

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

FACTIBILIDAD DE UTILIZACIÓN DE UN ADITIVO EN LOS DISEÑOS DE MEZCLA DE SUELO-CEMENTO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Rondón Sosa, Abraham Josué

Sánchez Medina, Carolina José

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

FACTIBILIDAD DE UTILIZACIÓN DE UN ADITIVO EN LOS DISEÑOS DE MEZCLA DE SUELO-CEMENTO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES

TUTOR ACADÉMICO: Prof. María Eugenia Korody

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Rondón Sosa, Abraham Josué

Sánchez Medina, Carolina José

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2009

RONDON S. ABRAHAM J
SÁNCHEZ M. CAROLINA. J

**“FACTIBILIDAD DE UTILIZACIÓN DE UN ADITIVO EN LOS DISEÑOS DE
MEZCLA DE SUELO-CEMENTO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES”**

Tutor académico: María Eugenia Korody

**Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.
Escuela de Ingeniería Civil. 2009, Nº de páginas 153.**

Palabras Clave: Suelo-cemento, Aditivos, Diseño de Mezcla.

Resumen

La investigación realizada trata de la elaboración de mezclas de suelo-cemento, con distintas dosificaciones de aditivos, para su uso en la fabricación de bloques, permitiendo establecer una metodología sencilla y simplificada de trabajo, que abarque: selección del material, caracterización del suelo, diseño de mezclas, elaboración de probetas y ensayos.

Existen diversos materiales y sistemas constructivos que emplean la tierra como material base, en nuestro caso, se emplea una mezcla de suelo, cemento y agua, con un aditivo que mejore las propiedades del material al ser debidamente dosificado y compactado.

De esta manera, se equilibra la ganancia económica y ambiental que genera el uso de la tierra en la construcción, con las características de resistencia, durabilidad, y trabajabilidad que aportan el cemento y los aditivos a la mezcla.

Para determinar el diseño de mezcla apropiado para la elaboración de bloques, se realizaron 5 mezclas: suelo-cemento(10%), suelo-cemento(12%), suelo-cemento(10%)-cal(1%), suelo-cemento(10%)-cal(3%) y suelo-cemento(10%)-Soil Plast(15%_c), a los cuales se les realizaron, posterior a las pruebas de campo, y de laboratorio de suelos, ensayos de resistencia y durabilidad (compresión, flexión, erosión por rociado, erosión por cepillo y absorción).

De los resultados obtenidos, la mezcla suelo-cemento (10%)-cal (3%) y seguidamente, la mezcla suelo-cemento (12%), son las que desde el punto de vista de resistencia y durabilidad se comportan mejor, y se consideran las más adecuadas para su aplicación en la elaboración de bloques. Sin embargo, como la diferencia de valores obtenidos nos es tan representativa, la selección de una u otra, dependerá más de la situación del mercado de la construcción, la disponibilidad y precio de los materiales y del entorno de la obra a realizar.

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada agradecemos a Dios y a nuestros padres por ser nuestros guías, y acompañarnos en cada paso que damos.

Gracias a todas las personas que nos ayudaron en la realización y culminación de este trabajo de investigación.

A la Prof. María Eugenia Korody por su disposición, ayuda y confianza brindada.

Al Prof. Cesar Peñuela.

A la Prof. Gabriela Tedesco.

A la Prof. Bernarda Romero.

Al Prof. Leonel Rodríguez.

Al Prof. Steve Merlo.

A los técnicos del IMME.

Al Prof. Nelson Camacho.

Al Prof. Ronald Torres.

Al Prof. Jesús Uzcategui.

A la Prof. Celia Herrera.

A la Prof. María Itriago.

Al Ing. Carlos Añasco y a la Empresa Noberto Odebretch por haber colaborado con el suelo utilizado en el presente trabajo.

Al I.A.T.T.C. por los recursos prestados en el desarrollo de la Tesis.

A los compañeros que cursaron el semestre pasado Suelos I y Suelos II.

A nuestros amigos: Cecilia Hernández, Juan Loreto, Cristina Sosa, Isaac Rondón, María Alejandra Soto, Alejandra Martínez, Daniel Molinet, Valentina Páez, José Alirio Rivas, Reynaldo Marques, Ricardo Denis, José Rafael Pena, Gary Curvelo, Gabriel Fajardo, Johan Mejías, Eduardo Saad, Alberto Ochoa, Eylliana Azuaje, Idalmis Moreno, Marynar Mijares, Linabel Di Martino, Rosibel Sánchez y Amaloea Sánchez.

