua	Contenido de humedad			
(cm <sup>3</sup> )	(g)	(Nº)	(%)	(g)	(g)	(Nº)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )
948	3878	1	3	5697	1819	10	601.5	545.2	196.0	56.3	16.12	1566.45	1919.04	1652.60
948	3880	2	3	5675	1795	4	536.0	485.8	175.5	50.2	16.18	1545.04	1893.72	1630.02
948	3899	3	3	5653	1754	11	585.3	531.2	193.5	54.1	16.02	1511.81	1850.46	1594.95
948	3908	4	3	5673	1765	1	581.3	524.1	176.5	57.2	16.46	1515.60	1862.07	1598.95
948	3885	5	3	5633	1748	2	615.1	557.1	196.5	58	16.08	1505.80	1844.13	1588.62
937	4238	6	3	6037	1799	8	608.0	550.1	197.5	57.9	16.42	1545.26	1919.18	1648.48

**Tabla 3. 60 Moldeado de probetas, bloque de concreto triturado con 5% de cemento**

DATOS DEL ENSAYO		
Peso Volumétrico seco máx. =	1685	Kg/m <sup>3</sup>
Humedad optima =	16.33	%
Material Retenido en No.4 =	47.11	%
Absorción Retenido en No.4 =	12.41	%
Humedad de material pasa No.4 =	4.52	%

COMPOSICION DE LA MUESTRA								
Peso total de material			Material retenido en No.4			Material que pasa No.4		
3000 gr			Peso seco = 1413.3 gr			Peso seco = 1586.7 gr		
			Peso húmedo = 1588.7 gr			Peso húmedo = 1658.4 gr		
Contenido de cemento	Peso de cemento	Peso total de la muestra	CANTIDAD DE AGUA					
			Necesaria	Tomada por material grueso	Tomada por material que pasa No.4	Teórica a juntar	Pérdida evaporación (0.5 %)	A Mezclar
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
5	150.0	3150.0	514.40	175.4	71.7	267.3	15.75	283.0

VERIFICACION DE MOLDEADO DE PROBETAS														
Datos de equipos		Numero de Molde	Contenido de cemento en peso	Peso de probeta a húm. Mat. +Molde	Peso de probeta de ensayo o húmeda	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						Peso de probeta de ensayo seca	Peso volumétrico húmedo	Peso volumétrico seco
Volumen de cilindro	Peso de Molde					Nº de charola	Peso material húmedo	Peso de material seco	Tara de charola	Peso de agua	Contenido de humedad			
(cm <sup>3</sup> )	(g)	(Nº)	(%)	(g)	(g)	(Nº)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )
948	3878	1	5	5742	1864	10	576.2	525.3	196.0	50.9	15.46	1614.45	1966.51	1703.24
948	3880	2	5	5769	1889	4	547.9	498.3	175.5	49.6	15.37	1637.40	1992.89	1727.46
948	3899	3	5	5725	1826	1	608.0	550.1	176.5	57.9	15.50	1580.98	1926.42	1667.93
948	3908	4	5	5739	1831	5	594.7	540.2	185.5	54.5	15.37	1587.14	1931.70	1674.42
948	3885	5	5	5664	1779	2	566.5	516.5	196.5	50.0	15.63	1538.59	1876.84	1623.21
937	4238	6	5	6094	1856	3	583.0	528.0	177.5	55.0	15.69	1604.26	1979.99	1711.43

**Tabla 3. 61 Moldeado de probetas, bloque de concreto triturado con 7% de cemento**

DATOS DEL ENSAYO		
Peso Volumétrico seco máx. =	1751	Kg/m <sup>3</sup>
Humedad optima =	16.64	%
Material Retenido en No.4 =	47.11	%
Absorción Retenido en No.4 =	12.41	%
Humedad de material pasa No.4 =	4.52	%

COMPOSICION DE LA MUESTRA								
Peso total de material			Material retenido en No.4			Material que pasa No.4		
3000 gr			Peso seco = 1413.3 gr			Peso seco = 1586.7 gr		
			Peso húmedo = 1588.7 gr			Peso húmedo = 1658.4 gr		
Contenido de cemento	Peso de cemento	Peso total de la muestra	CANTIDAD DE AGUA					
			Necesaria	Tomada por material grueso	Tomada por material que pasa No.4	Teórica a juntar	Pérdida evaporación (0.5 %)	A Mezclar
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
7	210.0	3210.0	534.14	175.4	71.7	287.0	16.05	303.1

VERIFICACION DE MOLDEADO DE PROBETAS														
Datos de equipos		Numero de Molde	Contenido de cemento en peso	Peso de probeta húm. Mat. +Molde	Peso de probeta de ensayo húmeda	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						Peso de probeta de ensayo seca	Peso volumétrico húmedo	Peso volumétrico seco
Volumen de cilindro	Peso de Molde					Nº de charola	Peso material húmedo	Peso de material seco	Tara de charola	Peso de agua	Contenido de humedad			
(cm <sup>3</sup> )	(g)	(Nº)	(%)	(g)	(g)	(Nº)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )
948	3878	1	7	5699	1821	11	583.2	527.6	193.5	55.6	16.64	1561.19	1921.15	1647.05
948	3880	2	7	5777	1897	10	566.8	516.0	196.0	50.8	15.88	1637.11	2001.33	1727.15
948	3899	3	7	5766	1867	4	551.5	499.7	175.5	51.8	15.98	1609.79	1969.68	1698.32
948	3908	4	7	5754	1846	2	590.9	534.8	196.5	56.1	16.58	1583.42	1947.52	1670.51
948	3885	5	7	5792	1907	9	553.9	504.1	195.5	49.8	16.14	1642.02	2011.88	1732.33
937	4238	6	7	6095	1857	8	552.1	503.0	197.5	49.1	16.07	1599.87	1981.05	1706.75

**Tabla 3. 62 Moldeado de probetas, ladrillo de barro triturado con 3% de cemento**

DATOS DEL ENSAYO	
Peso Volumétrico seco máx. =	1379.3 Kg/m <sup>3</sup>
Humedad optima =	16.07 %
Material Retenido en No.4 =	31.69 %
Absorción Retenido en No.4 =	21.99 %
Humedad de material pasa No.4 =	5.27 %

COMPOSICION DE LA MUESTRA								
Peso total de material			Material retenido en No.4			Material que pasa No.4		
3000 gr			Peso seco = 950.7 gr			Peso seco = 2049.3 gr		
			Peso húmedo = 1159.8 gr			Peso húmedo = 2157.3 gr		
Contenido de cemento	Peso de cemento	Peso total de la muestra	CANTIDAD DE AGUA					
			Necesaria	Tomada por material grueso	Tomada por material que pasa No.4	Teórica a juntar	Pérdida evaporación (0.5 %)	A Mezclar
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
3	90.0	3090.0	496.56	209.1	108.0	179.5	15.45	195.0

VERIFICACION DE MOLDEADO DE PROBETAS														
Datos de equipos		Numero de Molde	Contenido de cemento en peso	Peso de probeta a húm. Mat. +Molde	Peso de probeta de ensayo húmeda	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						Peso de probeta de ensayo seca	Peso volumétrico húmedo	Peso volumétrico seco
Volumen de cilindro	Peso de Molde					Nº de charola	Peso material húmedo	Peso de material seco	Tara de charola	Peso de agua	Contenido de humedad			
(cm <sup>3</sup> )	(g)	(Nº)	(%)	(g)	(g)	(Nº)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )
948	3878	1	3	5471	1593	4	546.0	495.6	175.5	50.4	15.75	1376.30	1680.61	1451.99
948	3880	2	3	5483	1603	1	581.8	528.5	176.5	53.3	15.14	1392.19	1691.16	1468.76
948	3899	3	3	5494	1595	5	580.0	524.0	185.5	56	16.54	1368.59	1682.72	1443.85
948	3908	4	3	5498	1590	10	595.7	542.0	196.0	53.7	15.52	1376.38	1677.45	1452.08
948	3885	5	3	5482	1597	3	619.7	560.0	177.5	59.7	15.61	1381.39	1684.83	1457.37
937	4238	6	3	5810	1572	11	522.0	478.0	193.5	44	15.47	1361.44	1677.01	1452.39

**Tabla 3. 63 Moldeado de probetas, ladrillo de barro triturado con 5% de cemento**

DATOS DEL ENSAYO		
Peso Volumétrico seco máx. =	1375	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
Humedad optima =	16.4	%
Material Retenido en No.4 =	31.69	%
Absorción Retenido en No.4 =	21.99	%
Humedad de material pasa No.4 =	5.27	%

COMPOSICION DE LA MUESTRA								
Peso total de material			Material retenido en No.4			Material que pasa No.4		
3000 gr			Peso seco = 950.7 gr			Peso seco = 2049.3 gr		
			Peso húmedo = 1159.8 gr			Peso húmedo = 2157.3 gr		
Contenido de cemento	Peso de cemento	Peso total de la muestra	CANTIDAD DE AGUA					
			Necesaria	Tomada por material grueso	Tomada por material que pasa No.4	Teórica a juntar	Pérdida evaporación (0.5 %)	A Mezclar
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
5	150.0	3150.0	516.60	209.1	108.0	199.5	15.75	215.3

VERIFICACION DE MOLDEADO DE PROBETAS														
Datos de equipos		Numero de Molde	Contenido de cemento en peso	Peso de probeta a húm. Mat. +Molde	Peso de probeta de ensayo o húmeda	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						Peso de probeta de ensayo seca	Peso volumétrico húmedo	Peso volumétrico seco
Volumen de cilindro	Peso de Molde					Nº de charola	Peso material húmedo	Peso de material seco	Tara de charola	Peso de agua	Contenido de humedad			
(cm <sup>3</sup> )	(g)	(Nº)	(%)	(g)	(g)	(Nº)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )
948	3878	1	5	5506	1628	4	548.1	499.7	196.0	48.4	15.94	1404.21	1717.54	1481.44
948	3880	2	5	5524	1644	3	582.1	529.3	193.5	52.8	15.72	1420.63	1734.42	1498.76
948	3899	3	5	5568	1669	5	559.0	507.5	196.5	51.5	16.56	1431.89	1760.79	1510.64
948	3908	4	5	5517	1609	7	587.5	535.6	185.5	51.9	14.82	1401.27	1697.49	1478.34
948	3885	5	5	5527	1642	1	565.9	511.5	175.5	54.4	16.19	1413.20	1732.31	1490.92
937	4238	6	5	5827	1589	2	556.0	505.0	176.5	51.0	15.53	1375.46	1695.15	1467.34

**Tabla 3. 64 Moldeado de probetas, ladrillo de barro triturado con 7% de cemento**

DATOS DEL ENSAYO		
Peso Volumétrico seco máx. =	1397.5	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
Humedad optima =	15.6	%
Material Retenido en No.4 =	31.69	%
Absorción Retenido en No.4 =	21.99	%
Humedad de material pasa No.4 =	5.27	%

COMPOSICION DE LA MUESTRA								
Peso total de material			Material retenido en No.4				Material que pasa No.4	
3000 gr			Peso seco = 950.7 gr				Peso seco = 2049.3 gr	
			Peso húmedo = 1159.8 gr				Peso húmedo = 2157.3 gr	
Contenido de cemento	Peso de cemento	Peso total de la muestra	CANTIDAD DE AGUA					
			Necesaria	Tomada por material grueso	Tomada por material que pasa No.4	Teórica a juntar	Pérdida evaporación (0.5 %)	A Mezclar
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
7	210.0	3210.0	500.76	209.1	108.0	183.7	16.05	199.8

VERIFICACION DE MOLDEADO DE PROBETAS														
Datos de equipos		Numero de Molde	Contenido de cemento en peso	Peso de probeta a húm. Mat. +Molde	Peso de probeta de ensayo o húmeda	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD						Peso de probeta de ensayo seca	Peso volumétrico húmedo	Peso volumétrico seco
Volumen de cilindro	Peso de Molde					Nº de charola	Peso material húmedo	Peso de material seco	Tara de charola	Peso de agua	Contenido de humedad			
(cm <sup>3</sup> )	(g)	(Nº)	(%)	(g)	(g)	(Nº)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )
948	3878	1	7	5516	1638	3	594.2	540.6	193.5	53.6	15.44	1418.89	1728.09	1496.93
948	3880	2	7	5530	1650	4	570.3	521.4	196.0	48.9	15.03	1434.44	1740.75	1513.33
948	3899	3	7	5547	1648	1	596.5	539.2	176.5	57.3	15.80	1423.17	1738.64	1501.44
948	3908	4	7	5499	1591	5	572.2	523.5	196.5	48.7	14.89	1384.77	1678.50	1460.93
948	3885	5	7	5519	1634	2	591.3	537.5	175.5	53.8	14.86	1422.58	1723.87	1500.82
937	4238	6	7	5841	1603	7	580.9	527.5	185.5	53.4	15.61	1386.51	1710.09	1479.13

### **3.10. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE SUELO-CEMENTO**

#### **MÉTODO DE ENSAYO PARA LA COMPRESIÓN SIMPLE DE MOLDES CILÍNDRICOS DE SUELO-CEMENTO (ASTM D-1633-00)**

Este método se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión del suelo-cemento empleando cilindros moldeados como especímenes de ensayo.

Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 101.6 mm (4.0") de diámetro y de 116.4 mm (4.584") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 1.15.

#### **✓ MATERIALES, EQUIPO**

- **Máquina para ensayo compresión**, puede ser de cualquier tipo que tenga capacidad suficiente y adecuada para proporcionar la tasa carga de  $140 \pm 70$  kPa/s ( $20 \pm 10$  lbs/pulgada<sup>2</sup>/s).
- **Balanza**
- **Cinta métrica**

#### **✓ PROCEDIMIENTO**

1. Colóquese el bloque inferior de apoyo sobre la mesa o sobre la plataforma de la máquina de ensayo directamente bajo el bloque de apoyo superior asentado esféricamente. Colóquese el espécimen sobre el bloque inferior de apoyo, asegurándose de que el eje vertical del espécimen este alineado con él en el centro de empuje del bloque asentado esféricamente. Como este bloque es llevado a apoyarse sobre el espécimen, rótese suavemente a mano su parte móvil de manera que obtenga asentamiento uniforme.
2. Aplíquese la carga continuamente y sin choques. Puede usarse una maquina de ensayo operada por tornillo aproximadamente a 1 mm (0.05") por minuto. Con

maquinas hidráulicas, ajústese la carga a una tasa constante dentro de los límites de  $140 \pm 70$  kPa/s ( $20 \pm 10$  lbs/pulgada<sup>2</sup>/s) de acuerdo con la resistencia del espécimen. Regístrese la carga total a la falla del espécimen de ensayo con aproximación de 40 N (10 lbs).

3. Calcúlese la resistencia unitaria a la compresión del espécimen dividiendo la carga máxima por el área de la sección transversal.

**Ecuación 11** *Cálculo de resistencia a la compresión de especímenes de suelo-cemento.*

$$C = P / A$$

**Donde:**

*C = Resistencia a la compresión del espécimen en Kg/cm<sup>2</sup>*

*P= Carga Máxima indicada por la máquina de ensayo en Kg*

*A = Área Nominal de la sección transversal en cm<sup>2</sup>*

## FOTOGRAFÍAS DEL PROCEDIMIENTO

**Fotografía 3. 9** *Procedimiento del ensayo de compresión de especímenes de suelo-cemento*



*Curado de especímenes para luego someterlos a compresión.*



*Pesaje de especímenes antes de someterlos a compresión.*





*Compresión de especímenes.*



*Lectura del dial.*



*Especímenes luego de ser ensayados a compresión.*

✓ **RESULTADOS**

**Tabla 3. 65** Resultado de resistencia a compresión de material-selecto con 3% de cemento

<b>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO COMPACTADO</b>						
<b>ASTM D-1633-00</b>						
PROYECTO:	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO					
MATERIAL:	MATERIAL -ELECTO					
FECHA DE ENSAYO:	A 7 DIAS, 14 DIAS Y 28 DIAS.					
Espécimen No.	1	2	3	4	5	6
Contenido de Cemento (%)	3	3	3	3	3	3
Fecha de elaboración	13/09/2012	13/09/2012	13/09/2012	13/09/2012	13/09/2012	13/09/2012
Fecha de Ensayo	20/09/2012	20/09/2012	27/09/2012	27/09/2012	11/09/2012	11/09/2012
Edad de espécimen (Días)	7	7	14	14	28	28
Diámetro en (cm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Altura en (cm)	11.6	11.7	11.7	11.6	11.6	11.6
Área (cm <sup>2</sup> )	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7
volumen (cm <sup>3</sup> )	947.9	956.0	956.0	947.9	947.9	947.9
Factor h/d	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
peso en (gr)	1940.0	1993.0	1995.0	1958.0	1983.0	1961.0
Lectura Dial (Divisiones)	354	497	622	575	765	594
Carga en (KN)	15.02	21	26.19	24.24	32.07	25.03
Carga en (kg)	1531.6	2141.4	2670.6	2471.8	3270.2	2552.3
Peso Volumétrico en (kg/m <sup>3</sup> )	2046.7	2084.6	2086.7	2065.7	2092.1	2068.9
Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	18.7	26.2	32.7	30.2	40.0	31.2
<b>Promedio Resistencia a Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>22.5</b>		<b>31.5</b>		<b>35.6</b>	

**Tabla 3. 66** Resultado de resistencia a compresión de material-  
selecto con 5% de cemento

<b>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO COMPACTADO</b>						
ASTM D-1633-00						
PROYECTO:	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO					
MATERIAL:	MATERIAL -ELECTO					
FECHA DE ENSAYO:	A 7 DIAS, 14 DIAS Y 28 DIAS.					
Espécimen No.	6	2	5	3	4	1
Contenido de Cemento en Peso (%)	5	5	5	5	5	5
Fecha de elaboración	12/09/2012	12/09/2012	12/09/2012	12/09/2012	12/09/2012	12/09/2012
Fecha de Ensayo	19/09/2012	19/09/2012	26/09/2012	26/10/2012	10/10/2012	10/10/2012
Edad de espécimen (Días)	7	7	14	14	28	28
Diámetro en (cm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Altura en (cm)	11.5	11.6	11.7	11.6	11.7	11.5
Área (cm <sup>2</sup> )	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7
volumen (cm <sup>3</sup> )	939.7	947.9	956.0	947.9	956.0	939.7
Factor h/d	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
peso en (gr)	2002.0	2050.0	2035.0	2060.0	2041.0	1986.0
Lectura Dial (Divisiones)	580	664				
Carga en (KN)	39	40	43	35	62	45
Carga en (kg)	3976.9	4078.9	4384.8	3569.0	6322.2	4588.7
Peso Volumétrico en (kg/m <sup>3</sup> )	2130.5	2162.7	2128.6	2173.3	2134.8	2113.4
Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	48.7	49.9	53.7	43.7	77.4	56.2
<b>Promedio Resistencia a Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>49.3</b>		<b>48.7</b>		<b>66.8</b>	

**Tabla 3. 67 Resultado de resistencia a compresión de material-selecto con 7% de cemento**

<b>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO COMPACTADO</b>						
<b>ASTM D-1633-00</b>						
PROYECTO:	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO					
MATERIAL:	MATERIAL -ELECTO					
FECHA DE ENSAYO:	A 7 DIAS, 14 DIAS Y 28 DIAS.					
Espécimen No.	1	2	3	4	5	6
Contenido de Cemento en Peso (%)	7	7	7	7	7	7
Fecha de elaboración	12/09/2012	12/09/2012	12/09/2012	12/09/2012	12/09/2012	12/09/2012
Fecha de Ensayo	19/09/2012	19/09/2012	26/09/2012	26/09/2012	10/10/2012	10/10/2012
Edad de espécimen (Días)	7	7	14	14	28	28
Diámetro en (cm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Altura en (cm)	11.5	11.6	11.6	11.6	11.5	11.6
Área (cm <sup>2</sup> )	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7
volumen (cm <sup>3</sup> )	939.7	947.9	947.9	947.9	939.7	947.9
Factor h/d	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
peso en (gr)	1991.0	2019.0	2011.0	1971.0	1993.0	1938.0
Lectura Dial (Divisiones)	10.25					
Carga en (KN)	45.63	42	59	49	61	51
Carga en (kg)	4653.0	4282.8	6016.3	4996.6	6220.3	5200.6
Peso Volumétrico en (kg/m <sup>3</sup> )	2118.8	2130.0	2121.6	2079.4	2120.9	2044.6
Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	56.9	52.4	73.6	61.1	76.1	63.6
<b>Promedio Resistencia a Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>54.7</b>		<b>67.4</b>		<b>69.9</b>	