DEDICATORIA

Gracias Dios por enseñarme el camino, por mostrarme que la vida es más sencilla de lo que nosotros pensamos, por brindarme tu amor y por todas las cosas que gracias a ti he alcanzado.

A mis padres por ser mi inspiración. Sin los dos no hubiese estado aquí. Estaré eternamente agradecida por su apoyo en toda mi carrera universitaria.

A mi hermana Amaloea por siempre estar en los buenos y malos momentos.

A mis hermanas Rosibel, Anna y Andreina por estar siempre presente. A mi bella sobrina María Luisa.

A mis queridas amigas Linabel, Sermy, Idalmys, María Ale y Gina por brindarme su apoyo.

A mi compañero de tesis, que a pesar de los obstáculos pudimos llevar a cabo nuestra Tesis de Grado.

A todos los Profesores de la Universidad Central de Venezuela por apoyarnos en la realización de este trabajo.

Carolina Sánchez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo y toda mi carrera universitaria a Dios por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante rompiendo todas las barreras que se me presenten, y por regalarme una familia y amigos tan maravillosos. Gracias a mis padres por darme vida, calor humano, alegrías, educación y sobre todo por creer en mí y darme la confianza necesaria para llegar hasta aquí.

A mi hermano y mis primos que han estado conmigo siempre apoyándome y que incluso apostaron que no me volvía a cambiar de carrera.

A mi familia, que aunque no los nombre a cada uno, saben cuánto los quiero y les agradezco su apoyo.

A las Profesoras Celia Herrera y María Eugenia Korody, no sólo por haber sido excelentes guías y docentes, sino por encontrar en ellas dos grandes amigas cuyo apoyo y confianza se lo agradeceré eternamente.

A Carolina Sánchez mucho más que una compañera de Tesis y de estudios, con infinita paciencia, confianza, comprensión y apoyo en cada segundo.

A José Rafael Peña un amigo que quiero como a un hermano, que ha vivido y compartido casi cada segundo durante nuestra carrera, y quien a pesar de su deficiente capacidad al volante me ayudo mucho en estos 5 años.

A mis amigos de siempre, Alejandra (La galla), Elianita, Idalmis (abuela), Gina, Juanjo, Harry , La Peque y AC, José Alirio, en quienes desde un inicio encontré apoyo incondicional, alegría, diversión, desastres y mucho mas. En verdad ha sido, es y seguirá siendo un orgullo ser su amigo, gracias por todo.

A Pilote 15, un grupo no sólo de estudiantes, sino de gente excelente, brillante, con ganas de trabajar por la escuela, por la Facultad, por el país, y un grupo del cual me siento muy orgulloso de formar parte.

A todos quienes a pesar de no ser nombrados por razones de espacio me han apoyado en todo momento.

Abraham Rondón

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	3
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2. OBJETIVOS.....	5
1.2.1. OBJETIVO GENERAL:	5
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	5
1.3. APORTES.....	6
CAPITULO II.....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 SITUACIÓN ACTUAL.....	8
2.2. SUELO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.....	10
2.2.1. VENTAJAS Y PROPIEDADES DE LA TIERRA	13
2.2.2. TIPOLOGÍAS DE EMPLEO DE LA TIERRA	14
2.2.2.1. TAPIAL	15
2.2.2.2. COB.....	15
2.2.2.3. BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA.....	15
2.2.2.4. ADOBES.....	17
2.2.2.5. SUELO-CEMENTO.....	18
2.2.2.5.1. APLICACIONES DEL USO DE SUELO-CEMENTO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.....	21
2.2.2.5.2. VENTAJAS DEL USO DE SUELO-CEMENTO.....	22
2.2.2.5.3. DESVENTAJAS DEL USO DE SUELO-CEMENTO	24
2.3. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	24
2.3.1. ESTABILIZACIÓN SIN APORTE DE ADITIVOS.....	25
2.3.1.1. COMPACTACIÓN.....	26

2.3.1.2. DESECACIÓN	26
2.3.2. ESTABILIZACIÓN CON APORTES DE ADITIVOS.....	27
2.3.2.1. ESTABILIZANTES QUÍMICAMENTE INERTES.....	27
2.3.2.2. ESTABILIZANTES FÍSICO-QUÍMICOS.....	27
2.3.2.2.1. PRINCIPALES ESTABILIZANTES FISICO-QUIMICOS	28
2.4. DISEÑO DE MEZCLA	31
2.4.1. CEMENTO.....	31
2.4.2. SUELO.....	33
2.4.3. AGUA.....	35
2.4.4. CAL.....	36
2.4.5. ADITIVO SOIL PLAST	40
2.4.5.1. VENTAJAS DEL ADITIVO SOIL PLAST	40
2.4.5.2. APLICACIÓN DEL ADITIVO SOIL PLAST	41
2.4.5.3. ADVERTENCIA DE LA APLICACIÓN DEL ADITIVO SOIL PLAST	42
2.5. MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN.....	42
2.5.1. CONCRETO	42
2.5.2. LODO-CEMENTO.....	46
2.5.3. PET-CEMENTO.....	48
2.5.4. RIPIO-CEMENTO	49
CAPITULO III.....	51
MÉTODO.....	51
3.1. MATERIALES Y EQUIPOS	51
3.1.1. MATERIALES Y EQUIPOS A UTILIZAR EN EL LABORATORIO DE SUELOS.	51
3.1.2. MATERIALES Y EQUIPOS A UTILIZAR EN LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS Y PROBETAS.....	52
3.1.3. ENSAYOS DE PROBETAS	53
3.2. MÉTODO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	54
3.2.1. SELECCIÓN DEL SITIO	54

3.2.2. TOMA DE MUESTRA	56
3.2.3. PRUEBAS DE CAMPO.....	56
3.2.3.1. PRUEBAS DE OLOR.....	56
3.2.3.2. PRUEBAS DEL TACTO	56
3.2.3.3. PRUEBA DE LA VISTA.....	56
3.2.3.4. PRUEBA LAVADO DE MANOS	57
3.2.3.5. PRUEBA DEL BRILLO.....	57
3.2.4. ENSAYOS DE LABORATORIOS DE SUELOS.....	58
3.2.4.1. ENSAYO GRANULOMÉTRICO	58
3.2.4.2. LÍMITE LÍQUIDO.....	60
3.2.4.2.1. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS.....	62
3.2.4.3. LÍMITE PLÁSTICO.....	62
3.2.4.3.1. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS.....	64
3.2.4.4. INDICE DERIVADOS	64
3.2.4.4.1. INDICE DE PLASTICIDAD (IP)	64
3.2.5. COMPACTACIÓN.....	65
3.2.6. ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS.....	68
3.2.6.1. MEZCLADO DE LOS COMPONENTES.....	69
3.2.6.1.1. MEZCLA DE SUELO-CEMENTO	70
3.2.6.1.2. MEZCLA DE SUELO-CEMENTO-CAL.....	72
3.2.6.1.3. MEZCLA DE SUELO-CEMENTO-ADITIVO SOIL PLAST.....	73
3.2.7. ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS	74
3.2.7.1. TAMAÑO DE LAS PROBETAS.....	75
3.2.7.1.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN	75
3.2.7.1.2. ENSAYO DE FLEXIÓN	75
3.2.7.1.3. ENSAYO DE ABSORCIÓN	76
3.2.7.1.4. ENSAYO DE EROSIÓN	76
3.2.7.2. ESPECIFICACIONES DE LAS PROBETAS	76
3.2.7.3. ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS	77
3.2.7.3.1. PROBETAS DE BLOQUE MACIZO	77

3.2.7.3.2. PROBETAS CÚBICAS	79
3.2.7.3.3. PROBETAS CILÍNDRICAS	80
3.2.7.4. CURADO DE LAS PROBETAS.....	82
3.2.8. ENSAYO A LAS PROBETAS.....	83
3.2.8.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN	85
3.2.8.1.1. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS.....	88
3.2.8.2. ENSAYO DE FLEXIÓN	89
3.2.8.2.1. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS.....	90
3.2.8.3. ENSAYO DE ABSORCIÓN.....	91
3.2.8.3.1. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS.....	92
3.2.8.4. EROSIÓN CON CEPILLO.....	93
3.2.8.5. EROSIÓN CON ROCIADO	94
3.3. CONTRASTE EL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS CONSIDERADAS	94
3.4. IDENTIFICAR LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS ADITIVOS	95
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA ELABORAR MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO Y ADITIVO.....	96
CAPITULO IV	97
ANÁLISIS Y RESULTADOS	97
4.1. ENSAYOS DE CAMPO.....	97
4.1.1. PRUEBA DE OLOR.....	97
4.1.2. PRUEBA DEL TACTO:.....	97
4.1.3. PRUEBA DE LA VISTA.....	97
4.1.3.1. COLOR.....	97
4.1.3.2. TAMAÑO.....	98
4.1.3.3. PRUEBA DEL LAVADO DE MANOS	98
4.1.3.4. PRUEBA DEL BRILLO.....	98
4.2. ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELO.....	98
4.2.1. GRANULOMETRIA.....	98