**Tabla 3. 68** Resultado de resistencia a compresión de concreto triturado con 3% de cemento

<b>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO COMPACTADO</b>						
ASTM D-1633-00						
PROYECTO:	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO					
MATERIAL:	CONCRETO TRITURADO					
FECHA DE ENSAYO:	A 7 DIAS, 14 DIAS Y 28 DIAS.					
Espécimen No.	1	3	5	6	2	4
Contenido de Cemento en Peso (%)	3	3	3	3	3	3
Fecha de elaboración	11/09/2012	11/09/2012	11/09/2012	11/09/2012	11/09/2012	11/09/2012
Fecha de Ensayo	18/09/2012	18/09/2012	25/09/2012	25/09/2012	09/10/2012	09/10/2012
Edad de espécimen (Días)	7	7	14	14	28	28
Diámetro en (cm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Altura en (cm)	11.7	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6
Área (cm <sup>2</sup> )	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7
volumen (cm <sup>3</sup> )	956.0	947.9	947.9	947.9	947.9	947.9
Factor h/d	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
peso en (gr)	1858.0	1882.0	1843.0	1819.0	1872.0	1850.0
Lectura Dial (Divisiones)	275	315	369	375	424	460
Carga en (KN)	11.70	13.38	15.65	15.9	17.96	19.46
Carga en (kg)	1193.1	1364.4	1595.9	1621.3	1831.4	1984.4
Peso Volumétrico en (kg/m <sup>3</sup> )	1943.4	1985.5	1944.4	1919.0	1975.0	1951.7
Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	14.6	16.7	19.5	19.8	22.4	24.3
<b>Promedio Resistencia a Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>15.6</b>		<b>19.7</b>		<b>23.3</b>	

**Tabla 3. 69** Resultado de resistencia a compresión de concreto triturado con 5% de cemento

<b>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO COMPACTADO</b>						
ASTM D-1633-00						
PROYECTO:	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO					
MATERIAL:	CONCRETO TRITURADO					
FECHA DE ENSAYO:	A 7 DIAS, 14 DIAS Y 28 DIAS.					
Espécimen No.	1	3	6	4	2	5
Contenido de Cemento en Peso (%)	5	5	5	5	5	5
Fecha de elaboración	10/09/2012	10/09/2012	10/09/2012	10/09/2012	10/09/2012	10/09/2012
Fecha de Ensayo	17/09/2012	17/09/2012	24/09/2012	24/09/2012	08/10/2012	08/10/2012
Edad de espécimen (Días)	7	7	14	14	28	28
Diámetro en (cm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Altura en (cm)	11.6	11.5	11.5	11.6	11.6	11.7
Área (cm <sup>2</sup> )	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7
volumen (cm <sup>3</sup> )	947.9	939.7	939.7	947.9	947.9	956.0
Factor h/d	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
peso en (gr)	1868.0	1875.0	1822.0	1823.0	1878.0	1797.0
Lectura Dial (Divisiones)	580	664	685	681	620	754
Carga en (KN)	24.45	27.92	28.79	28.62	26.11	31.62
Carga en (kg)	2493.2	2847.0	2935.8	2918.4	2662.5	3224.3
Peso Volumétrico en (kg/m <sup>3</sup> )	1970.7	1995.3	1938.9	1923.3	1981.3	1879.6
Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	30.5	34.8	35.9	35.7	32.6	39.5
<b>Promedio Resistencia a Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>32.7</b>		<b>35.8</b>		<b>36.0</b>	

**Tabla 3. 70** Resultado de resistencia a compresión de concreto triturado con 7% de cemento

<b>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO COMPACTADO</b>						
ASTM D-1633-00						
PROYECTO:	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO					
MATERIAL:	CONCRETO TRITURADO					
FECHA DE ENSAYO:	A 7 DIAS, 14 DIAS Y 28 DIAS.					
Espécimen No.	1	2	5	6	2	6
Contenido de Cemento en Peso (%)	7	7	7	7	7	7
Fecha de elaboración	10/09/2012	10/09/2012	10/09/2012	10/09/2012	10/09/2012	10/09/2012
Fecha de Ensayo	17/09/2012	17/09/2012	24/09/2012	24/09/2012	08/10/2012	08/10/2012
Edad de espécimen (Días)	7	7	14	14	28	28
Diámetro en (cm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Altura en (cm)	11.6	11.6	11.6	11.6	11.7	11.7
Área (cm <sup>2</sup> )	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7
volumen (cm <sup>3</sup> )	947.9	947.9	947.9	947.9	956.0	956.0
Factor h/d	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
peso en (gr)	1888.0	1903.0	1896.0	1869.0	1929.0	1841.0
Lectura Dial (Divisiones)	809	870				
Carga en (KN)	33.87	36.35	43.22	39	52	51
Carga en (kg)	3453.8	3706.7	4407.2	3976.9	5302.5	5200.6
Peso Volumétrico en (kg/m <sup>3</sup> )	1991.8	2007.7	2000.3	1971.8	2017.7	1925.7
Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	42.3	45.4	53.9	48.7	64.9	63.6
<b>Promedio Resistencia a Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>43.8</b>		<b>51.3</b>		<b>64.3</b>	

**Tabla 3. 71** Resultado de resistencia a compresión del bloque concreto triturado con 3% de cemento

<b>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO COMPACTADO</b>						
ASTM D-1633-00						
PROYECTO:	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO					
MATERIAL:	BLOQUE DE CONCRETO TRITURADO					
FECHA DE ENSAYO:	A 7 DIAS, 14 DIAS Y 28 DIAS.					
Espécimen No.	1	2	3	4	5	6
Contenido de Cemento en Peso (%)	3	3	3	3	3	3
Fecha de elaboración	17/09/2012	17/09/2012	17/09/2012	17/09/2012	17/09/2012	17/09/2012
Fecha de Ensayo	24/09/2012	24/09/2012	01/10/2012	01/10/2012	15/10/2012	15/10/2012
Edad de espécimen (Días)	7	7	14	14	28	28
Diámetro en (cm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Altura en (cm)	11.6	11.6	11.5	11.6	11.5	11.6
Área (cm <sup>2</sup> )	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7
volumen (cm <sup>3</sup> )	947.9	947.9	939.7	947.9	939.7	947.9
Factor h/d	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
peso en (gr)	1789.0	1769.0	1727.0	1802.0	1757.0	1772.0
Lectura Dial (Divisiones)	226	210	209	331	341	439
Carga en (KN)	9.62	8.94	8.9	14.06	14.48	18.58
Carga en (kg)	980.97	911.63	907.5	1433.7	1476.5	1894.6
Peso Volumétrico en (kg/m <sup>3</sup> )	1887.4	1866.3	1837.8	1901.1	1869.8	1869.5
Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	12.01	11.16	11.1	17.5	18.1	23.2
<b>Promedio Resistencia a Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>11.6</b>		<b>14.3</b>		<b>20.6</b>	



**Tabla 3. 72** Resultado de resistencia a compresión del bloque concreto triturado con 5% de cemento

<b>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO COMPACTADO</b>						
<b>ASTM D-1633-00</b>						
PROYECTO:	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO					
MATERIAL:	BLOQUE DE CONCRETO TRITURADO					
FECHA DE ENSAYO:	A 7 DIAS, 14 DIAS Y 28 DIAS.					
Espécimen No.	1	2	3	4	5	6
Contenido de Cemento en Peso (%)	5	5	5	5	5	5
Fecha de elaboración	18/09/2012	18/09/2012	18/09/2012	18/09/2012	18/09/2012	18/09/2012
Fecha de Ensayo	25/09/2012	25/09/2012	02/10/2012	02/10/2012	16/10/2012	16/10/2012
Edad de espécimen (Días)	7	7	14	14	28	28
Diámetro en (cm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Altura en (cm)	11.6	11.6	11.7	11.5	11.5	11.6
Área (cm <sup>2</sup> )	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7
volumen (cm <sup>3</sup> )	947.9	947.9	956.0	939.7	939.7	947.9
Factor h/d	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
peso en (gr)	1844.0	1870.0	1805.0	1813.0	1756.0	1836.0
Lectura Dial (Divisiones)	605	430	524	547	531	710
Carga en (KN)	25.49	18.21	22.13	23.08	22.42	29.81
Carga en (kg)	2599.3	1856.9	2256.6	2353.5	2286.2	3039.8
Peso Volumétrico en (kg/m <sup>3</sup> )	1945.4	1972.8	1888.0	1929.3	1868.7	1937.0
Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	31.8	22.7	27.6	28.8	28.0	37.2
<b>Promedio Resistencia a Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>27.3</b>		<b>28.2</b>		<b>32.6</b>	

**Tabla 3. 73** Resultado de resistencia a compresión del bloque concreto triturado con 7% de cemento

<b>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO COMPACTADO</b>						
<b>ASTM D-1633-00</b>						
PROYECTO:	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO					
MATERIAL:	BLOQUE DE CONCRETO TRITURADO					
FECHA DE ENSAYO:	A 7 DIAS, 14 DIAS Y 28 DIAS.					
Espécimen No.	1	2	3	4	5	6
Contenido de Cemento en Peso (%)	7	7	7	7	7	7
Fecha de elaboración	18/09/2012	18/09/2012	18/09/2012	18/09/2012	18/09/2012	18/09/2012
Fecha de Ensayo	25/09/2012	25/09/2012	02/09/2012	02/09/2012	16/10/2012	16/10/2012
Edad de espécimen (Días)	7	7	14	14	28	28
Diámetro en (cm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Altura en (cm)	11.7	11.7	11.7	11.6	11.5	11.5
Área (cm <sup>2</sup> )	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7
volumen (cm <sup>3</sup> )	956.0	956.0	956.0	947.9	939.7	939.7
Factor h/d	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
peso en (gr)	1795.0	1883.0	1849.0	1829.0	1884.0	1835.0
Lectura Dial (Divisiones)	580	668	793	682	978	720
Carga en (KN)	24.45	28.09	33.21	28.66	40.72	30.22
Carga en (kg)	2493.2	2864.4	3386.5	2922.5	4152.3	3081.6
Peso Volumétrico en (kg/m <sup>3</sup> )	1877.5	1969.6	1934.0	1929.6	2004.9	1952.8
Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	30.5	35.1	41.4	35.8	50.8	37.7
<b>Promedio Resistencia a Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>32.8</b>		<b>38.6</b>		<b>44.3</b>	

**Tabla 3. 74** Resultado de resistencia a compresión del ladrillo de barro triturado con 3% de cemento

<b>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO COMPACTADO</b>						
ASTM D-1633-00						
PROYECTO:	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO					
MATERIAL:	LADRILLO DE BARRO TRITURADO					
FECHA DE ENSAYO:	A 7 DIAS, 14 DIAS Y 28 DIAS.					
Espécimen No.	1	2	3	4	5	6
Contenido de Cemento en Peso (%)	3	3	3	3	3	3
Fecha de elaboración	19/09/2012	19/09/2012	19/09/2012	19/09/2012	19/09/2012	19/09/2012
Fecha de Ensayo	26/09/2012	26/09/2012	03/10/2012	03/10/2012	17/10/2012	17/10/2012
Edad de espécimen (Días)	7	7	14	14	28	28
Diámetro en (cm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Altura en (cm)	11.6	11.6	11.6	11.5	11.5	11.6
Área (cm <sup>2</sup> )	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7
volumen (cm <sup>3</sup> )	947.9	947.9	947.9	939.7	939.7	947.9
Factor h/d	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
peso en (gr)	1569.0	1585.0	1579.0	1573.0	1570.0	1540.0
Lectura Dial (Divisiones)	206	165	197	283	270	397
Carga en (KN)	8.78	7.03	8.39	12.03	11.48	16.83
Carga en (kg)	895.31	716.86	855.5	1226.7	1170.6	1716.2
Peso Volumétrico en (kg/m <sup>3</sup> )	1655.3	1672.2	1665.8	1673.9	1670.8	1624.7
Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	10.96	8.77	10.5	15.0	14.3	21.0
<b>Promedio Resistencia a Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>9.9</b>		<b>12.7</b>		<b>17.7</b>	

**Tabla 3. 75** Resultado de resistencia a compresión del ladrillo de barro triturado con 5% de cemento

<b>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO COMPACTADO</b>						
ASTM D-1633-00						
PROYECTO:	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO					
MATERIAL:	LADRILLO DE BARRO TRITURADO					
FECHA DE ENSAYO:	A 7 DIAS, 14 DIAS Y 28 DIAS.					
Espécimen No.	1	2	3	4	5	6
Contenido de Cemento en Peso (%)	5	5	5	5	5	5
Fecha de elaboración	20/09/2012	20/09/2012	20/09/2012	20/09/2012	20/09/2012	20/09/2012
Fecha de Ensayo	27/09/2012	27/09/2012	04/10/2012	04/10/2012	18/10/2012	18/10/2012
Edad de espécimen (Días)	7	7	14	14	28	28
Diámetro en (cm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Altura en (cm)	11.6	11.6	11.6	11.5	11.5	11.6
Área (cm <sup>2</sup> )	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7
volumen (cm <sup>3</sup> )	947.9	947.9	947.9	939.7	939.7	947.9
Factor h/d	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
peso en (gr)	1635.0	1644.0	1661.0	1603.0	1624.0	1567.0
Lectura Dial (Divisiones)	250	365	539	462	502	490
Carga en (KN)	10.64	15.49	22.75	19.55	21.21	20.71
Carga en (kg)	1085.0	1579.5	2319.9	1993.5	2162.8	2111.8
Peso Volumétrico en (kg/m <sup>3</sup> )	1724.9	1734.4	1752.4	1705.9	1728.2	1653.2
Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	13.3	19.3	28.4	24.4	26.5	25.8
<b>Promedio Resistencia a Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>16.3</b>		<b>26.4</b>		<b>26.2</b>	

**Tabla 3. 76** Resultado de resistencia a compresión del ladrillo de barro triturado con 7% de cemento

<b>INFORME DE LA REALIZACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO COMPACTADO</b>						
ASTM D-1633-00						
PROYECTO:	ESTUDIO TÉCNICO EXPLORATORIO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO EN MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO					
MATERIAL:	LADRILLO DE BARRO TRITURADO					
FECHA DE ENSAYO:	A 7 DIAS, 14 DIAS Y 28 DIAS.					
Espécimen No.	1	2	3	4	5	6
Contenido de Cemento en Peso (%)	7	7	7	7	7	7
Fecha de elaboración	20/09/2012	20/09/2012	20/09/2012	20/09/2012	20/09/2012	20/09/2012
Fecha de Ensayo	27/09/2012	27/09/2012	04/10/2012	04/10/2012	18/10/2012	18/10/2012
Edad de espécimen (Días)	7	7	14	14	28	28
Diámetro en (cm)	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
Altura en (cm)	11.7	11.7	11.6	11.6	11.6	11.5
Área (cm <sup>2</sup> )	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7	81.7
volumen (cm <sup>3</sup> )	956.0	956.0	947.9	947.9	947.9	939.7
Factor h/d	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
peso en (gr)	1632.0	1642.0	1642.0	1593.0	1616.0	1592.0
Lectura Dial (Divisiones)	545	494	614	476	690	740
Carga en (KN)	23.00	20.88	25.86	20.13	28.99	31.04
Carga en (kg)	2345.3	2129.2	2637.0	2052.7	2956.2	3165.2
Peso Volumétrico en (kg/m <sup>3</sup> )	1707.0	1717.5	1732.3	1680.6	1704.9	1694.2
Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	28.7	26.1	32.3	25.1	36.2	38.7
<b>Promedio Resistencia a Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>27.4</b>		<b>28.7</b>		<b>37.5</b>	

**CAPÍTULO IV:**  
**"ANÁLISIS E**  
**INTERPRETACIÓN DE**  
**RESULTADOS"**

#### 4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA DE SUELOS

En la **Tabla 1.3** se presentan los requerimiento de graduación recomendados para granulometría de suelos en el diseño de mezclas de suelo-cemento, los materiales de esta investigación fueron comparados con los parámetros establecidos para materiales utilizados como base, en este sentido los resultados demuestran que las mejores propiedades granulométricas fueron las del Material-Selecto, ya que la curva granulométrica de este se encuentra entre los límites recomendados por la **Tabla 1.3**.

Dados los límites antes mencionados, en general la curva granulométrica de los materiales triturados presenta un exceso de material que pasa la maya 3/4 " y maya 1/2 ", por lo tanto carencia de material con diámetro mayor a estos, en contraste a esto presentan carencia de material fino que pase la maya No. 200; el ladrillo de barro es el material que presenta mayor carencia de material grueso, y con igualdad de condiciones en los tres materiales en la carencia de material fino.

Como era de esperarse, el hecho de que los materiales fueran sometidos a condiciones de trituración iguales y con una granulometría inducidas no significó curvas granulométricas idénticas, los materiales presentaron (Coeficiente de Uniformidad; Coeficiente de Compacidad)  $C_u$  de **19.77, 12.50, 14.88, 21.56** y  $C_c$  de **1.04, 1.62, 1.36, 1.16** para el material-selecto, concreto, bloque de concreto y ladrillo de barro triturado respectivamente, los  $C_u$  son mayor a 3, lo que indica que los diámetros  $D_{60}$  y  $D_{10}$  difieren en tamaño apreciable por que la granulometría está bien distribuida, esto se puede corroborar observando las curvas granulométricas las cuales son *tendidas*, los  $C_c$  son valores muy cercanos a 1 (uno), lo que indican que no faltan diámetros entre los tamaños correspondientes al  $D_{10}$  y al  $D_{60}$  por lo que los materiales en estudio son bien *graduados*.

A continuación se presenta la clasificación de los materiales, los cuales debido a que son suelos de grano grueso y con carencia de plasticidad, son clasificados en función de sus características granulométricas:

**Tabla 4. 1** *Clasificación granulométrica de los materiales*

Material	Más de la mitad del material es retenido en el tamiz No. 200	Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz No. 4	fracción inferior al tamiz número 200 es < 5%	Cu > 4 Y Cc entre 1 y 3	Descripción
Concreto	Si	No	Si	Si	SW = Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
	Suelo de grano Grueso	Arena	SW ó SP	SW = A-1	
Bloque de Concreto	Si	No	Si	Si	
	Suelo de grano Grueso	Arena	SW ó SP	SW = A-1	
Ladrillo	Si	No	Si	Si	
	Suelo de grano Grueso	Arena	SW ó SP	SW = A-1	
Material-Selecto	Si	No	Si	Si	
	Suelo de grano Grueso	Arena	SW ó SP	SW = A-1	

*Fuente: Elaboración Propia a partir de Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos.*

Se puede observar en la tabla anterior que los materiales poseen igual clasificación de los suelos, SW según SUCS; o del grupo A-1 sub-grupo A1-a según AASHTO esto debido a que todos los materiales cumplen con los porcentajes máximos de material que pasa por las mallas No.10, 40 y 200 (*Ver Tabla 2.2*), lo que significa que las mezclas de suelo-cemento serán dosificadas con los mismos % de cemento.