4.2.2 LÍMITES DE ATTERBERG	99
4.2.2.1 LIMITE LÍQUIDO (WI)	99
4.2.2.2. LÍMITE PLÁSTICO (Wp).	101
4.2.2.3. ÍNDICE DE PLASTICIDAD (Ip)	101
4.2.3. COMPACTACIÓN.....	101
4.3. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	105
4.4. ENSAYOS A LAS PROBETAS.....	105
4.4.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN.....	106
4.4.2. ENSAYO DE FLEXIÓN.....	112
4.4.3. ENSAYO DE ABSORCIÓN.....	116
4.4.4. EROSIÓN POR CEPILLADO.....	121
4.4.5. EROSIÓN POR ROCIADO	127
4.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS ADITIVOS EN DISTINTAS DOSIFICACIONES	130
CAPITULO V	137
CONCLUSIONES.....	137
RECOMENDACIONES.....	141
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	143
ANEXOS.....	147

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Determinación del límite líquido.....	62
Ecuación 2: Índice de Plasticidad.....	64
Ecuación 3: Resistencia a la compresión.....	88
Ecuación 4: Promedio de la resistencia a la compresión	88
Ecuación 5: Módulo de rotura.....	90
Ecuación 6: Absorción.....	92
Ecuación 7: Promedio de absorción.....	92

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1: Sector Bello Campo	55
Foto 2: Extracción de suelo	55
Foto 3: Laboratorio de Suelos (IMME)	58
Foto 4: Material para tamizar	59
Foto 5: Tamizado del material	60
Foto 6: Extracción de la muestra	61
Foto 7: Límite plástico	63
Foto 8: Pesaje de las porciones	65
Foto 9: Medición de la cantidad de agua	66
Foto 10: Preparación de la muestra	67
Foto 11: Colocación del suelo en bolsas plásticas	67
Foto 12: Muestras para ensayo de compactación	67
Foto 13: Secado del suelo	70
Foto 14: Mezclado de suelo-cemento	70
Foto 15: Incorporación de agua	71
Foto 16: Mezcla de suelo-cemento-cal	72
Foto 17: Incorporación del aditivo a la mezcla	74
Foto 18: Aceite para engrasar el molde	78
Foto 19: Colocación de aceite en el molde	78
Foto 20: Probetas de suelo-cemento	79
Foto 21: Probetas cúbicas de suelo-cemento-cal 1%	80

Foto 22: Formaletas cilíndricas	80
Foto 23: Cilindros después de las primeras 24 hs.....	81
Foto 24: Curado de las probetas	82
Foto 25: Probetas colocadas bajo techo	83
Foto 26: Probetas en el horno	84
Foto 27: Medición de las probetas	84
Foto 28: Identificación de las probetas cilíndricas	85
Foto 29: Preparación del caping.....	86
Foto 30: Colocación del caping	86
Foto 31: Preparación del cilindro en la máquina de compresión.....	87
Foto 32: Ensayo de compresión.....	87
Foto 33: Falla de la probeta de suelo-cemento 10%.....	88
Foto 34: Verificación de la distancia entre apoyos	89
Foto 35: Probeta a ensayar a flexión.....	90
Foto 36: Falla de la probeta.....	90
Foto 37: Peso de la probeta seca.....	91
Foto 38: Probetas sumergidas en agua (Ensayo erosión y absorción)	93