## 4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

**Tabla 4. 2** *Resumen de Resultados de Ensayo Gravedad Específica y Absorción de Agregado Grueso*

<b>Densidad, Gravedad Específica y valor de Absorción.</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>Material selecto</b>	<b>Concreto triturado</b>	<b>Bloque de concreto triturado</b>	<b>Ladrillo de barro triturado</b>
Densidad Promedio (kg/m <sup>3</sup> )	2,461.78	2,085.05	1,903.31	1,608.47
Densidad Relativa (Gravedad Específica)	2.47	2.09	1.91	1.61
Valor promedio de absorción (%)	8.94	9.27	12.41	21.99

Estos valores pueden ser indicativos de la calidad de los materiales, absorciones altas indican agregados con alto contenido de poros permeables, lo que los vuelve de mala calidad para mezclas de superficie.

Los agregados con gravedad específica menores a 2 no son adecuados para el uso en mezclas de superficies, ya que pueden catalogarse como agregados livianos propensos a excesiva pulverización, a causa de las cargas verticales.

A partir de los resultados obtenidos de gravedad específica, el agregado grueso del material-selecto puede ser catalogado como agregado pesado, con un valor igual a 2.47 y absorción de 8.94%, los cuales son adecuados para mezclas en superficies de rodadura, por sus propiedades de resistencia a la pulverización debido a cargas vehiculares.

El concreto triturado presento una gravedad específica 2.09, y también puede ser catalogado como un agregado pesado, el resultado de absorción obtenido fue de 9.27%.

El bloque de concreto y ladrillo de barro triturados, presentan una gravedad específica de 1.91 y 1.61 respectivamente. Y el resultado de absorción que se obtuvo es de 12.41% y 21.99%. Lo cual los define como agregados livianos y con un alto contenido de poros.

Se puede demostrar la lógica de estos resultados, observando los datos de la **Tabla 4.2** a mayor gravedad específica menor absorción.

### 4.3 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE PESO UNITARIO SUELTO Y PESO UNITARIO VARRILLADO EN AGREGADOS

**Tabla 4.3** Resumen de resultados de ensayo peso unitario suelto y peso unitario varillado en agregados

<b>PESO UNITARIO SUELTO Y PESO UNITARIO VARRILLADO EN AGREGADO.</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>Material selecto</b>	<b>Concreto triturado</b>	<b>Bloque de concreto triturado</b>	<b>Ladrillo de barro triturado</b>
PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m <sup>3</sup> )	1427	1269	1187	1085
PESO UNITARIO VARRILLADO (Kg/m <sup>3</sup> )	1548	1367	1312	1197

En las *CONDICIONES TÉCNICAS PARA MANTENIMIENTOS RUTINARIOS DE VÍAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS DE FOVIAL/AÑO: 2012*, para la utilización y reposición de capas de balasto establece que el peso unitario suelto debe de ser mayor a 1400 Kg/m<sup>3</sup>.

Los resultados obtenidos demuestran que el material-selecto tiene un peso unitario suelto 1427 Kg/m<sup>3</sup>, lo cual lo convierte en un material idóneo para ser utilizado como en capas de balasto.

En cambio el material concreto triturado, bloque de concreto triturado, ladrillo de barro triturado, no cumplen con el valor dado por la especificación técnica ya que su peso unitario suelto es menor a los 1400 Kg/m<sup>3</sup>. Por lo tanto no puede ser utilizado como material para capa de balasto.

#### **4.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LÍMITES DE CONSISTENCIA**

Los límites de consistencia de los materiales en estudio no son realizables, se intento realizar el Límite Plástico el cual consiste en realizar rodillos de 1/8" con el suelo que pasa la malla No. 40 hasta un estado entre plástico y semisólido en el que el suelo presente fracturas superficiales, este procedimiento no se pudo realizar, la carencia de plasticidad de los materiales no permitió llevar a los materiales a la condición antes mencionada debido a que la muestra de desmenuzo.

Se intento realizar el Limite Liquido en la copa Casagrande y no se pudo realizar por las propiedades de los materiales antes mencionadas, por lo tanto la plasticidad del suelo es igual a cero, en consecuencia el índice de plasticidad es igual a cero, comprobando que los materiales en estudio deben ser considerados como gravas o arenas.

Ya que la plasticidad de los materiales en estudio es 0 (cero) debido a que no se puede determinar el Limite Liquido; según la AASHTO el índice de grupo de los materiales IG es igual a 0 (cero), por lo que se complementa la clasificación de los materiales con **A1-a (0)**; este caso es característico de los suelos no plásticos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3, en donde su índice de grupo siempre es 0 (cero).

#### **4.5 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RELACIÓN DENSIDAD – HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO)**

La siguiente tabla presenta los datos de la prueba proctor, los datos del proctor #1 se encuentran en Capítulo 3; de los proctor #2 solamente se muestran a los resultados de peso volumétrico seco máximo y humedad óptima:

**Tabla 4. 4** *Resumen de resultados de ensayo proctor modificado*

<b>RESULTADOS DE PRUEBA PROCTOR MODIFICADO</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>PRUEBA #</b>	<b>PESO VOLUMÉTRICO MÁXIMO KG/M<sup>3</sup></b>	<b>HUMEDAD OPTIMA %</b>
MATERIAL- SELECTO	1	<b>1848.0</b>	12.9
	2	<b>1883.0</b>	12.0
CONCRETO TRITURADO	1	<b>1682.0</b>	13.25
	2	<b>1670.0</b>	13.75
BLOQUE DE CONCRETO	1	<b>1646.0</b>	16.95
	2	<b>1610.5</b>	15.1
LADRILLO DE BARRO	1	<b>1403.7</b>	14.0
	2	<b>1378.6</b>	14.7

De los materiales en estudio, el que mayor peso volumétrico seco máximo presenta es el material-selecto con 1848.0 Kg/m<sup>3</sup> con una humedad 12.9%; y de los materiales reciclados, es el concreto triturado con un peso volumétrico seco máximo 1682.0 Kg/m<sup>3</sup> con una humedad de 13.25%.

El bloque de concreto y ladrillo de barro triturado presentan un 10.93% y 24.08% menos de peso volumétrico seco máximo respecto al material-selecto.

Las razones de estos resultados se derivan de:

- *La Granulometría;* se puede observar que la curva granulométrica del material-selecto, tienen una mayor proporción de tamaños lo que implica mejor

acomodamientos de las partículas, comportamiento que no es explotado al máximo por los materiales reciclados, debido al exceso de partículas finas.

- *Gravedad Específica*; dados los resultados, se puede relacionar que el peso volumétrico de los materiales, tiene un comportamiento directamente proporcional a la gravedad específica de estos.

Se pudo observar que al someter el ladrillo de barro triturado al ensayo de compactación, las partículas se pulverizan, ya que estas por sus propiedades gravimétricas son frágiles, volviendo al suelo más fino y con menos cantidad de grueso, perturbando a la vez su granulometría.

#### 4.6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE VALOR DE SOPORTE DEL SUELO, CBR

Las propiedades de los suelos que influyen en el resultado del CBR, son las mismas que definen el peso volumétrico seco máximo de estos, por lo que los materiales con mayor peso volumétrico alcanzarán mayor valor de soporte.

En el documento “Carreteras, Calles y Aeropistas, de Raúl Valle Rodas”, se recomienda que para materiales de préstamo de sub-base, las expansiones deben ser menores de 2% y recomiendan que materiales utilizados para bases deban ser menores al 1%.

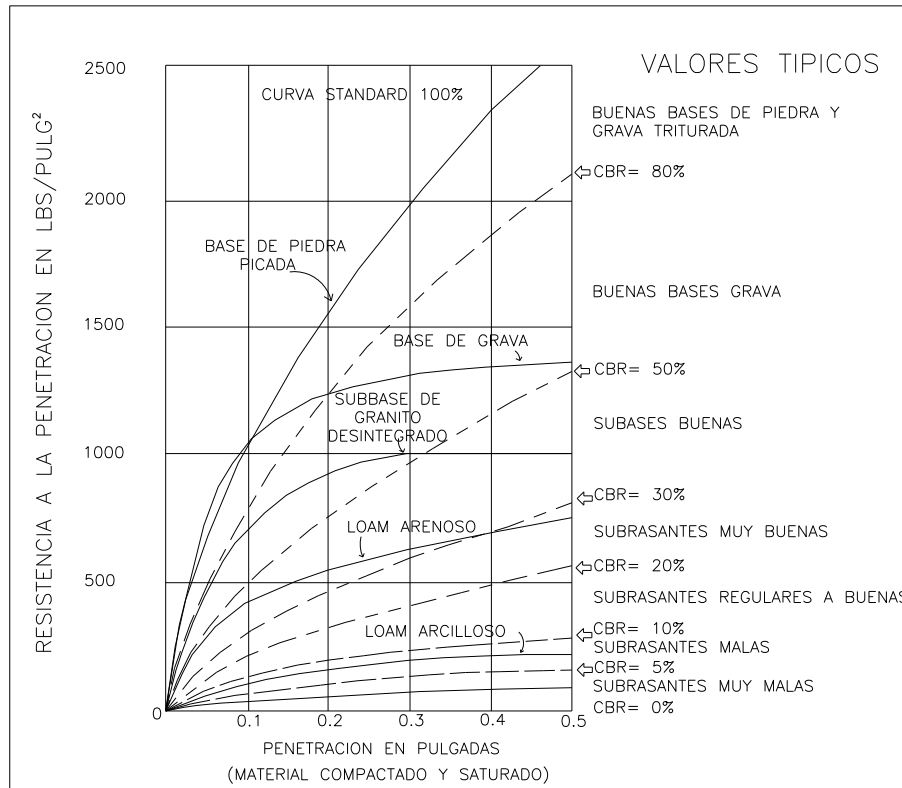
**Tabla 4. 5** *Calificación de suelos para pavimentos según CBR*

CAPA	CALIFICACION				
	MB	B	R	M	MM
SUB-CORONA	≥20%	10%<CBR<20%	5%<CBR<10%	CBR<10%	CBR<10%
SUB-BASE	>50%	30%<CBR<50%	20%<CBR<30%	CBR<30%	CBR≤20%
BASE	≥80%	50%<CBR<80%	40%<CBR<50%	CBR<40%	CBR≤30%

*Fuente: Carreteras, Calles y Aeropistas, Valle Rodas, Raúl. Sexta Edición.*

**Simbología:** MB: Muy Buena B: Bueno R: Regular M: Mala MM: Muy Mala

**Figura 4. 1** Diagrama, calificación de suelos para pavimentos según CBR



Fuente: Carreteras, Calles y Aeropistas, Valle Rodas, Raúl. Sexta Edición.

Los resultados obtenidos de expansión luego de haber sido sumergidas durante un periodo de 96 horas y el Valor Relativo de Soporte (CBR), son los siguientes:

0.17% para el Material Selecto con un CBR de 56%; 0.11% para el concreto triturado con un CBR de 51%; 0.15% para el bloque de concreto triturado con un CBR de 44%; 0.24% para el ladrillo de barro triturado con un CBR de 30%.

Al comparar los resultados con la tabla y grafica de calificación de suelos para pavimentos según CBR y lo antes mencionado sobre la expansión, se pueden considerar los materiales reciclados, como aptos para utilizarlos en estructuras de pavimentos ya sea como base o sub-base, ya que su expansión es relativamente baja, los agrietamientos producidos por cambios en de humedad serán mínimos y no se verán reflejados en las capas superiores.

## 4.7 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE PRUEBA PROCTOR MODIFICADO CON CEMENTO

El procedimiento que se siguió fue el de la Prueba Proctor (AASHTO T-180), con la variante que al material se le incorporó un porcentaje de cemento, determinado posterior a su clasificación; la finalidad del ensayo es conocer la relación humedad óptima – peso volumétrico seco máximo con porcentajes de cemento de 3%, 5%, 7%, los resultados obtenidos en el ensayo son los siguientes:

**Tabla 4. 6** Resumen de resultados prueba proctor modificado con cemento

% DE CEMENTO	PESO VOLUMÉTRICO MÁXIMO Kg/m <sup>3</sup>	HUMEDAD OPTIMA %
<i>MATERIAL SELECTO</i>		
3 %	1855.0	14.25
5 %	1856.5	14.85
7 %	1859.5	13.5
<i>CONCRETO TRITURADO</i>		
3 %	1731.0	16.62
5 %	1770.0	16.27
7 %	1820.0	16.10
<i>BLOQUE DE CONCRETO TRITURADO</i>		
3 %	1677.0	16.88
5 %	1685.0	16.33
7 %	1751.0	16.64
<i>LADRILLO DE BARRO TRITURADO</i>		
3 %	1379.3	16.07
5 %	1375.0	16.4
7 %	1397.5	15.6

De los resultados obtenidos se puede observar que las mezclas de suelo-cemento que presenta mayor peso volumétrico seco son las de material-selecto, se observa que el rango de peso volumétrico seco de los materiales reciclados es mayor que el del material

selecto con igual incrementos de cemento, esto se debe a que la granulometría incide en los resultados, ya que el cemento que se incorpora es un material fino que pasa la maya No. 200 y este ayuda a que la mezcla tenga una mejor cohesión entre las partículas y que el cemento ayude a complementar parte del material fino de los cuales carece el material reciclado. Además se puede observar que en todos los resultados se demuestra que a mayor % de cemento mayor peso volumétrico seco máximo.

#### 4.8 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE MOLDEADO DE PROBETAS DE ENSAYO

**Tabla 4. 7** Resumen de resultados de moldeado de probetas de suelo-cemento

<b>Material-Selecto con 3% de Cemento</b>			<b>Material-Selecto con 5% de Cemento</b>			<b>Material-Selecto con 7% de Cemento</b>		
Peso Volumétrico seco máx.		1855 Kg/m <sup>3</sup>	Peso Volumétrico seco máx.		1856.5 Kg/m <sup>3</sup>	Peso Volumétrico seco máx.		1859 Kg/m <sup>3</sup>
Humedad optima		14.25 %	Humedad optima		14.85 %	Humedad optima		13.5 %
Molde	humedad	P V S	Molde	humedad	P V S	Molde	humedad	P V S
(Nº)	(%)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Nº)	(%)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Nº)	(%)	(Kg/m <sup>3</sup> )
1	13.38	1827.47	6	14.07	1887.23	6	12.69	1839.35
2	13.54	1870.27	2	14.33	1909.22	1	12.89	1872.75
3	13.90	1866.60	1	14.24	1891.36	2	12.76	1900.16
4	13.43	1835.00	5	14.17	1888.85	3	12.59	1902.09
5	13.58	1874.47	3	14.43	1912.20	5	12.65	1877.71
6	13.97	1860.57	4	14.02	1901.43	4	12.81	1875.22



*Resumen de resultados, moldeado de probetas de suelo-cemento*

<b>Concreto Triturado con 3% de Cemento</b>		
Peso Volumétrico seco máx.		1731 Kg/m3
Humedad optima		16.62 %
Molde	humedad	P V S
(Nº)	(%)	(Kg/m3)
3	15.65	1732.27
2	15.68	1723.71
5	16.52	1684.96
4	16.78	1686.71
6	16.60	1682.53
1	15.74	1720.08

<b>Concreto Triturado con 5% de Cemento</b>		
Peso Volumétrico seco máx.		1770 Kg/m3
Humedad optima		16.27 %
Molde	humedad	P V S
(Nº)	(%)	(Kg/m3)
4	15.69	1678.82
3	15.51	1728.99
1	16.02	1720.40
6	15.66	1697.21
5	15.67	1673.63
2	15.77	1724.08

<b>Concreto Triturado con 7% de Cemento</b>		
Peso Volumétrico seco máx.		1820 Kg/m3
Humedad optima		16.10 %
Molde	humedad	P V S
(Nº)	(%)	(Kg/m3)
1	16.06	1728.01
6	15.69	1728.98
2	15.51	1748.13
5	15.33	1740.76
2	14.99	1760.55
6	15.67	1720.09

<b>Bloque de Concreto Triturado con 3% de Cemento</b>		
Peso Volumétrico seco máx.		1677 Kg/m3
Humedad optima		16.88 %
Molde	humedad	P V S
(Nº)	(%)	(Kg/m3)
1	16.12	1652.60
2	16.18	1630.02
3	16.02	1594.95
4	16.46	1598.95
5	16.08	1588.62
6	16.42	1648.48

<b>Bloque de Concreto Triturado con 5% de Cemento</b>		
Peso Volumétrico seco máx.		1685 Kg/m3
Humedad optima		16.33 %
Molde	humedad	P V S
(Nº)	(%)	(Kg/m3)
1	15.46	1703.24
2	15.37	1727.46
3	15.50	1667.93
4	15.37	1674.42
5	15.63	1623.21
6	15.69	1711.43

<b>Bloque de Concreto Triturado con 7% de Cemento</b>		
Peso Volumétrico seco máx.		1751 Kg/m3
Humedad optima		16.64 %
Molde	humedad	P V S
(Nº)	(%)	(Kg/m3)
1	16.64	1647.05
2	15.88	1727.15
3	15.98	1698.32
4	16.58	1670.51
5	16.14	1732.33
6	16.07	1706.75

<b>Ladrillo de Barro Triturado con 3% de Cemento</b>		
Peso Volumétrico seco máx.		1379.3 Kg/m <sup>3</sup>
Humedad optima		16.07 %
Molde	humedad	P V S
(Nº)	(%)	(Kg/m <sup>3</sup> )
1	15.75	1451.99
2	15.14	1468.76
3	16.54	1443.85
4	15.52	1452.08
5	15.61	1457.37
6	15.47	1452.39

<b>Ladrillo de Barro Triturado con 5% de Cemento</b>		
Peso Volumétrico seco máx.		1375 Kg/m <sup>3</sup>
Humedad optima		16.4 %
Molde	humedad	P V S
(Nº)	(%)	(Kg/m <sup>3</sup> )
1	15.94	1481.44
2	15.72	1498.76
3	16.56	1510.64
4	14.82	1478.34
5	16.19	1490.92
6	15.53	1467.34

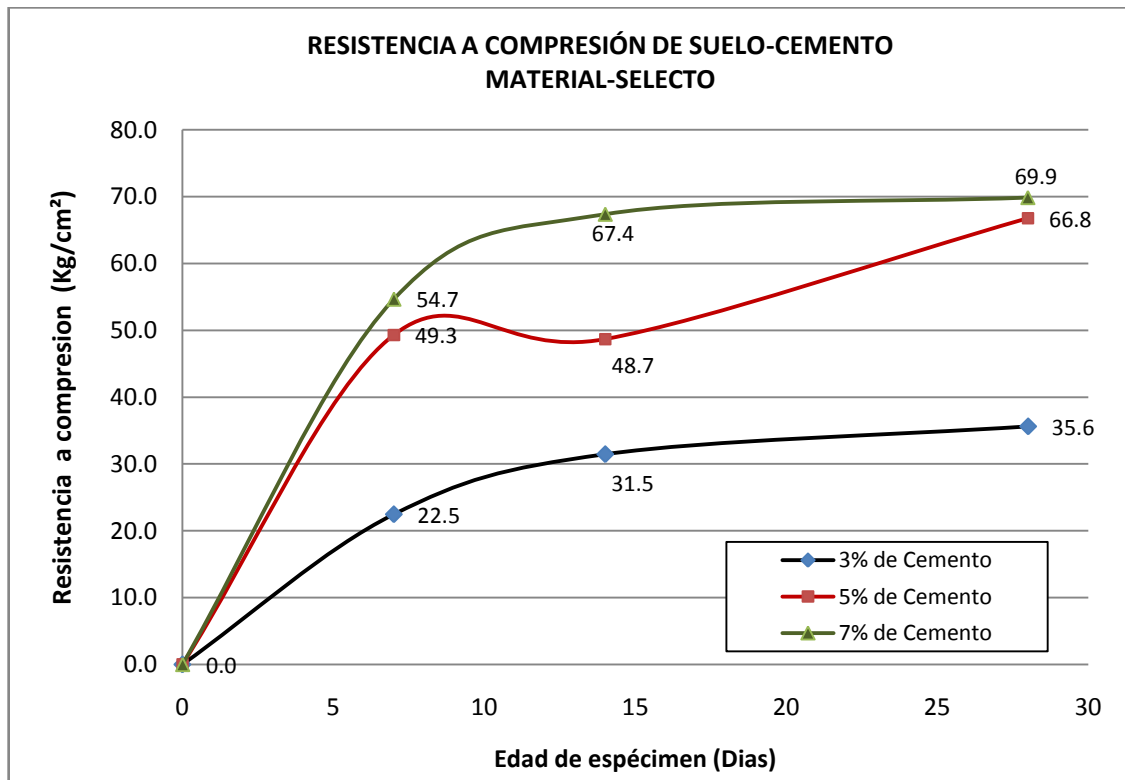
<b>Ladrillo de Barro Triturado con 7% de Cemento</b>		
Peso Volumétrico seco máx.		1397.5 Kg/m <sup>3</sup>
Humedad optima		15.6 %
Molde	humedad	P V S
(Nº)	(%)	(Kg/m <sup>3</sup> )
1	15.44	1496.93
2	15.03	1513.33
3	15.80	1501.44
4	14.89	1460.93
5	14.86	1500.82
6	15.61	1479.13

En los resultados se puede observar que los contenidos de humedad de los especímenes ya moldeados se encuentran próximos a la humedad óptima obtenida para cada material y porcentaje de cemento, por lo que los especímenes moldeados son aptos para someterlos al ciclo de curado y posterior compresión.

## 4.9 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

El ensayo de resistencia a la compresión simple se realizó bajo las normas AASHTO T-180 (Moldeo para los especímenes), ASTM D-1633 (Ensayo Estándar de Compresión de Cilindros de Suelo - Cemento).

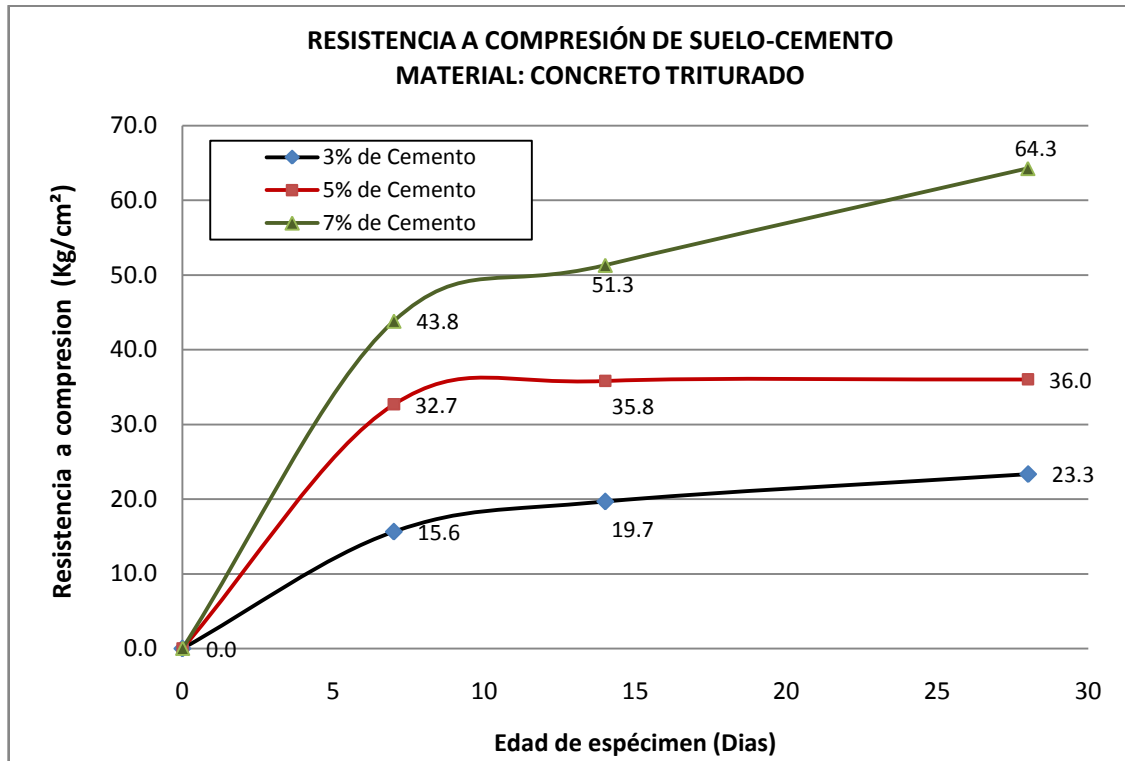
**Figura 4. 2** Grafica resistencia a compresión de especímenes de suelo-cemento utilizando material-selecto



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO MATERIAL-SELECTO**

Dias	3% de Cemento	5% de Cemento	7% de Cemento
0	0.0	0.0	0.0
7	22.5	49.3	54.7
14	31.5	48.7	67.4
28	35.6	66.8	69.9

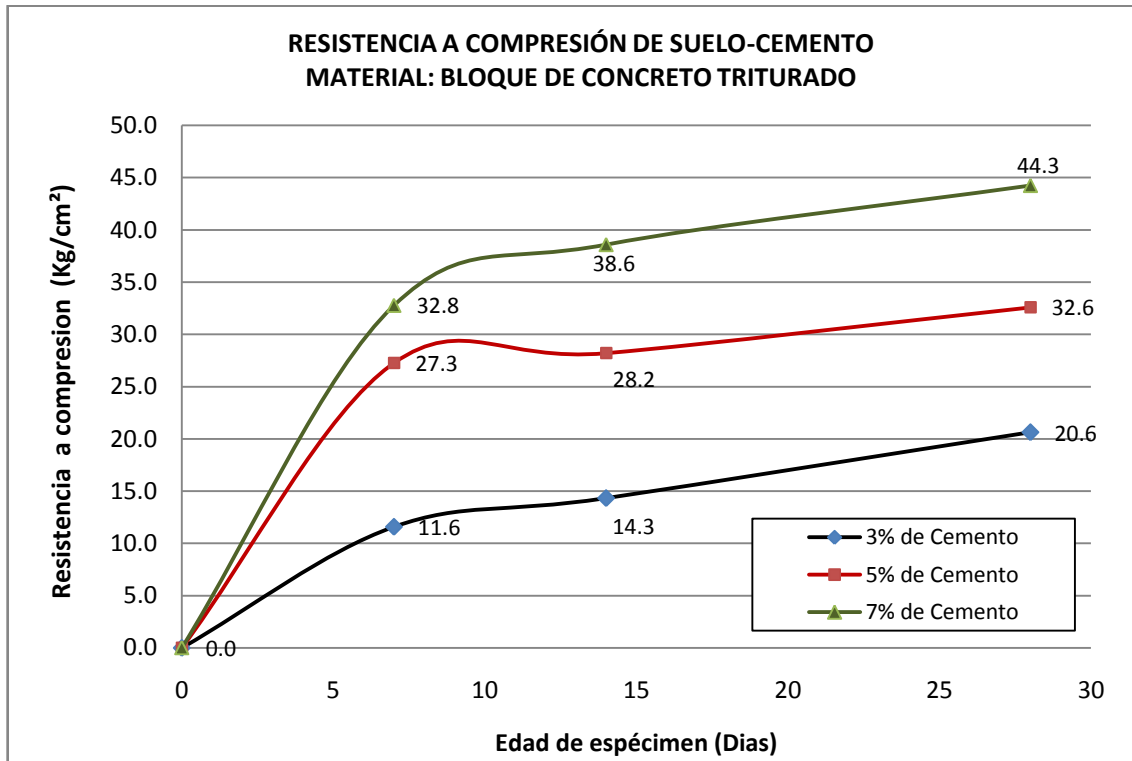
**Figura 4. 3** *Grafica resistencia a compresión de especímenes de suelo-cemento utilizando concreto triturado*



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO  
MATERIAL: CONCRETO TRITURADO**

Dias	3% de Cemento	5% de Cemento	7% de Cemento
0	0.0	0.0	0.0
7	15.6	32.7	43.8
14	19.7	35.8	51.3
28	23.3	36.0	64.3

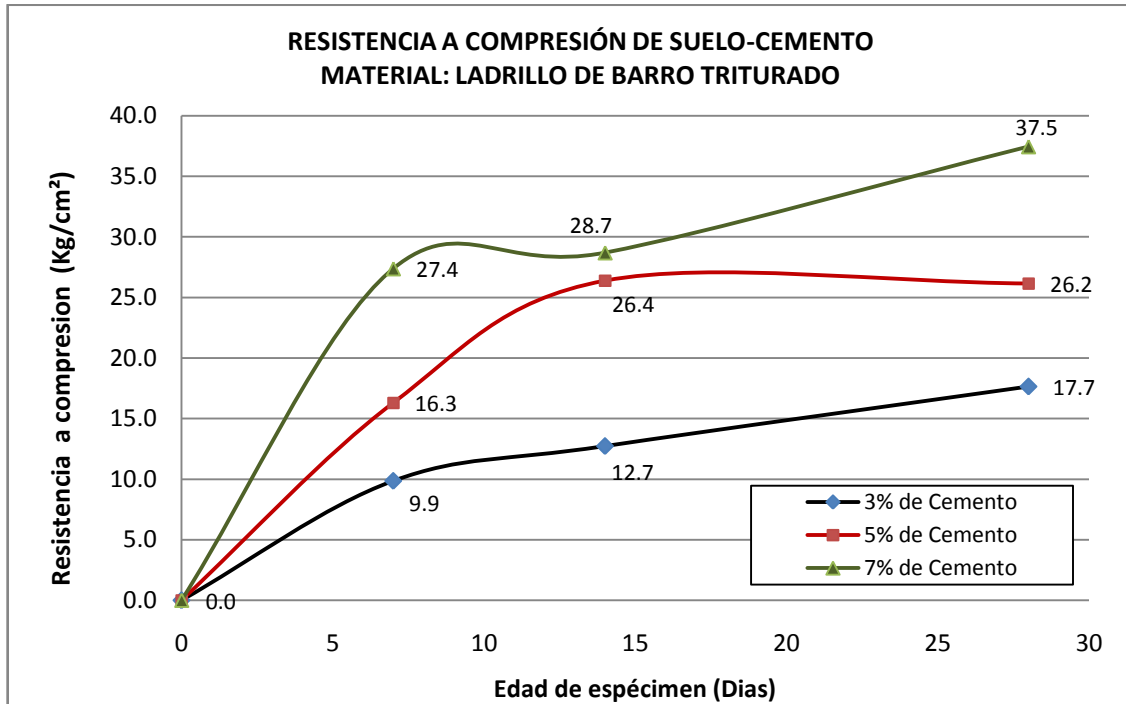
**Figura 4. 4** Grafica resistencia a compresión de especímenes de suelo-cemento utilizando bloque de concreto triturado



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO**  
**MATERIAL: BLOQUE DE CONCRETO TRITURADO**

Dias	3% de Cemento	5% de Cemento	7% de Cemento
0	0.0	0.0	0.0
7	11.6	27.3	32.8
14	14.3	28.2	38.6
28	20.6	32.6	44.3

**Figura 4. 5** Grafica resistencia a compresión de especímenes de suelo-cemento utilizando ladrillo de barro triturado



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO  
MATERIAL: BLOQUE DE CONCRETO TRITURADO**

Dias	3% de Cemento	5% de Cemento	7% de Cemento
0	0.0	0.0	0.0
7	11.6	27.3	32.8
14	14.3	28.2	38.6
28	20.6	32.6	44.3

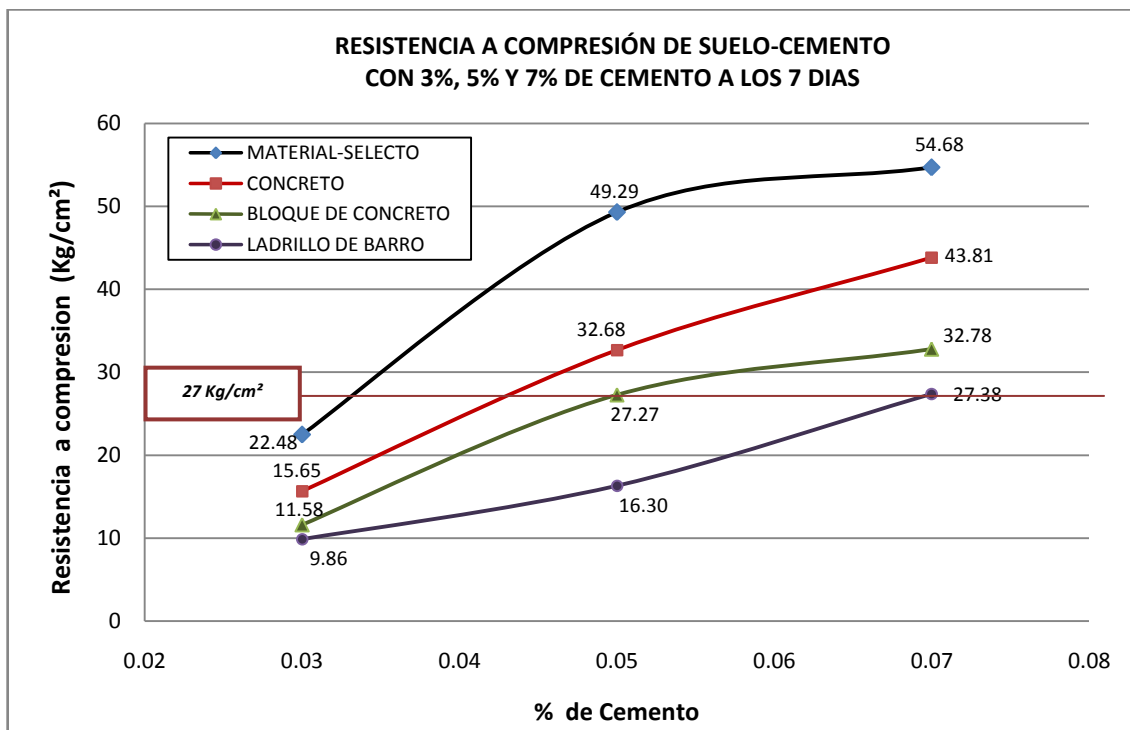
De acuerdo a las graficas anteriores los especímenes con los porcentajes de cemento con que se alcanzo el valor de resistencia de **27 kg/cm<sup>2</sup>** (Valor de resistencia especificado de nuestro medio)<sup>13</sup> a edad de 7 días son los siguientes:

<sup>13</sup> **CONDICIONES TÉCNICAS PARA MANTENIMIENTOS RUTINARIOS DE VÍAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS DE FOVAL / AÑO: 2012**

**"ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES REGIONALES" DE LA SECRETARIA DE INTEGRACIÓN ECONOMICA CENTROAMERICANA (SIECA) – 2 DA. EDICIÓN – AÑO - 2004**

- **49.3 kg/cm<sup>2</sup>** para el material selecto con un porcentaje de cemento del **5%**.
- **32.7 kg/cm** para el concreto triturado con un porcentaje de cemento del **5%**.
- **27.3 kg/cm** para el bloque de concreto triturado con un porcentaje de cemento del **5%**.
- **27.4 kg/cm** para el ladrillo de barro triturado con un porcentaje de cemento del **7%**.

**Figura 4. 6** Grafica resistencia a compresión de suelo-cemento utilizando 3%, 5% y 7% de cemento a los 7 días



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE SUELO-CEMENTO UTILIZANDO 3%, 5% Y 7% DE CEMENTO A LOS 7 DIAS**

RESISTENCIA A LOS 7 DIAS				
% DE CEMENTO	MATERIAL-SELECTO	CONCRETO	BLOQUE DE CONCRETO	LADRILLO DE BARRO
3%	22.48	15.65	11.58	9.86
5%	49.29	32.68	27.27	16.30
7%	54.68	43.81	32.78	27.38

En la grafica anterior se observan los porcentajes de cemento mínimo con los cuales los materiales en estudio alcanzan la resistencia de **27 Kg/cm<sup>2</sup>** a los 7 dias, son **4%, 5%, 5% y 7%**, para el Material-Selecto, concreto, bloque de concreto y ladrillo de barro triturado respectivamente. Se puede observar que los materiales concreto y bloque de concreto triturado tiene un comportamiento mecánico similar al del material-selecto.

**Tabla 4. 8** Comparación de las propiedades de los materiales reciclados y material-selecto

PRUEBA DE LABORATORIO		MATERIAL-SELECTO	CONCRETO TRITURADO	BLOQUE DE CONCRETO TRITURADO	LADRILLO DE BARRO TRITURADO
Análisis granulométrico de suelos (ASTM D-422-90)	Coeficiente de Uniformidad	19.77	12.50	14.88	21.56
	Coeficiente de Compacidad	1.04	1.62	1.36	1.36
Determinación de gravedad específica y absorción de granos de grava (ASTM C-127-01)	Gravedad específica	2.47	2.09	1.91	1.61
	Absorción	8.94	9.27	12.41	21.99
Determinación de límites de Atterberg (ASTM D-4318-00)		0	0	0	0
Método de prueba estándar para densidad de masa y vacíos en agregado (ASTM C-29/ C-29M-97)	Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1427.0	1269.0	1187.0	1085.0
	Peso Unitario Varillado (Kg/m <sup>3</sup> )	1548.0	1367.0	1312.0	1197.0
Prueba proctor modificada (AASHTO T-180)	Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m <sup>3</sup> )	1848	1682.6	1646	1403.7
CBR (ASTM D-1883-05)	CBR (%)	56	51	44	30
Proctor modificado (AASHTO T-180) (Con cemento ) Peso Volumétrico Seco Máximo (Kg/m <sup>3</sup> )	3% de cemento	1855.0	1731.0	1677.0	1379.3
	5% de cemento	1856.0	1770.0	1685.0	1375.0
	7% de cemento	1859.5	1820.0	1751.0	1397.5



Compresión simple de probetas cilíndricas de suelocemento (ASTM D-1633-00) <i>Resistencia a compresión a los 7 días (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	3% de cemento	<b>22.48</b>	<b>15.65</b>	<b>11.58</b>	<b>9.86</b>
	5% de cemento	<b>49.29</b>	<b>32.68</b>	<b>27.27</b>	<b>16.30</b>
	7% de cemento	<b>54.68</b>	<b>43.81</b>	<b>32.78</b>	<b>27.38</b>

#### **4.10 ANÁLISIS DE INVESTIGACIÓN DE CAMPO EN VERTEDEROS**

Con la visita de campo a los vertederos queda en manifiesto que en nuestro medio los residuos de construcción y demolición no tienen el tratamiento adecuado, por lo que causan afectaciones al ambiente; en los lugares visitados no solo se observaron residuos de construcción en estos también se encontraron desechos sólidos comunes lo que intensifica las afectaciones ambientales.

Las áreas afectadas identificadas en las visitas a los vertederos se pueden observar en *Anexo No.1*, de estas se observa que tienen en común mayor cantidad de residuos de construcción y demolición de los utilizados en esta investigación, además un constante crecimiento de áreas afectada las cuales son derechos de vía de carreteras y terrenos adyacentes a estas.

El vertido inadecuado de los residuos de la construcción y demolición se debe a que la ciudad de San Miguel no cuenta con un lugar adecuado donde la población pueda depositarlos, existen terrenos particulares que reciben estos residuos con el fin de utilizarlos como material de relleno, algunos de estos terminan siendo botaderos a cielo abierto, estas prácticas no solventan la problemática ya que no cuentan con el monitoreo y control de autoridades competentes, generando afectaciones ambientales que deberían

de ser reguladas en base a las leyes existentes (Constitución de la Republica Art.117, Ley de Medio Ambiente Art. 21,75, 85, 86, LACAP Art. 15, 16.)