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica.....	99
Gráfico 2: Determinación del límite líquido.....	100
Gráfico 3: Curva de compactación	103
Gráfico 4: Resistencia a la compresión a los 7 días.....	107
Gráfico 5: Promedio de la resistencia a la compresión a los 7 días	108
Gráfico 6: Resistencia a la compresión a los 7 días de diferentes materiales.....	109
Gráfico 7: Resistencia a la flexión a los 7 días	113
Gráfico 8: Promedio de la resistencia a la flexión a los 7 días	114
Gráfico 9: Resistencia a la flexión a los 7 días de diferentes materiales.....	115
Gráfico 10: Porcentaje de absorción	117
Gráfico 11: Promedios de porcentaje de absorción.....	118
Gráfico 12: Porcentaje de absorción de diferentes materiales	119
Gráfico 13: Porcentaje de pérdida de material de las mezclas.....	122
Gráfico 14: Promedios de porcentaje de pérdida de las mezclas.....	123
Gráfico 15: Pérdida de material de las mezclas (gr).....	123
Gráfico 16: Promedios de pérdida de material de las mezclas (gr)	124
Gráfico 17: Comparación de porcentajes de pérdida promedios entre distintos materiales.....	125
Gráfico 18: Pérdida de material de las mezclas (gr).....	128
Gráfico 19: Promedio de pérdida de material de las mezclas (gr).....	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Plasticidad del suelo.....	64
Tabla 2: Dosificación de los componentes para las distintas mezclas	69
Tabla 3: Proporciones de los componentes	69
Tabla 4: Cantidad y tipo de probetas a ensayar para las distintas mezclas	77
Tabla 5: Resultados del ensayo de granulometría	98
Tabla 6: Resultados del ensayo de límite líquido	100
Tabla 7: Resultados del ensayo de compactación	102
Tabla 8: Valores para realizar la curva de compactación.....	102
Tabla 9: Estabilización del suelo según el contenido de agua óptimo.....	104
Tabla 10: Resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días (Kg/cm ²)...	106
Tabla 11: Esfuerzo promedio (Kg/cm ²).....	107
Tabla 12: Resistencia a la compresión a los 7 días de diferentes materiales	109
Tabla 13: Resultados del ensayo de flexión a los 7 días.....	112
Tabla 14: Módulo de rotura promedio de las mezclas.....	113
Tabla 15: Módulo de rotura promedio de distintas mezclas	114
Tabla 16: Resultados del ensayo de absorción.....	117
Tabla 17: Promedio de porcentaje de absorción	118
Tabla 18: Porcentaje de absorción de diferentes materiales.....	119
Tabla 19: Resultados de ensayo de erosión por cepillo a los 7 días.....	121
Tabla 20: Porcentaje de pérdida de las mezclas.....	122
Tabla 21: Promedios de pérdida de material de las mezclas (gr).....	124

Tabla 22: Porcentaje de pérdida promedios entre distintos materiales	125
Tabla 23: Resultados del ensayo de erosión por rociado a los 7 días	127
Tabla 24: Promedios de pérdida de material de las mezclas (gr).....	128

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la humanidad la construcción con tierra y los diversos métodos y aplicaciones se han ido desarrollando, desde formar paredes protectoras para tapar las entradas de sus cavernas hasta la construcción de grandes presas de agua.

La tierra ha sido el material de construcción usado en todos los lugares y en todos los tiempos. El hombre se familiarizó con sus características y aprendieron no sólo a mejorarlas agregándole algunas fibras vegetales, ramas o mezclando tierra de diferentes características, como refuerzos para consolidar sus resistencias; sino que amplió su uso a casi todas las actividades humanas, principalmente la vivienda.

En los tiempos modernos se ha reemplazado la tierra por otros materiales como el vidrio, el hierro y el concreto, en especial para las construcciones urbanas, quedando las construcciones de tierra para las viviendas rurales, principalmente en los países del llamado tercer mundo. En una economía altamente tecnificada como la que se vive hoy, es natural que así suceda con las construcciones urbanas en donde los edificios de altura son más numerosos y el espacio se usa más intensivamente.

Sin embargo, a pesar de la evolución de las técnicas, el perfeccionamiento de los sistemas constructivos, se ha olvidado lo bondadoso del material, y se han aumentado considerablemente los costos de fabricación y los niveles de contaminación asociados a la industria de la construcción, afectando no sólo el medio ambiente, sino al constructor popular.

Si a este hecho, añadimos el déficit de vivienda que presenta Venezuela y muchos otros países, y la meta del Estado de lograr la construcción de 300.000 unidades de vivienda anuales, es necesario la investigación de nuevas técnicas de construcción, sencilla, económica, eficiente y ambientalmente sustentables que permitan aportar soluciones al hábitat mundial.

Así pues, surge la idea de retomar la tierra como material de construcción por su abundancia en la naturaleza, y por sus grandes ventajas ecológicas y mecánicas. Del mismo modo, y aprovechando los conocimientos actuales, disminuir sus limitaciones con la aplicación de estabilizantes y con la aplicación de sistemas constructivos que permitan minimizar sus desventajas.