A continuación se muestra cuadro resumen de afectaciones ambientales que se generan en los vertederos visitados:

**Tabla 4. 9** *Cuadro resumen de afectaciones en vertederos visitados, ubicados en la ciudad de San Miguel.*

FACTOR AMBIENTAL	AFECTACIONES AMBIENTALES	DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS POTENCIALES
ATMOSFERA	Aire	Contaminación del aire, debido a la generación de partículas de polvo que se generan en el lugar de disposición final de los RCD.
SUELO	Relieve	Modificación de la Topografía.
	Uso del suelo	Cambio en las propiedades naturales de los suelos.
	Drenaje	Alteración de escurrimiento superficial y obstrucción de obras de drenaje menor en carreteras.
AGUA	Superficial	Contaminan los cuerpos de aguas superficiales, ríos,
BIOLOGÍA	Flora	Perdida pastos y arboles de mediana altura.
	Fauna	Migración de animales existente en el lugar, e incremento de roedores e insectos.
SOCIAL	Salud	Incremento de enfermedades respiratorias y contagio por medio de roedores e insectos.
	Trafico	Reducen el derecho de villa en carreteras primaria.
PAISAJE	Paisajístico	Perdida del paisaje natural

De la Tabla anterior, la mayor parte de las afectaciones ambientales descritas son comunes para los vertederos visitados, ya que la práctica de utilizar RCD para relleno de terrenos privados es la que predomina, el 85% de los vertederos visitados son utilizados para este fin. El principal factor ambiental dañado por el vertido inadecuado de RCD en los vertederos visitados es el suelo.

**CAPÍTULO V:**  
**"PROPUESTA DE APLICACIÓN**  
**DE MATERIALES**  
**RECICLADOS"**

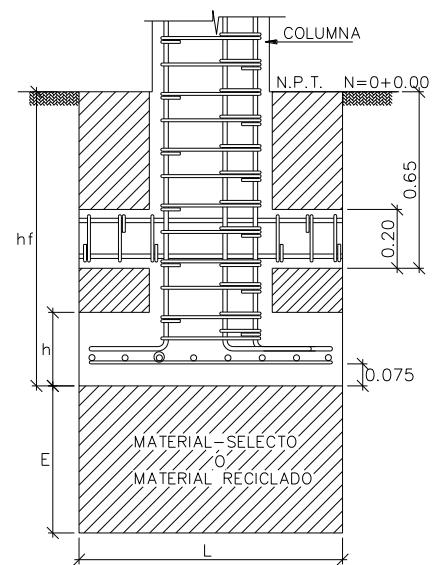
## 5.1. APLICACIÓN DE MATERIALES RECICLADOS SIN AGLUTINANTES

### 5.1.1. MATERIALES RECICLADOS EN BASES DE CIMENTACIONES

Los materiales investigados concreto y mampostería de bloque de concreto triturado, pueden utilizarse como base en cimentaciones superficiales; como soleras de fundación, zapatas corridas, zapatas aisladas, y losas de cimentación, en casos en los que los suelos naturales donde se cimentara la estructura tengan poca capacidad de carga y las cargas de diseño no sean de grandes magnitudes, para evitar la falla general por corte (la cual es falla característica de los suelos granulares en cimentaciones).

Los factores que afectan la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos granulares como los A-1-a (Ver Tabla 4.1) son: la compacidad y los esfuerzos de confinamiento; estos factores se solventan principalmente, proporcionando a los materiales reciclados: concreto y mampostería de bloque de concreto triturado, granulometrías bien graduadas que se traduce en un alto peso volumétrico seco máximo.

De proporcionar granulometrías bien graduadas similares o iguales a las de esta investigación (Ver sección 4.1), se proporciona a los materiales reciclados una resistencia confinante adicional a la base que soportan los elementos de concreto de las cimentaciones, la cual proviene por efectos de acomodo de las partículas.



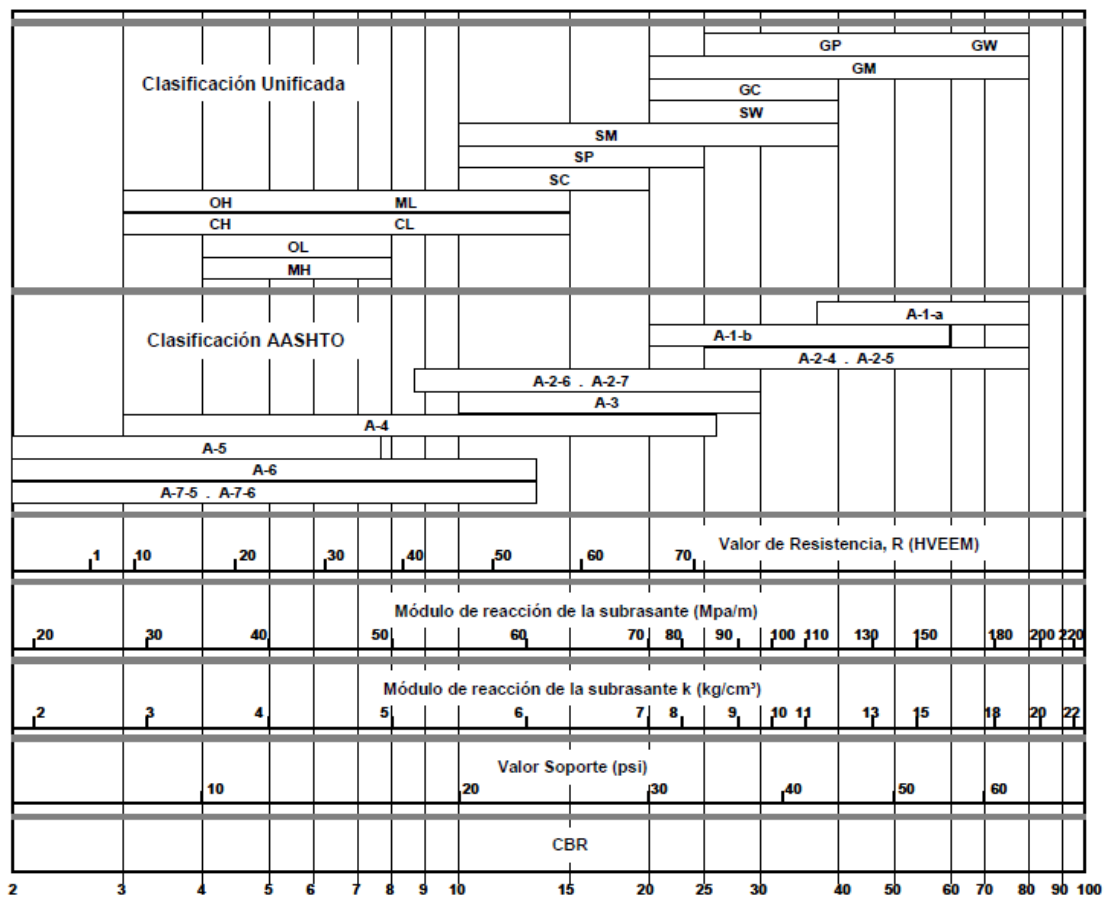
**Figura 5.1** Elevación de detalle típico de Zapata aislada

Fuente: Elaboración Propia

Por lo expuesto anteriormente, se propone la aplicación del material concreto y mampostería de bloque de concreto triturado como base para edificaciones de uno y dos niveles u otras infraestructuras que transmitan cargas de similar magnitud. Con esta propuesta se cubre una amplia variedad de construcciones donde se pueden aplicar estos materiales.

Estas aplicaciones se fundamentan en parte a los resultados de CBR y clasificación de los materiales reciclados, con los cuales se correlaciona la capacidad de carga, mediante el siguiente nomograma:

**Figura 5. 2** *Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos*



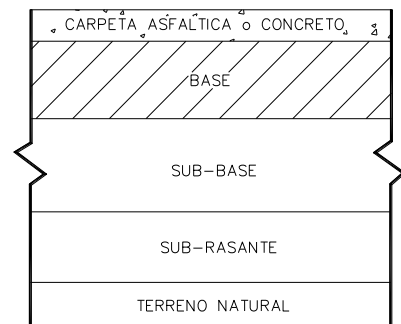
**Fuente:** *Manual centro americano para el diseño de pavimentos, Noviembre de 2,002*

Del nomograma anterior para un CBR de 51 y 44 para el concreto y mampostería de bloque de concreto triturado, respectivamente, ambos con clasificación A-1-a, se tiene como resultado un valor de soporte de 51 psi (3.56 kg/cm<sup>2</sup>) para el concreto triturado y 47 psi (3.28 kg/cm<sup>2</sup>) para la mampostería de bloque de concreto triturado: lo que significa que los materiales reciclados tienen la capacidad de soportar cargas de aproximadamente 30 ton/m<sup>2</sup>.

Es por esta capacidad que laboratorios de suelos y materiales, en los Ensayos de Penetración Estándar o SPT por sus siglas en ingles, recomiendan desplantes para estructuras de cimentación (principalmente zapatas) hasta estratos de suelos en los que la resistencia alcance 3 kg/cm<sup>2</sup>, se puede observar en la correlación anterior (*Tabla 5.1*) que los materiales reciclados propuestos, para la aplicación antes mencionada, cumplen con estos requerimientos estructurales a una compactación de un 95% de su peso volumétrico seco máximo.

### 5.1.2. MATERIALES RECICLADOS EN RELLENOS Y SUB-BASE EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS

Los materiales que se encuentran en los grupos A1-a, A1-b, A2-4, A2-5 y A-3 son adecuados como materiales de relleno cuando están adecuadamente protegidos contra agresiones hídricas y compactados bajo espesores moderados de pavimento (base y carpeta de rodadura) de un tipo apropiado para las cargas que soportará, o puede adecuarse por adiciones de pequeñas cantidades de ligantes naturales o artificiales (arcillas por ejemplo). El material concreto y mampostería de bloque de



**Figura 5.3** Sección de pavimentos rígidos y flexibles.

Fuente: Elaboración Propia

concreto se clasifican como A1-a y dados los resultados de peso volumétrico seco máximo y sus propiedades que provocan este comportamiento (que no difiere en gran cantidad con las del material-selecto, *Ver Tabla 4.4*), pueden utilizarse como material de relleno en terraplenes, bajo buenas técnicas de compactación, la cual por sus propiedades de limos, arenas y gravas deberá ser compactación por presión dinámica más vibración, bajo un control de calidad de densidad y humedad optima.

Los materiales reciclados podrán igualar el desempeño estructural de los materiales térreos convencionales; si en la construcción del terraplén con materiales reciclados su compactación se controla correctamente, es probable que el relleno resulte más resistente y menos compresible que la mayor parte de los depósitos naturales.

Además, se deberá garantizar que las cargas soportadas por los materiales reciclados sean distribuidas y transmitidas en menor magnitud por capas superficiales impermeables y bases con mayor resistencia, por lo que se recomienda el uso de los materiales concreto y bloque de concreto triturado para sub-base de empedrados, pavimentos de concreto o asfálticos, pisos industriales, material de relleno, material de relleno para tuberías etc... y como base en aceras peatonales y hombros de carreteras.

Para rellenos o terraplenes con materiales reciclados se recomienda que la ultima capa o capa superior sea suelo-cemento esto para disminuir la permeabilidad de los materiales granulares (la colocación de esta capa no significa omisión de capas superior de concreto o asfalto).

Los parámetros expuestos en la *Tabla 4.5* demuestran que el material concreto y mampostería de bloque de concreto triturado, tienen un aprovechamiento máximo al utilizarlos para sub-base en estructuras de pavimentos, con los cuales se espera un comportamiento Muy Bueno y Bueno para los materiales antes mencionados respectivamente.

### 5.1.3. MATERIALES RECICLADOS COMO ESTABILIZADORES DE ARCILLAS

Los tres materiales reciclados investigados en forma individual, podrían tener un buen funcionamiento como estabilizador físico de las propiedades plásticas de arcillas, realizando mezclas homogéneas de los materiales reciclados y arcillas y restituyendo en pilas de fundación o capas de pavimentos; debido a que sus Índices de plasticidad son igual a cero y su granulometría es bien graduada (*Ver secciones 4.1 y 4.4*) podrían contrarrestar las propiedades expansivas de las arcillas.

Se pretende con la utilización de los materiales reciclados sustituir el uso de la cal para la estabilización de arcillas, se recomienda usar los materiales reciclados para estabilizar suelos con Índice de Plasticidad mayor o igual a 10 y menor a 25, con este parámetro, la aplicación de los materiales reciclados queda sujeta a suelos con plasticidad de baja a media o todos los suelos clasificados como AASHTO A5, A6 y A7, y muchos suelos A-2-6 y A-2-7.<sup>14</sup>



**Fotografía 5. 1** *Arcillas con plasticidad media*

*Fuente: Elaboración Propia*

---

<sup>14</sup> **CONDICIONES TÉCNICAS PARA MANTENIMIENTOS RUTINARIOS DE VÍAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS DE FOVAL / AÑO: 2012**



## 5.2. APLICACIÓN DE MATERIALES RECICLADOS CON AGLUTINANTES (CEMENTO)

Debido a que los materiales reciclados son materiales granulares, la PCA los denomina **Base granular tratada con cemento** y los define como una mezcla de agregados pétreos, cemento Portland y agua, que endurece después de ser compactada y curada para formar un material de pavimento durable.

El suelo-cemento con materiales reciclados puede utilizarse en todas las aplicaciones anteriores (*Descritas en 5.1*) con cierta ventaja en cuanto a su resistencia y durabilidad, y además en las aplicaciones siguientes:

### 5.2.1. SUELO-CEMENTO CON MATERIALES RECICLADOS COMO MATERIAL BASE EN CIMENTACIONES

Las mezclas de suelo-cemento como material de construcción de elementos estructurales para edificaciones de cualquier tipo, deben cumplir varios requisitos, entre ellos ser económicas y tener la suficiente durabilidad y trabajabilidad. Esto se cumple en la gran mayoría de los casos cuando existe un predominio de las fracciones gruesas y la suficiente fracción fina, que aporta la cohesión necesaria para poder trabajar con esta mezcla, los suelos A-1-a (SW) como han sido clasificados los materiales de esta investigación cumplen con estos requisitos.

Los materiales reciclados han alcanzado la resistencia mínima a compresión que se maneja en nuestro medio ( $27\text{kg/cm}^2$ ), con porcentajes de



**Fotografía 5. 2** Suelo-cemento, sustituyendo material terreo por residuos de concreto reciclados.

*Fuente: Elaboración Propia*

cemento de: 5% para el concreto triturado, 5% para la mampostería de bloque de concreto y 7% para mampostería del ladrillo de barro triturado; estos porcentajes de cemento se encuentran en el rango de mezclas económicas lo que es un incentivo adicional a su aplicación (*Ver sección 2.3.3.*).

Con esta resistencia los materiales reciclados tienen la capacidad de soportar cargas de aproximadamente 250 ton/m<sup>2</sup> (25 kg/cm<sup>2</sup>), una magnitud nada despreciable dadas las construcciones más comunes en el país y por cual deja una variedad de tipos de construcciones donde los materiales reciclados se pueden aplicar.

La aplicación del ladrillo de barro en mezclas suelo-cemento por sí solo no es recomendable, debido a la fragilidad de sus granos gruesos, se recomienda su aplicación como material fino (material que pasa malla No. 4) mezclado con material grueso provistos de dureza y peso específico alto, la adición del ladrillo de barro en estas condiciones proporcionará a las mezclas trabajabilidad.

### **5.2.2. SUELO-CEMENTO CON MATERIALES RECICLADOS EN BASE DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO**

En El Salvador, el 95% de los caminos rurales pavimentados tienen base de suelo-cemento y en los últimos 10 años, el 100% de las nuevas vías urbanas e interurbanas y pisos industriales contienen la aplicación de esta tecnología constructiva, esta alta aplicación refleja la aceptación que el suelo-cemento ha ganado, debido principalmente a su capacidad de soporte y costo relativamente bajo.<sup>15</sup>

La construcción de bases para pavimentos de suelo-cemento con materiales reciclados en el país se están aplicando; son bases de suelo-cemento con pavimentos flexibles reciclados, normalmente se trata fisurados debido al volumen de tráfico pesado,

---

<sup>15</sup> Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC) - Investigación de Suelo-Cemento.

al final de su vida útil de servicio, o bien por problemas de drenaje y ahuellamientos, localmente.

Los especímenes cilíndricos de suelo-cemento con pavimentos asfálticos reciclados ensayados a los siete días de edad, elaborados con una energía de compactación similar a la norma de ensayo AASHTO T-180 deben tener resistencia mayor o igual que 27 kg/cm<sup>2</sup>.<sup>16</sup>

Los materiales reciclados alcanzaron esta resistencia a compresión con porcentajes de cemento relativamente bajos por lo que son aplicables como base. Debido a la pulverización que presentan las partículas de ladrillo de barro en el proceso de compactación no se recomienda su aplicación como materiales único, si no dentro de un diseño de mezcla con los otros materiales reciclados, donde la fracción de ladrillo de barro no presente partículas que se retengan en la malla No. 4.

Además evidentemente debido a los resultados de laboratorio de este trabajo de investigación, las capas de pavimentos de concreto son potencialmente aprovechables para utilizarlo en mezclas de suelo-cemento y aplicarlo en bases del mismo proyecto, esto principalmente en los casos más energéticos de rehabilitación, proyectos de reconstrucción total de la vía donde el pavimento haya cumplido su vida útil (20 a 30 años) presentando elevados



**Fotografía 5. 3** *Maquinaria utilizada para demoler pavimentos de concreto; martillo hidráulico adaptado a minicargador.*

*Fuente: bobcat.eu*

---

<sup>16</sup> **CONDICIONES TÉCNICAS PARA MANTENIMIENTOS RUTINARIOS DE VÍAS PAVIMENTADAS Y NO PAVIMENTADAS DE FOVIAL/ AÑO: 2012**

índices de deterioro y la reparación de las losas y colocación de sobre-capas de concreto ya no es técnicamente factible; además se requiera recuperar y aumentar la capacidad de soporte y características mecánicas de la base, debido a los incrementos de tránsito y para mejorar el nivel de servicio.

En proyectos donde se realiza la restitución y reparación de losas, generalmente la intervención del pavimento es en la capa de concreto (reparación de losa a profundidad completa y parcial), a la base no se da mantenimiento, por lo que para estos casos no se podrían reciclar y reutilizar el concreto en el mismo proyecto.

Hay que considerar además que al reciclar pavimentos de concreto, la energía utilizada para demoler pavimentos rígidos es mayor que la utilizada para demoler pavimentos flexibles, y que aquellos pavimentos provistos con electro-malla y pasadores requieren mayor trabajo para el reciclaje que los convencionales. El reciclaje de estos últimos sería poco probable en plantas insitu.

Para determinar el espesor de suelo-cemento con materiales reciclados, requerido para absorber la carga de la superficie vehicular, se recomienda aplicar la metodología AASHTO-93.

### **5.2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SUELO-CEMENTO CON RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN RECICLADOS<sup>17</sup>**

Dentro de las ventajas que tiene el suelo-cemento pueden destacarse las siguientes:

#### **a) Material durable:**

Numerosos registros de comportamiento indican que el suelo-cemento tiene mayor durabilidad que otros materiales de pavimentos de similar costo inicial.

---

<sup>17</sup> Adaptado de Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC) - Investigación de Suelo-Cemento, Oct. 2008

**b) Reducido impacto ambiental:**

Usar materiales reciclados en carreteras protege el medio ambiente, el cual cada vez impone mayores limitaciones para la búsqueda y explotación de bancos de materiales, práctica por muchos años utilizada.

**c) Resistencia a los agentes atmosféricos:**

Es notable su prolongada durabilidad bajo condiciones adversas. Por ello se ha usado en lugares con condiciones climáticas muy desfavorables.

**d) Aumento de resistencia y menos intervenciones de mantenimiento:**

Las propiedades mecánicas del suelo-cemento se incrementan con el tiempo lo que favorece que el mantenimiento del pavimento sea mínimo, obteniéndose prolongada vida útil y una reducción en el total de la estructura del pavimento.

**e) Efecto Económico**

Los materiales reciclados requieren porcentajes de cemento económicos, ya que como regla general se ha hallado que los requerimientos del cemento crecen cuando crecen los contenidos de limo y arcilla.

Finalmente, la posibilidad de reducir espesores de capas que conforman la estructura del pavimento sin disminuir la capacidad estructural de la misma, es uno de los logros que pueden obtenerse de las características que tiene el suelo-cemento. Esto se traduce en ahorros de materiales y aumento en los rendimientos de construcción.

***Desventajas que presenta el suelo-cemento con RCD:***

- a) Es un material en el que se producen grietas de contracción, las cuales pueden reflejarse en las capas bituminosas superiores. Sin embargo, es posible controlar considerablemente dicha contracción mediante uso de cementos y curado adecuados, y/o técnicas prefisuración.

- b) El tiempo para ejecutar el mezclado, conformación y compactación está limitado por el del fraguado del cemento.
- c) Tiene una reducida resistencia al desgaste. Por ello, las bases de suelo-cemento precisan capas de rodadura de concreto asfáltico, tratamientos superficiales o capas de rodadura de concreto hidráulico.

#### **5.2.4. CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS RECICLADOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO TRITURADOS.**

1. Realizar clasificación de los residuos de construcción y demolición en obra como materiales de albañilería y materiales de concreto.



2. Para materiales combinados concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro, caracterizar y realizar diseños de mezclas para cada acopio individual de material reciclado, y en base al conocimiento previo de las

**Fotografía 5. 4** *Clasificación de residuos de construcción y demolición en planta.*

*Fuente: recso.es*

propiedades, granulometría y gravedad específica dosificar porcentajes de materiales en base a las propiedades buscadas para cada aplicación específica.

3. Realizar compactación de materiales reciclados en obra por medio de presión dinámica y vibración.

4. Control de densidades: Si el material reciclado tiene igual o menos de 12% de finos (que pasa malla No. 200), deberá compactarse a una densidad no menor del 95% de la máxima densidad seca del método de ensayo Proctor Modificado.
5. Realizar tramos de prueba o pruebas de campo para determinar la energía de compactación necesaria con la que el material reciclado alcanza la densidad del 95% de su peso volumétrico seco máximo.
6. Las mezclas de suelo-cemento con material reciclado pueden contener partículas de hasta 2" si se utilizara como base, y hasta 3" si se utilizara como sub-base.
7. El contenido de humedad puede estar dentro del 2% de la óptima. Para condiciones de trabajo durante el verano, se recomienda un contenido de +2% del nivel óptimo para compensar las pérdidas por evaporación.
8. Para determinar el espesor de materiales reciclados (con y sin aglutinantes) utilizados como base en estructuras de cimentaciones, se debe considerar prevenir la pulverización de las particular, debido a que son suelos granulares y disipan las cargas, principalmente por medio del contacto de los granos, se debe garantizara menor carga soportada por cada partícula individual.

*Consideraciones específicas para suelo-cemento utilizado en base para estructuras de pavimentos:*

9. La tolerancia de planeidad de la capa terminada es normalmente de 10 mm (3/8") cuando se prueba con una regla de 5m (16 pies).
  - a. El empleo de una moto niveladora es la mejor forma de lograr la tolerancia requerida, mediante a la homogenización de la mezcla y distribución uniforme previo a la compactación.
  - b. Dado que el suelo-cemento es un material rígido, no es práctico volver a nivelar después de la compactación. Por lo tanto, deben tomarse las

precauciones para alcanzar la tolerancia especificada mediante la compactación con el rodo liso.

**10.** Implementar técnicas de prefisuración, ya que los materiales triturados por ser materiales granulares tratados con cemento incrementan las agrietas por retracción y por las variaciones de temperatura y humedad.

**11.** Para determinar el espesor de suelo-cemento con materiales reciclados, requerido para absorber la carga de la superficie vehicular, se recomienda aplicar la metodología AASHTO 93.

### **5.3. PLANTA DE RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**

De acuerdo a los datos analizados, existe una diferencia entre las propiedades de los residuos de albañilerías y los de concreto, siendo estos últimos los que proporcionan mayor resistencia mecánica. Esta diferencia de densidad y de resistencia a la compresión, ha constituido uno de los principales motivos en la decisión de reciclar, de forma independiente, los residuos de *concreto* de los de *albañilería*, por lo que la clasificación de los RCD debe iniciar insitu; incluso cuando los escombros se deban a destrucción de la infraestructura por fenómenos naturales.

Plantas en Latinoamérica, para conservar las propiedades individuales de cada material de demolición y reconstrucción, imponen impuestos por la admisión de materiales con alto grado de heterogeneidad.

Ya que lo más recomendable es tratar los materiales en las plantas de reciclaje principalmente en dos grupos, materiales de albañilería y concreto, la combinación de estos se realizará en función de las propiedades previamente identificadas para cada grupo de materiales acopiados, y para una resistencia especificada para cada proyecto.



El tipo de planta de reciclaje es más simple o más compleja, según sea la disponibilidad y calidad de la materia prima a utilizar, así como la variedad granulométrica y calidad del material a obtener, para la aceptación de una planta de reciclaje de materiales pétreos es necesario el cumplimiento de tres pre - requisitos:

- **La existencia o generación de un volumen importante de residuos.**
- **La posibilidad de aplicar los productos obtenidos**
- **La existencia de un lugar adecuado para la instalación de la unidad recicladora.**

El lugar de instalación de la planta es de importancia fundamental para la aplicación del programa de reciclaje. Lo ideal es que las plantas se encuentren próximas a las fuentes generadoras del residuo y a los lugares de aplicación del producto reciclado, o sea insertadas en el contexto urbano.

### **5.3.1. PLANTAS ESTACIONARIAS DE RECICLAJE**

La trituración primaria mediante una machacadora de mandíbulas, una trituración secundaria con trituradoras de conos, así como separadores magnéticos y densímetros para eliminar los metales y otros contaminantes de bajo peso específico. El movimiento interno del material se garantiza por medio de transportadores de bandas, y la clasificación granulométrica por cribas vibratorias.

La principal ventaja de estas plantas radica en la posibilidad de garantizar mejor calidad y variedad del producto a obtener; debido a la posibilidad de emplear mayor cantidad y variedad de equipos potentes y de un adecuado proceso de trituración y limpieza.



**Fotografía 5. 5** *Planta estacionaria para reciclaje de RCD*  
*Fuente: biurrarena.com*

### 5.3.2. PLANTAS MÓVILES DE RECICLAJE

La utilización de plantas móviles es utilizada principalmente en el reciclaje de pavimento. Esta aplicación se justifica en la necesidad de utilizar importantes cantidades de materiales reciclados en el mismo lugar donde son retirados. La posibilidad de producir el material en un



**Fotografía 5. 6** *Planta móvil para reciclaje de RCD*

*Fuente: trituradoradepiedra.org*

lugar relativamente cerca de las fuentes de consumo y su flexibilidad, provocan un incentivo en implementación de estas plantas.

Al igual que en las unidades estacionarias, existe una importante diversidad de diseños de plantas móviles. En su mayoría están compuestas por transportadores de bandas, una criba vibratoria y una trituradora, garantizando con esto, uno de sus requerimientos más importantes, la simplicidad de la instalación.

En nuestro medio gracias a la investigación de campo, el diseño de una planta móvil podría ser el más recomendado, ya que la cantidad de residuos de construcción disponibles en la zona, se considera no es suficiente como para justificar la inversión en una planta estacionaria, siendo conveniente el traslado de la maquinaria que comprenda la planta a otro lugar con materia prima disponible, o cuando se requiera utilizar importantes cantidades de áridos reciclados en lugares cercanos a donde son producidos residuos de construcción y demolición.

Esta posibilidad del traslado del sistema al lugar donde se encuentra ubicada la materia prima permite:

- Disminuir el consumo de combustible por concepto de transportación de la materia prima, lo que independientemente de la repercusión económica que esto trae, disminuye la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.
- Adquirir el árido (producto final) en zonas cercanas al lugar de su destino y por lo tanto, disminuir el gasto de combustible. Esto, además de la ventaja anteriormente señalada, trae como consecuencia para el comprador una disminución en el costo de obtención del material (costo de transporte), lo que lo hace más competitivo.
- Favorece el proceso educativo que debe desarrollar el Estado con la población y las empresas, en lo referente al vertido de escombros en *lugares previamente seleccionados*.

La posibilidad de movimiento para estas plantas implica la necesidad de un diseño que garantice una máxima movilidad, en una instalación lo más simple posible; teniendo esto último el inconveniente, hasta el momento, de limitar el grado de reducción de material a valores relativamente bajos, reduciendo con ello el tamaño de las partículas a obtener o del material a procesar, otra de las desventajas derivadas es una menor posibilidad de eliminar las partículas contaminantes

#### **5.4. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS**

En general la aplicación de un material novedoso está acompañada de tres consideraciones principales **resistencia, bajo costo, durabilidad**.

En esta investigación se abordó la primera consideración con resultados satisfactorios, ya que los materiales reciclados tienen propiedades con las cuales igualan el comportamiento mecánico de los materiales naturales.

Para determinar el efecto económico de las facetas que componen la producción y ejecución de los materiales concreto y mampostería de bloque de concreto y ladrillo de

barro triturado, se considera importante cuantificarlas, de forma tal que se puedan apreciar los posibles ahorros, los costos y demás factores eminentemente económicos que justifiquen lo invertido y demuestren a su vez lo económico de la tecnología.

Hay que considerar además que el precio de venta del material reciclado obtenido en las plantas trituradoras, debe ser inferior al del material natural, para la aceptación y competitividad del mismo.

**Para la realización de estas valoraciones, es necesario tener presente los siguientes datos:**

- a) Cálculo de los costos iniciales de puesta en marcha de las instalaciones y de su operación en un periodo dado de tiempo.
- b) Costo periódico de las necesidades de materiales básicos para la producción seleccionada, así como otros insumos necesarios.
- c) Cálculo de depreciación y obsolescencia de equipos e instalaciones.
- d) Costo real de la extracción de residuos de construcción y demolición, transportación, limpieza, triturado, tamizado, clasificación y procesos de construcción.
- e) Estudio de producción de residuos de construcción y demolición a nivel local necesarios para la sostenibilidad de la inversión.

***VENTAJAS ECONÓMICAS DEL RECICLAJE LOS RESIDUOS DE CONCRETO, MAMPOSTERÍA DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO TRITURADO:***

- Solo beneficios se pueden obtener tras el ahorro de costos de material, transporte, limpieza de RCD, ventajas económicas máximas cuando el material procesado sea utilizado en mismo proyecto.
- Menos contaminación ambiental debido a menos polución por el transporte del material y mayor disposición de recursos.
- La fácil viabilidad de implementación y el ahorro de tiempo en permisos para usar los botaderos.

- La factibilidad tanto técnica como económica del uso de los materiales reciclados como materia prima para la producción de suelo-cemento, permitirá sin dudas racionalizar al máximo el empleo de los medios disponibles, constituyendo esto una verdadera alternativa de solución para reducir el déficit de canteras aprovechables para su explotación.

**Tabla 5. 1** Resumen de aplicaciones de RCD (Sin Aglutinantes)

APLICACIÓN	RCD TRITURADO	CUANDO APLICARLO	ENSAYOS DE LABORATORIO	PROPIEDADES MATERIALES RECICLADOS	COMPORTAMIENTO MECÁNICO	CALCULO ESPESORES Y ESTRUCTURAL	CONSTRUCCIÓN	POSIBLE FALLA
- Material base en cimentaciones, edificaciones 1 y 2 niveles.  - Cimentaciones superficiales.	- Concreto  - Mampostería de bloque de concreto	- Adecuar topografía.  - Caso de suelos naturales con poca capacidad de carga  - Alto IP donde sea necesaria restitución o relleno.	- Granulometría.  - Límites de consistencia.  - Proctor  - CBR.  - Para RCD combinados realizar diseño de mezclas.  - En campo: control de densidad y humedad óptima.	- Granulometría bien graduada, peso volumétrico mayor que 1,600 kg/m³.  - CBR mínimo de 37.	- Capacidad de carga mayor o igual a 3kg/cm²  - Resistencia confinante adicional.	Función de las cargas, considerar espesores relativamente mayores para evitar faya general por corte.	- Garantizar confinamiento de base.  - Compactación por presión dinámica mas vibración.  - Compactación al 95% de su PVSM	Falla general por corte.
- Base en aceras peatonales, hombros de carreteras, soportar tuberías.  - Sub-base en estructuras de pavimentos.	- Mampostería de bloque de concreto			- Granulometría bien graduada  - CBR mayor a 30.	- Resistencia confinante adicional en rellenos.		- Garantizar confinamiento.  - Compactación por presión dinámica mas vibración.  - Compactación al 95% de su PVSM.	- Falla general por corte.  - Bombeo de finos.
- Material de relleno.	- Concreto  - Mampostería de bloque de concreto  - Ladrillo de barro				- Resistencia al corte en rellenos se debe al desarrollo de la resistencia a la fricción entre partículas.	- En cálculo de estructuras de retención, se elimina el aporte de cohesión.	- Terraplenes, ultima capa o capa superior suelo-cemento.  - Capas superficiales impermeables y bases con mayor resistencia.	- Falla por corte.

<p><b>-Material estabilizador de arcillas.</b></p>	<p><b>- Concreto</b></p> <p>- <b>Mampostería de bloque de concreto.</b></p> <p>- <b>Mampostería de ladrillo de barro.</b></p>	<p>- Arcillas con plasticidad media y propiedades expansivas.</p> <p>- Índice de Plasticidad mayor o igual a 10 y menor a 25.</p> <p>- Material de relleno y sub-rasante.</p>	<p>Granulometría, límites de consistencia, proctor,</p> <p>CBR.</p> <p>Para RCD combinados realizar diseño de mezclas.</p> <p>En campo: control de densidad y humedad óptima.</p>	<p>- Granulometría bien graduada</p> <p>-Plasticidad 0 (cero)</p>	<p>- Resistencia al corte por cohesión y fricción entre partículas.</p> <p>- Contrarrestar propiedades expansivas de las arcillas.</p>	<p>- Mezcla arcilla-materiales reciclados, CBR mínimo de 20.</p>	<p>- Garantizar confinamiento.</p> <p>-Compactación por presión estática.</p> <p>- Compactación al 95% de su PVSM.</p> <p>- Terraplenes, última capa o capa superior suelo-cemento.</p> <p>- Capas superficiales impermeables</p>	<p>- Cambios volumétricos, por humedad variable.</p> <p>- Fisura en capas superficiales de concreto o asfalto.</p>
--	---	---	---	---	--	--	---	--

**Tabla 5. 2** Resumen de aplicaciones de RCD en mezclas de suelo-cemento

APLICACIÓN	RCD TRITURADO	CUANDO APLICARLO	ENSAYOS DE LABORATORIO	PROPIEDADES MATERIALES RECICLADOS	COMPORTAMIENTO MECÁNICO	CALCULO ESPESORES Y ESTRUCTURAL	CONSTRUCCIÓN	POSIBLE FALLA
Suelo-cemento con materiales reciclados como material base en cimentaciones.	- Concreto - Mampostería de bloque de concreto.	- Caso de suelos naturales con poca capacidad de carga.  - Cargas puntuales del Orden de los 250 ton/m <sup>2</sup> (25 kg/cm <sup>2</sup> ),	- Granulometría. - Gravedad específica. - Límites de consistencia. - Proctor. - Moldeado y curado de probetas.	- Resistencia mínima a compresión 27kg/cm <sup>2</sup>	- Resistencia a compresión relativamente alta.	- En función esfuerzos transmitidos a cimentación.	- Presión dinámica mas vibración.	- Contracción
Suelo-cemento con materiales reciclados en base de estructuras de pavimento-	- Mampostería de ladrillo de barro, fracción que pasa malla No. 4.	- Pavimentos de concreto: Utilización en el mismo proyecto en casos de reconstrucción total de la vía.	- Compresión de especímenes de suelo-cemento. - En Campo control de densidad y humedad optima.	- % optimo de suelo-cemento con materiales reciclados entre 5 y 12%.	- Mayor rigidez, mejor distribución de cargas transmitidas	- Metodología AASHTO.	- Presión dinámica mas vibración.	- Falla de tensión, por capas subyacentes mal compactadas.
<p><b>El suelo-cemento con materiales reciclados puede utilizarse en todas las aplicaciones anteriores (Descritas la Tabla 5.1) con cierta ventaja en cuanto a su resistencia y durabilidad.</b></p>								



**CAPÍTULO VI:**  
**"CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES"**

## CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, los documentos citados y asesores se concluye que:

1. En base a las condiciones del experimento los porcentajes óptimos de cemento con que los materiales en estudio alcanzan la resistencia de  $27 \text{ kg/cm}^2$  a la edad de 7 días son los siguientes:

<i>Material-Selecto</i>	<b>4%</b>
<i>Concreto Triturado</i>	<b>5%</b>
<i>Mampostería de bloque de concreto triturado</i>	<b>5%</b>
<i>Ladrillo de barro triturado</i>	<b>7%</b>

Los porcentajes de cemento con que los materiales reciclados alcanzan la resistencia mínima a compresión requerida en nuestro medio ( $27 \text{ kg/cm}^2$ ) se encuentra dentro del rango de porcentajes de cemento (entre 5 y 12 por ciento) recomendados para que un suelo sea utilizado en mezclas de suelo-cemento. Por lo que se concluye que las propiedades índice y mecánicas de los materiales concreto, mampostería de bloque de concreto y ladrillo de barro triturado, utilizados en esta investigación son adecuados para utilizarlos en mezclas de suelo-cemento.

2. Dados que los materiales reciclados fueron clasificados como, arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin finos (A-1-a (0)), se concluye que las propiedades físicas y mecánicas de estos son función directa de la granulometría, por lo que en la implementación de una planta trituradora es el proceso y propiedad que mayor interés debe tener.
3. Los materiales reciclados no pueden ser utilizados en capas de balasto ya que su peso volumétrico suelto y sus gravedades específicas son relativamente bajas, y por

ello son vulnerables a la pulverización por la exposición directa a las cargas de tránsito.

4. Debido a los resultados CBR, el concreto triturado puede ser usado como material para base, el bloque de concreto triturado como material para sub-base y el ladrillo de barro triturado como material para sub-corona (sub-rasante) en estructuras de pavimento, esperando un comportamiento de los materiales reciclados calificado como Muy Bueno.
5. Con la visita de campo a los vertederos existentes en la zona urbana del municipio de San Miguel, queda de manifiesto que estos no pueden ser explotados en la condiciones actuales, ya que los residuos de construcción y demolición se encuentran mezclados con desechos sólidos comunes, por lo que se concluye que el proceso de reciclaje de los residuos de construcción tienen acción fundamental en la clasificación de los materiales en obra y una disposición final controlada y en lugares adecuados.
6. Se concluye en base a los resultados que los materiales investigados representan un aporte fundamental al resguardo del medio ambiente ya que su uso permitirá reducir la explotación de canteras.
7. Se concluye según resultados obtenidos a través de las fichas de campo para identificar las afectaciones ambientales, que la ciudad de san miguel no cuenta con un lugar apropiado para la disposición final de los RCD, y además se puede observar que aunque los residuos investigados son inertes, generan afectaciones ambientales.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que para la reutilización de los materiales investigados, estos sean clasificados previamente y se tenga el cuidado de que estén libres de materia orgánica, pinturas y otros elementos que puedan afectar el comportamiento mecánico.
2. Desde el punto de vista ambiental y práctico, se recomienda acatar las técnicas de buenas prácticas para el manejo de los RCD con el fin de reducir y minimizar los daños al medio ambiente.
3. Se recomienda a la Alcaldía Municipal de San Miguel, proporcionar un sitio donde los residuos de construcción y demolición puedan ser depositados de una manera adecuada para potenciar el reciclaje de estos materiales.
4. Se recomienda para los próximos estudios relacionados al uso de residuos de construcción en mezclas de suelo-cemento, realizar investigaciones dirigidas a conocer las propiedades físicas como resistencia al desgaste o durabilidad y comportamiento antes agresiones hídricas.
5. Para futuras investigaciones de residuos de construcción y demolición se recomienda, realizar estudios de la producción de estos en las ciudades donde las afectaciones sean evidentes (La ciudad de San Miguel por ejemplo), realizar estudios de factibilidad económica de la puesta en marcha de plantas de reciclaje en lugares con las condiciones antes mencionadas.
6. En futuros estudios se recomienda hacer pruebas de los materiales reciclados en condiciones combinados, para observar su comportamiento variando las

cantidades de cada uno de ellos para disponer de una mayor cantidad de parámetros.

7. Se recomienda que en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la facultad Multidisciplinaria Oriental de La Universidad de El Salvador, se encuentren disponibles equipos calibrados y que ha estos se les proporcione un adecuado mantenimiento, además se recomienda la adquisición del equipo necesario para la realización de la prueba de laboratorio Proctor Modificado.
8. Se recomienda la investigación de los materiales reciclados como estabilizadores de arcillas, ya que los resultados de laboratorio demuestran que estos poseen propiedades de cero plasticidad, por lo cual podrían contrarrestar las propiedades expansivas de las arcillas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ✓ COMO HACER UNA TESIS DE GRADUACIÓN CON TÉCNICAS ESTADÍSTICAS. Gildaberto Bonilla. UCA Editores Primera Edición. Año 1993.
  
- ✓ Constitución de la Republica de El Salvador C.A. Año 1983.
  
- ✓ DISEÑO DE MEZCLA SUELO-AGREGADO-EMULSIÓN COMO ALTERNATIVA PARA MEJORAMIENTO DE CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO. Erick Daniel Calidonio Molina, Samuel De Jesús Carrillo Calderón, Christian Balmore Meléndez Contreras. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de El Salvador. Año 2010.
  
- ✓ DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO LADRILLO DE BARRO COCIDO HECHO A MANO COMO AGREGADO GRUESO. Oscar Amando Nieves Olivares, Jorge Ancheta Montoya, Mario Ernesto Aguilar Ortiz. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Centro Americana José Simeón Cañas. Año 1985.
  
- ✓ DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO. Propuesta por la “Portland Cement Association (PCA)”. Ing. Márcio Rocha Pitta. Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón. Año 2002.
  
- ✓ EL CONCRETO RECICLADO CON ESCOMBROS COMO GENERADOR DE HÁBITATS URBANOS SOSTENIBLES. Carlos Mauricio Bedoya Montoya. Trabajo presentado Facultad de Arquitectura. Para optar al título de Magíster en Hábitat. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Año 2003.

- ✓ ELABORACIÓN DE CONCRETO USANDO DESPERDICIOS COMO AGREGADO GRUESO. Pedro Ezequiel Quintanilla Román, Carlos Roberto Saldaña Flores. Trabajos de Graduación presentado, Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Centro Americana José Simeón Cañas. Año 1985.
  
- ✓ ELABORACIÓN DE CONCRETO USANDO DESPERDICIOS, BLOQUES DE CONCRETO Y LADRILLO DE BARRO HECHO A MANO COMO AGREGADO GRUESO. Roberto Escalante Caceres, Mario Alfredo Alvarenga Avila, Juan Mauricio Amaya Alfaro. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Politécnica de El Salvador. Año 1992.
  
- ✓ ESTUDIO EXPLORATORIO DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE PESO NORMAL Y MORTERO TIPO M Y S USANDO VIDRIO RECICLADO COMO AGREGADO. Antonio Aparicio Villacorta Alberto; Gilberto Antonio Rivera Rivas; Magdiel Adonias Rodríguez Gómez. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de El Salvador. Año 2009.
  
- ✓ GUÍA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN. José Manuel Cortina Ramírez como requisito parcial para obtener el título En Maestría en Gerencia de Proyectos de Construcción. Universidad De Las Américas Puebla, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Departamento De Ingeniería Civil y Ambiental. Cholula, Puebla, México, Año 2007.
  
- ✓ Ley de Medio Ambiente de la Republica de El Salvador C.A. Decreto Legislativo No. 233 de Mayo 4 de 1998.

- ✓ MECÁNICA DE SUELOS / 3ª Edición Tomo 1 - Juárez Badillo, Rico Rodríguez– Editorial Limusa. Año 1996.
  
- ✓ MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES / Carlos Crespo Vállalas - 4ta Edición – Editorial Limusa. Año 2005.
  
- ✓ PROPUESTA DE UN MANUAL DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONFORME A LA NORMA ASTM 2003. Sandra Lisseth García Trejo; María Ofelia Ramírez López. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de El Salvador. Año 2006.
  
- ✓ RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN DE MATERIALES RESIDUALES DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN. Natalini, Mario. Klees, Delia. Tirner, Jirina Universidad Nacional del Nordeste (Argentina). Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Año 2000.
  
- ✓ Revista 43. Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC). Año 2006
  
- ✓ Revista 44. Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC). Año 2007.



# ANEXOS

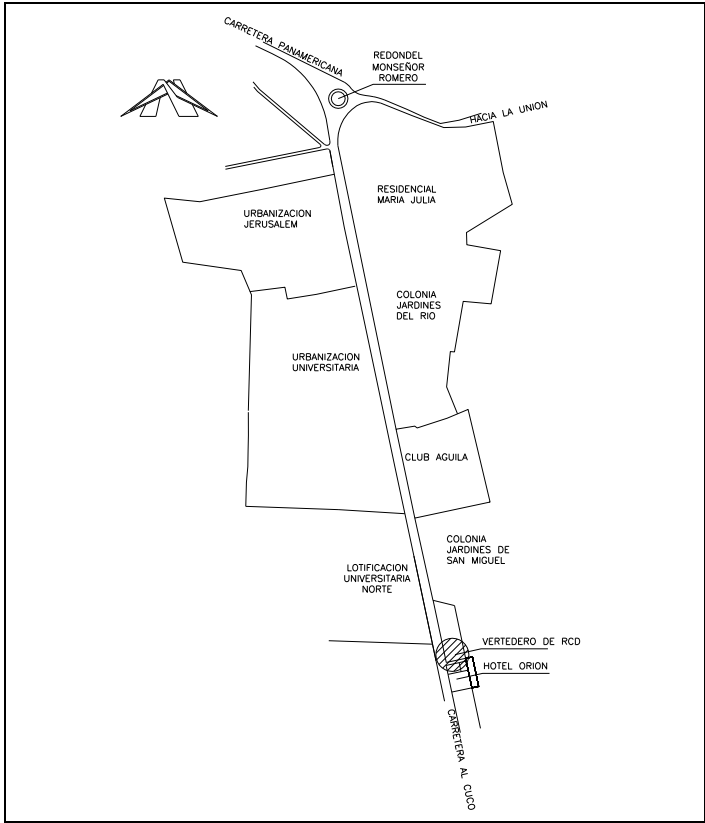
**ANEXO 1: FICHAS DE CAMPO, IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VERTEDEROS**

FICHA DE CAMPO		
IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VERTEDEROS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)		
Ubicación:	Coordenadas:	
	Fecha:	No. Ficha:
<div style="border: 1px solid black; width: 80%; margin: auto; padding: 20px;"> <p align="center">CROQUIS DE UBICACIÓN</p> </div>		
<p>Descripción de alrededores (Ambiente):</p> <p>Área aproximada afectada:</p> <p>Afectados por actividades de vertedero de RCD:</p> <p>Descripción del relieve y pendientes del terreno:</p> <p>Identificación y descripción de quebradas o ríos:</p> <p>Evolución esperada del vertedero de RCD:</p>		
IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS		
<b>Material</b>	<b>(Si ; No)</b>	<b>Posible procedencia de materiales</b>
Prefabricados de mortero o concreto		
Concreto simple		
Concreto armado		
Cerámicos		
Concretos asfálticos		
Productos de Mampostería		
Prefabricados de arcilla		
Residuos de excavación		
Identificación de Impactos Ambientales Potenciales:		

*Fuente: Elaboración Propia*

**FICHA DE CAMPO**  
**IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VERTEDEROS**  
**RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)**

<b>Ubicación:</b> <i>Boulevard universitario, 1/2 kilometro al norte de la UES-FMO.</i>	Coordenadas: X=0591214 – Y=0258743	
	Fecha: 25/01/2013	No. Ficha: 1



**CROQUIS DE UBICACIÓN (sin escala)**

Descripción de alrededores (Ambiente): ***Viviendas cercanas, boulevard universitario, vegetación, ubicado en terreno privado, acopio de residuos para relleno del terreno.***

Área afectada aproximada: **900 m<sup>2</sup>**

Afectados por actividades de vertedero de RCD: ***Personas que viven cerca del vertedero, fauna, flora, peatones, conductores.***

Descripción del relieve y pendientes del terreno: ***Plano.***

Identificación y descripción de quebradas o ríos: **No**

Evolución esperada del vertedero de RCD: ***En crecimiento.***

IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS

Material	SI	NO	Posible procedencia de materiales
Prefabricados de mortero o concreto	X		Reconstrucción y rehabilitación
Concreto simple	X		Demolición
Concreto armado		X	-
Cerámicos	X		Reconstrucción y rehabilitación
Concretos asfálticos	X		Reparación y mantenimiento
Productos de Mampostería	X		Demolición
Prefabricados de arcilla	X		Demolición
Blockes	X		Reconstrucción y rehabilitación
Mortero	X		Reconstrucción y rehabilitación
Residuos de excavación	X		Construcción

Identificación de Impactos Ambientales Potenciales: ***Posible proliferación de insectos y roedores, afectación por partículas de polvo, alteración de propiedades naturales del suelo y drenajes superficial, erosión, deterioro estético y del paisaje de la ciudad.***



**Fotografía: Vertedero de RCD**

## FICHA DE CAMPO

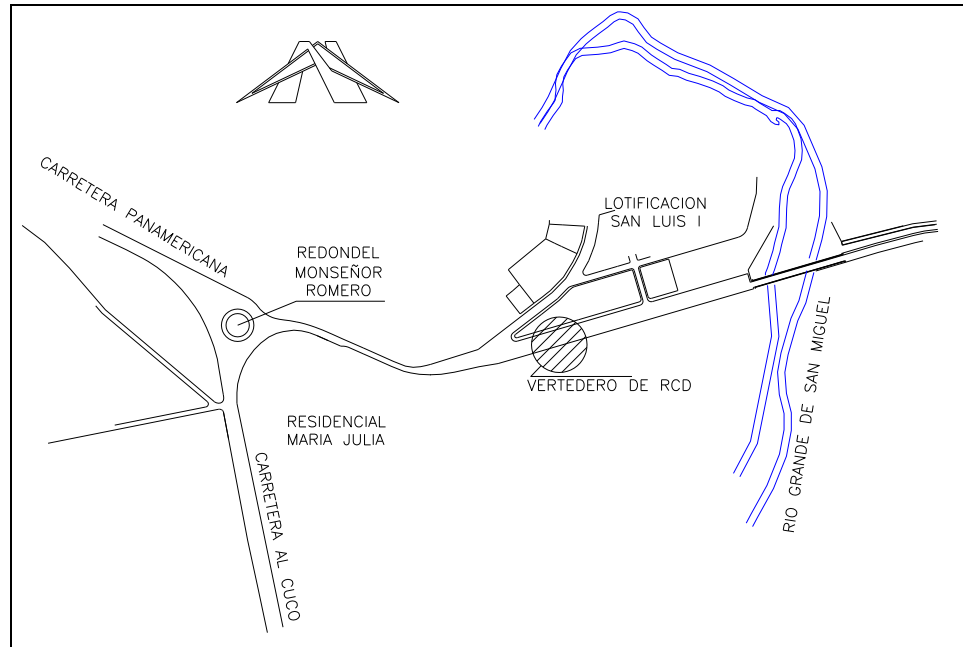
### IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VERTEDEROS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

**Ubicación:** Carretera que conduce a La Unión, 1/2kilometro del Redondel Monseñor Romero.

Coordenadas: X=0591248 – Y= 0259984

Fecha: : 25/01/2013

No. Ficha: 2



#### CROQUIS DE UBICACIÓN (sin escala)

Descripción de alrededores (Ambiente): **Viviendas cercanas, poca vegetación, ubicado en terreno privado, acopio de residuos para relleno del terreno.**

Área afectada aproximado de RCD: **200 m<sup>2</sup>**

Afectados por actividades de vertedero de RCD: **Personas que viven cerca del vertedero, fauna, flora, peatones, conductores.**

Descripción del relieve y pendientes del terreno: **Plano.**

Identificación y descripción de quebradas o ríos: **No**

Evolución esperada del vertedero de RCD: **En crecimiento.**

IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS

Material	SI	NO	Posible procedencia de materiales
Prefabricados de mortero o concreto	X		Reconstrucción y rehabilitación
Concreto simple	X		Demolición
Concreto armado		X	-
Cerámicos	X		Reconstrucción y rehabilitación
Concretos asfálticos		X	-
Productos de Mampostería	X		Demolición
Prefabricados de arcilla		x	-
Blockes	X		Reconstrucción y rehabilitación
Mortero	X		Reconstrucción y rehabilitación
Residuos de excavación	X		Construcción

Identificación de Impactos Ambientales Potenciales: ***Posible proliferación de insectos y roedores, afectación por partículas de polvo, alteración de propiedades naturales del suelo y drenajes superficial, erosión, deterioro estético y del paisaje de la ciudad.***



***Fotografía: Vertedero de RCD***

## FICHA DE CAMPO

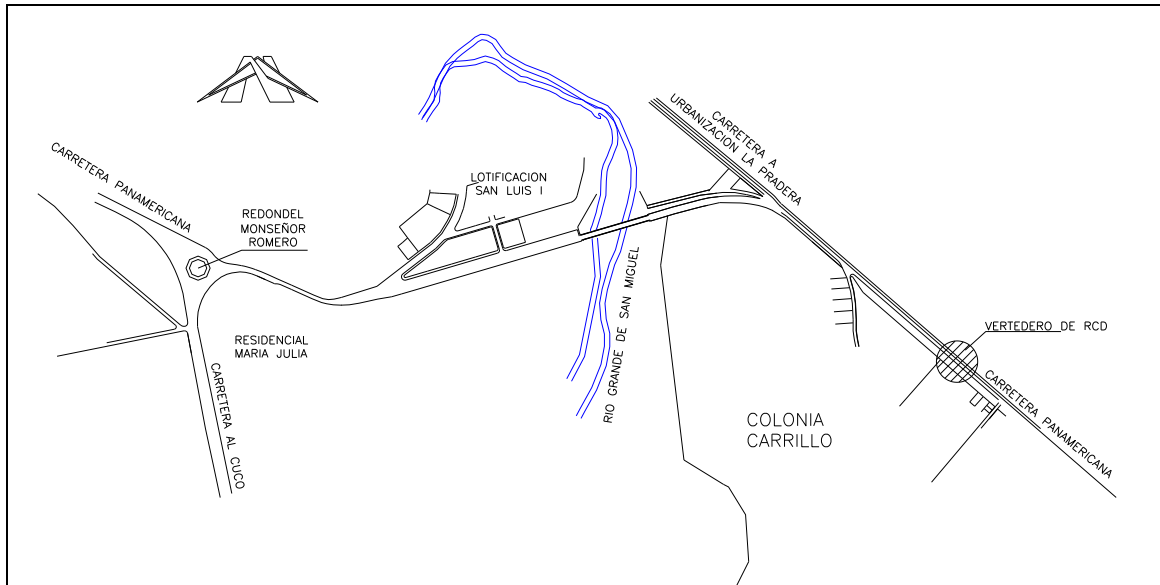
### IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VERTEDEROS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

**Ubicación:** Carretera que conduce a La Unión, ½ kilómetro de la entrada a la Colonia La Pradera.

Coordenadas: X=0592474 - Y=0259895

Fecha: : 25/01/2013

No. Ficha: 3



#### CROQUIS DE UBICACIÓN (sin escala)

Descripción de alrededores (Ambiente): **Viviendas cercanas, poca vegetación, residuos obstruyendo drenaje menor de tramo sobre carretera Panamericana, ubicado sobre el derecho de vía.**

Área afectada aproximado de RCD: **1200 m<sup>2</sup>**

Afectados por actividades de vertedero de RCD: **Personas que viven cerca del vertedero, fauna, flora, peatones, conductores.**

Descripción del relieve y pendientes del terreno: **Plano.**

Identificación y descripción de quebradas o ríos: **No**

Evolución esperada del vertedero de RCD: **En crecimiento.**

IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS

Material	SI	NO	Posible procedencia de materiales
Prefabricados de mortero o concreto	X		Reconstrucción y rehabilitación
Concreto simple	X		Demolición
Concreto armado		X	-
Cerámicos	X		Reconstrucción y rehabilitación
Concretos asfálticos		X	-
Productos de Mampostería	X		Demolición
Prefabricados de arcilla	X		Demolición
Blockes	X		Reconstrucción y rehabilitación
Mortero	X		Reconstrucción y rehabilitación
Residuos de excavación	X		Construcción

Identificación de Impactos Ambientales Potenciales: ***Posible proliferación de insectos y roedores, afectación por partículas de polvo, alteración de propiedades naturales del suelo y drenajes superficial, erosión, deterioro estético y del paisaje de la ciudad, obstaculización de la vía pública.***



**Fotografía: Vertedero de RCD**



## FICHA DE CAMPO

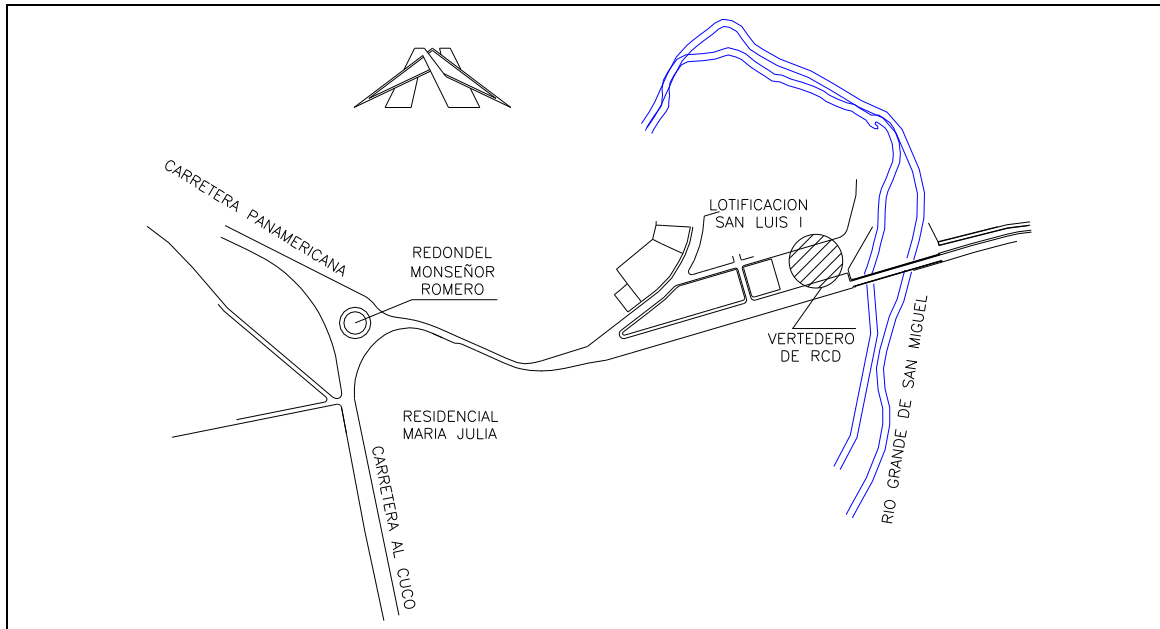
### IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VERTEDEROS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

**Ubicación:** Carretera que conduce a La Unión, 50 metros al poniente del Puente José Luis de Moscoso.

Coordenadas: X=0591529 - Y=0260049

Fecha: : 25/01/2013

No. Ficha: 4



#### CROQUIS DE UBICACIÓN (sin escala)

Descripción de alrededores (Ambiente): **viviendas cercanas, Río Grande de San Miguel, vegetación, Carretera Panamericana, en terreno privado, acopio de residuos para relleno del terreno.**

Área afectada aproximado de RCD: **3500 m<sup>2</sup>**

Afectados por actividades de vertedero de RCD: **Personas que viven cerca del vertedero, fauna y flora.**

Descripción del relieve y pendientes del terreno: **Ladera con Pendiente suave.**

Identificación y descripción de quebradas o ríos: **Río Grande de San Miguel.**

Evolución esperada del vertedero de RCD: **En crecimiento.**

IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS

Material	SI	NO	Posible procedencia de materiales
Prefabricados de mortero o concreto	X		Reconstrucción y rehabilitación
Concreto simple	X		Demolición
Concreto armado	x		Demolición
Cerámicos	X		Reconstrucción y rehabilitación
Concretos asfálticos	X		Reparación y mantenimiento
Productos de Mampostería	X		Demolición
Prefabricados de arcilla	X		Demolición
Blockes	X		Reconstrucción y rehabilitación
Mortero	X		Reconstrucción y rehabilitación
Residuos de excavación	X		Construcción

Identificación de Impactos Ambientales Potenciales: ***Posible proliferación de insectos y roedores, afectación por partículas de polvo, alteración de propiedades naturales del suelo existente, erosión, azolve y contaminación de Río Grande de San Miguel, deterioro estético y del paisaje de la ciudad.***



**Fotografía: Vertedero de RCD**

## FICHA DE CAMPO

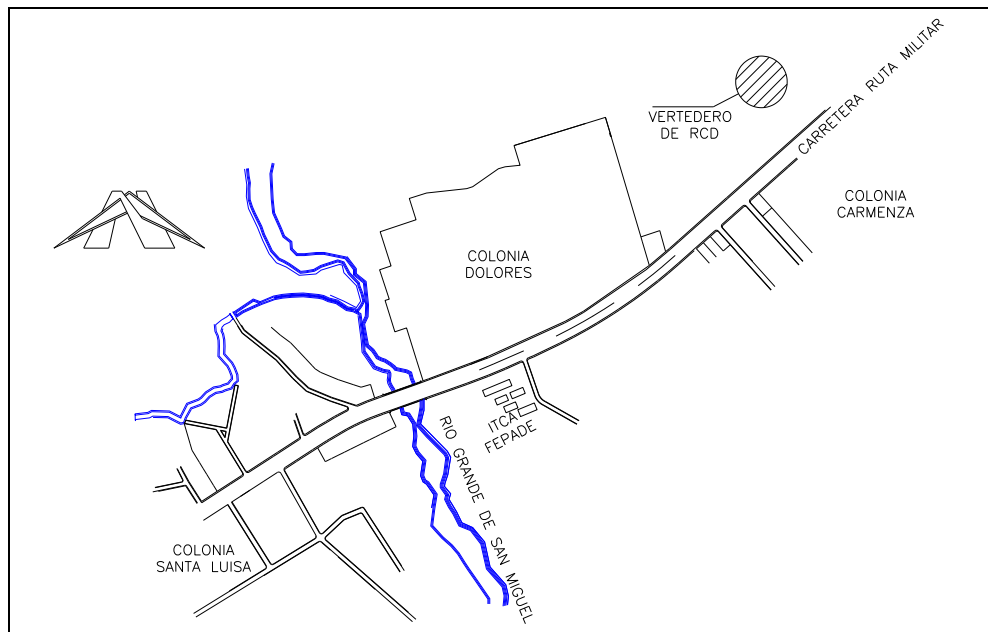
### IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VERTEDEROS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

**Ubicación:** Carretera que conduce a Santa Rosa de Lima, sobre el kilometro 136.

Coordenadas: X=0591408 - Y=0265231

Fecha: : 25/01/2013

No. Ficha: 5



#### CROQUIS DE UBICACIÓN (sin escala)

Descripción de alrededores (Ambiente): **viviendas cercanas, vegetación, carretera Ruta Militar, en terreno privado, acopio de residuos para relleno del terreno.**

Área afectada aproximado de RCD: **700 m<sup>2</sup>**

Afectados por actividades de vertedero de RCD: **Personas que viven cerca del vertedero, fauna y flora, peatones, conductores.**

Descripción del relieve y pendientes del terreno: **Ladera con Pendiente suave.**

Identificación y descripción de quebradas o ríos: **No.**

Evolución esperada del vertedero de RCD: **En crecimiento.**

IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS

Material	SI	NO	Posible procedencia de materiales
Prefabricados de mortero o concreto	X		Reconstrucción y rehabilitación
Concreto simple	X		Demolición
Concreto armado		X	-
Cerámicos	X		Reconstrucción y rehabilitación
Concretos asfálticos		X	-
Productos de Mampostería	X		Demolición
Prefabricados de arcilla	X		Demolición
Blockes	X		Reconstrucción y rehabilitación
Mortero	X		Reconstrucción y rehabilitación
Residuos de excavación	X		Construcción

Identificación de Impactos Ambientales Potenciales: ***Posible proliferación de insectos y roedores, afectación por partículas de polvo, alteración de propiedades naturales del suelo existente, alteración de drenajes superficiales naturales, deterioro estético y del paisaje de la ciudad.***



**Fotografía: Vertedero de RCD**

## FICHA DE CAMPO

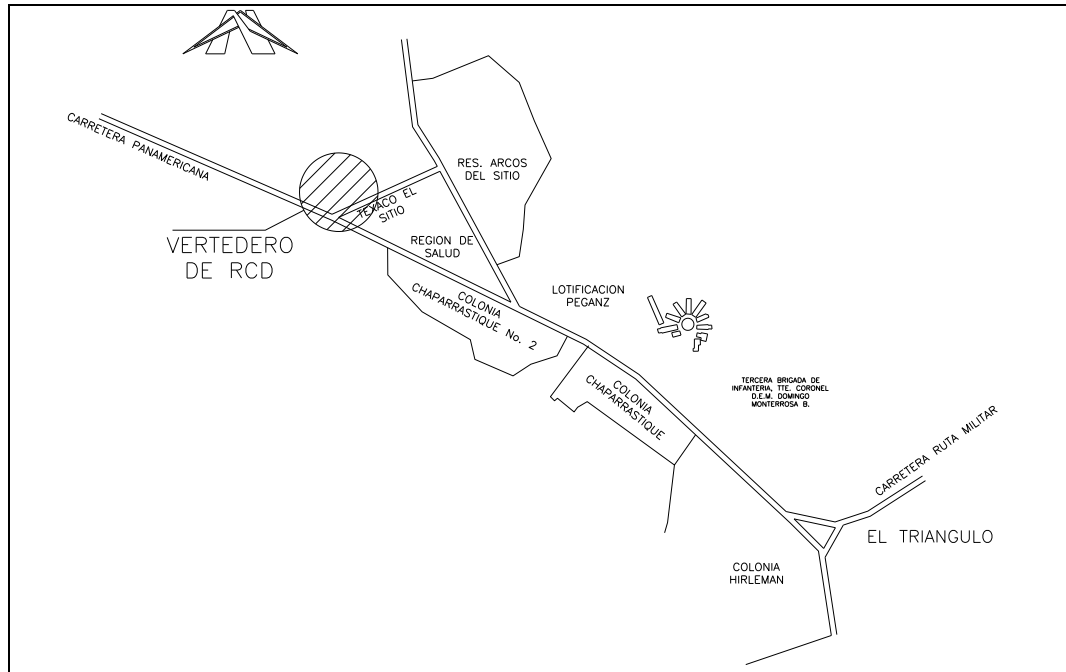
### IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VERTEDEROS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

**Ubicación:** Carretera que conduce hacia San Salvador,  
sobre el Kilometro 130.

Coordenadas: X=0586971 - Y=0263855

Fecha: 25/01/2013

No. Ficha: 6



**CROQUIS DE UBICACIÓN (sin escala)**

Descripción de alrededores (Ambiente): **viviendas cercanas, vegetación, sobre carretera Panamericana, en terreno privado, acopio de residuos para relleno del terreno.**

Área afectada aproximado de RCD: **1500 m<sup>2</sup>**

Afectados por actividades de vertedero de RCD: **Personas que viven cerca del vertedero, fauna y flora, peatones, conductores.**

Descripción del relieve y pendientes del terreno: **Ladera con Pendiente suave.**

Identificación y descripción de quebradas o ríos: **No.**

Evolución esperada del vertedero de RCD: **En crecimiento.**

IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS

Material	SI	NO	Posible procedencia de materiales
Prefabricados de mortero o concreto	X		Reconstrucción y rehabilitación
Concreto simple	X		Demolición
Concreto armado		X	-
Cerámicos	X		Reconstrucción y rehabilitación
Concretos asfálticos	X		Reparación y mantenimiento
Productos de Mampostería	X		Demolición
Prefabricados de arcilla	X		Demolición
Blockes	X		Reconstrucción y rehabilitación
Mortero	X		Reconstrucción y rehabilitación
Residuos de excavación	X		Construcción

Identificación de Impactos Ambientales Potenciales: ***Posible proliferación de insectos y roedores, afectación por partículas de polvo, alteración de propiedades naturales del suelo y drenajes superficiales, deterioro estético y del paisaje de la ciudad.***



**Fotografía: Vertedero de RCD**

## FICHA DE CAMPO

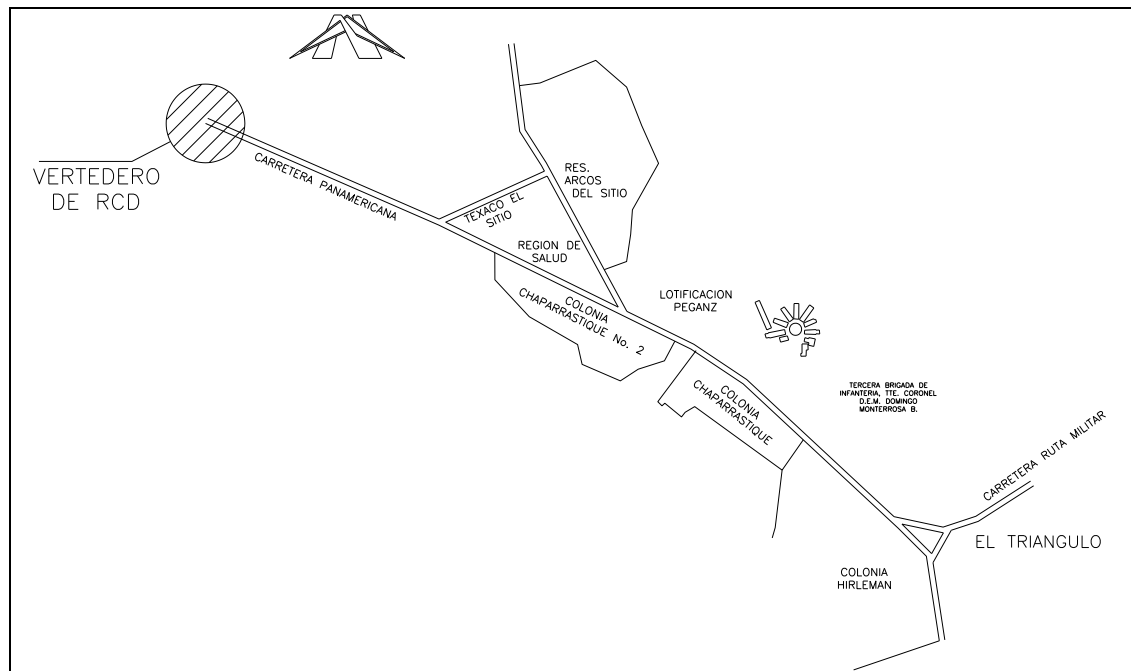
### IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VERTEDEROS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

**Ubicación:** Carretera que conduce hacia San Salvador,  
sobre el Kilometro 129.

Coordenadas: X=0585111 - Y=0264533

Fecha: 25/01/2013

No. Ficha: 7



#### CROQUIS DE UBICACIÓN (sin escala)

Descripción de alrededores (Ambiente): **viviendas cercanas, vegetación, sobre carretera Panamericana.**

Área afectada aproximado de RCD: **3500 m<sup>2</sup>**

Afectados por actividades de vertedero de RCD: **Personas que viven cerca del vertedero, fauna y flora, peatones, conductores.**

Descripción del relieve y pendientes del terreno: **Ladera con Pendiente suave.**

Identificación y descripción de quebradas o ríos: **No.**

Evolución esperada del vertedero de RCD: **En crecimiento.**

IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS

Material	SI	NO	Posible procedencia de materiales
Prefabricados de mortero o concreto	X		Reconstrucción y rehabilitación
Concreto simple	X		Demolición
Concreto armado	X		Demolición
Cerámicos	X		Reconstrucción y rehabilitación
Concretos asfálticos	X		Reparación y mantenimiento
Productos de Mampostería	X		Demolición
Prefabricados de arcilla	X		Demolición
Blockes	X		Reconstrucción y rehabilitación
Mortero	X		Reconstrucción y rehabilitación
Residuos de excavación	X		Construcción

Identificación de Impactos Ambientales Potenciales: ***Posible proliferación de insectos y roedores, afectación por partículas de polvo, alteración de propiedades naturales del suelo y drenajes superficiales, deterioro estético y del paisaje de la ciudad.***



**Fotografía: Vertedero de RCD**



## ANEXO 2. FOTOGRAFÍAS: RESIDUOS DE CONSTRUCCIONES Y DEMOLICIONES



*Fotografía 1. Quebrada del Municipio de San Jorge, Departamento de San Miguel; en la imagen se observa desperdicios de demoliciones, que consiste principalmente en mampostería de ladrillo de barro, el desperdicio provocara disminución del área hidráulica en la quebrada.*



*Fotografía 2. Cantón El Jute sobre Carretera El Litoral, Ciudad de San Miguel; en la imagen se observa un vertedero no autorizado a un costado de la carretera.*



*Fotografía 3. Municipio de San Rafael Oriente, Departamento de San Miguel; en la imagen se observa que la municipalidad no tiene un sitio de disposición final autorizado y están acumulando los desperdicios en el predio del parque municipal.*

## ANEXO 3. GLOSARIO

### A

**ACI:** American Concrete Institute – Instituto Americano del concreto

**Agregados:** los agregados son partículas sólidas añadidas intencionalmente a la pasta de cemento donde ocupan un espacio rodeado por esta, proporcionando resistencia mecánica al mortero o al concreto en estado endurecido.

**Áridos:**

**A.S.T.M.:** American Society for Testing Materials - Sociedad Americana para Pruebas de Materiales

**Agregado Fino:** agregado que pasa por el tamiz 9.5mm (3/8 pulg.), pasa casi totalmente por el tamiz de 4.75mm (Nº4) y se retiene predominantemente en el tamiz de 75mm (Nº200)

**Agregado grueso:** grava natural, piedra triturada o escoria de alto horno de hierro, frecuentemente mayor a 5mm (0.2 pulg.) y cuyo tamaño normalmente varía entre 9.5mm y 37.5mm (3/8 y 1<sup>1/2</sup> pulg.).

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials

**Arcillas:** son cualquier sedimento o depósito mineral que es plástico cuando se humedece y que consiste de un material granuloso muy fino, formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a 4 micras, y que se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados [1 micra es la diezmilésima parte de un centímetro o sea la dimensión aproximada de los microbios comunes].

### B

**Banco de Materiales:** aquel lugar en la corteza terrestre constituido por roca o material granular (arena, grava, arcilla, etc.) susceptibles de ser utilizados en la construcción.

**Bloques de concreto huecos:** son elementos modulares premoldeados diseñados para la albañilería confinada y armada.

## C

**Cantera:** es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridas.

**Cemento Pórtland:** cemento hidráulico de silicato de calcio que se produce por la pulverización del clinker de Cemento Pórtland y normalmente también contiene sulfato de calcio y otros componentes.

**Concreto:** mezcla de material aglutinante y agregados finos y gruesos. En el concreto normal, comúnmente se usan como medio aglomerante, el Cemento Pórtland y el agua, pero también pueden contener puzolanas, escoria y/o aditivos químicos.

## E

**Escombros:** desecho proveniente de las construcciones y demoliciones de casas, edificios y otro tipo de edificaciones.

**Ensayo:** son los pasos a seguir en laboratorios para comprobar la calidad de materiales.

## G

**Granulometría:** graduación o distribución del tamaño de las partículas de agregado, que se determina por la separación a través de tamices normalizados.

## H

**Heterogeneidad:** cualidad de una cosa heterogénea conformada por elementos de distinta clase o naturaleza.

## I

**ISCYC:** Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto.

## L

**Ladrillo de barro cocido hecho a mano:** Se define al componente conforma paralelepípedo recto que se fabrica a mano o máquina, compuesto básicamente arcilla cocida y sirve para construir muros y otros elemento.

## M

**Mortero:** En su definición más general es toda mezcla de (cemento + arena + agua).

**Muestreo:** es la actividad de campo realizada por el personal de laboratorio, que consiste en la obtención de una o varias porciones de los materiales.

## P

**P.C.A:** Portland Cement Association.

**Prefisuración:** Se denomina “prefisuración”, al proceso de creación controlada de juntas del suelo-cemento en fresco (antes de la compactación del material tratado), mediante la interposición de una lámina o sustancia separadora de las losas creadas, con el fin de minimizar e incluso eliminar la aparición de fisuras por retracción.

## R

**RCD:** Residuos de Construcción y Demolición

**Reciclaje:** proceso mediante el cual los materiales segregados de los residuos son reincorporados como materia prima al ciclo productivo.

**Relleno sanitario:** técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos, su cobertura con tierra u otro material inerte, por lo menos diariamente, y el

control de los gases y lixiviados y la proliferación de vectores, a fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población.

**Residuo:** todo material en estado sólido, líquido o gaseoso, ya sea aislado o mezclado con otros, resultante de un proceso de extracción de la naturaleza, transformación, fabricación o consumo, que su poseedor decide abandonar. Se reconocen como sólidos aquellos que no son líquidos ni lodos.

**Residuos de Construcción o Demolición:** aquellos que resultan de la construcción, remodelación y reparación de edificios o de la demolición de pavimentos, casas, edificios comerciales y otras estructuras.

**Residuo peligroso:** Residuo sólido o semisólido que por sus características tóxicas, reactivas, corrosivas, radiactivas, inflamables, explosivas o patógenas plantea un riesgo sustancial real o potencial a la salud humana o al ambiente cuando su manejo se realiza en forma conjunta con los residuos sólidos municipales, con autorización o en forma clandestina.

**Residuos sólidos:** cualquier material incluido dentro de un gran rango de materiales sólidos, también algunos líquidos, que se tiran o rechazan por estar gastados, ser inútiles, excesivos o sin valor. Normalmente, no se incluyen residuos sólidos de instalaciones de tratamiento.

**Reutilización:** volver a usar un producto o material varias veces sin tratamiento. Equivale a un reciclaje directo.

**Roca:** son agregados naturales de minerales que forman parte de la corteza terrestre.

## **S**

**Suelo:** es la capa más superficial de la corteza terrestre que se encuentra en constante evolución, formada por rocas desintegradas y descompuestas

**Suelo cemento:** es una mezcla altamente compactada de suelo/agregado, cemento Portland, y agua.

## **T**

**Trituración:** es el proceso de romper en fragmentos más o menos grandes, materiales duros y especialmente minerales.

**Tratamiento.** Proceso de transformación física, química o biológica de los residuos sólidos para modificar sus características o aprovechar su potencial, a partir del cual se puede generar un nuevo residuo sólido con características diferentes.

## **V**

**Vertedero:** lugar donde se arrojan los residuos a cielo abierto en forma indiscriminada sin recibir ningún tratamiento sanitario. Sinónimo de botadero o vaciadero.