En este trabajo, se plantea la elaboración de mezclas de suelo-cemento con diferentes dosificaciones de aditivos que permitan la selección del material más conveniente para la elaboración de bloques según un proyecto deseado, como aporte a posibles soluciones a la dura realidad habitacional que presenta nuestro país y el mundo.

CAPITULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En vista del aumento de los costos en el área de la construcción y la creciente demanda de los materiales constructivos, es necesario plantear y estudiar nuevas tecnologías alternativas.

A partir de la investigación realizada sobre “DISEÑO DE MEZCLA PARA SU USO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES ALIGERADOS DE SUELO-CEMENTO” (Rodríguez y Simonpietri, 2002) surge la necesidad de determinar el comportamiento del diseño de mezclas de suelo-cemento junto con un aditivo empleado en la estabilización del suelo e hidratación del cemento, para determinar la factibilidad técnica y económica de la utilización del aditivo en la elaboración de bloques.

Conociendo los antecedentes de dicho aditivo y los beneficios que trae en sus diferentes fases de aplicación en el área de vialidad, será interesante encontrar según el tipo de suelo diferentes dosificaciones de cemento y aditivo que permitan comparar su comportamiento, determinar sus ventajas o desventajas tanto a nivel estructural (resistencia, durabilidad) como económico y elaborar una metodología experimental que facilite a las personas la aplicación del método, conforme con las necesidades propias de un proyecto.

De esta manera, dependiendo de las características de la obra, (ubicación, tipo de suelo de la zona, distancia al saque, velocidad de ejecución requerida,

presupuesto, materiales disponibles, carácter de la obra, precios de los materiales y de transporte), se podrá seleccionar la dosificación y metodología adecuada según el caso, para obtener economía, trabajabilidad o resistencia.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la factibilidad técnica de la utilización de un aditivo en diseños de mezclas de suelo-cemento para la posterior elaboración de bloques.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Seleccionar las posibles dosificaciones de cemento y aditivo que serán utilizados en el diseño de mezclas.
- Ensayar probetas elaboradas con diferentes diseños de mezcla de suelo-cemento y aditivo.
- Establecer una metodología experimental para elaborar mezclas de suelo-cemento y aditivo.
- Contrastar el comportamiento de las mezclas consideradas con mezclas de otros materiales utilizados en la construcción.
- Identificar las ventajas y desventajas de la utilización del aditivo en las distintas dosificaciones.

1.3. APORTES

- **Para la sociedad**

Tomando en cuenta la conservación de los recursos y el impacto ambiental, el retomar la tierra como material de construcción, económico, abundante en la naturaleza y con buenas referencias en el área de construcción de viviendas, así como la aplicación de un aditivo en mezclas de suelo-cemento, que mejore las propiedades de las mezclas y reduzca las cantidades de cemento a utilizar, permitirá elaborar mezclas económicas, resistentes, durables y/o trabajables para la fabricación de bloques para su uso en obras de interés social, permitiendo la accesibilidad de casas dignas para personas de bajos recursos.

- **Para la Institución**

Con el estudio del comportamiento del aditivo en las mezclas de suelo-cemento para su posterior utilización en la construcción, no sólo proporcionaremos al Departamento de Estructuras de la Universidad Central de Venezuela un material bibliográfico para reforzar la línea de investigación de suelo-cemento que desarrolla este departamento, sino que servirá de aporte a la Facultad de Ingeniería como un material referencial que brinde nuevas opciones ante la selección de materiales constructivos.

- **Para la ingeniería y el sector de la construcción**

La aplicación de un aditivo, actualmente empleado en vialidad para la estabilización de terraplenes, en el diseño de mezclas de suelo-cemento para la fabricación de bloques, introducen al mercado estructural nuevas opciones y

tendencias constructivas, que junto al estudio de los materiales constituyentes y al comportamiento de las mezclas elaboradas, permitirá ampliar las posibilidades constructivas a varios niveles tanto económicos como operativos.

Aunado a esto servirá como guía informativa o referencial para aquellas personas que incursionan dentro del desarrollo de nuevas tecnologías constructivas, quienes les darán una aplicación conforme las necesidades e intereses de cada proyecto (economía, velocidad, trabajabilidad, escasez de materia prima).

- **Personal**

Ahondar en el campo de investigación de suelo-cemento y la aplicación de aditivos, nos permitirán reforzar y adquirir conocimientos en el área de estructuras, mecánica de suelos y en el comportamiento químico y mecánico de cada uno de los componentes empleados, así como también desarrollar criterios que nos permitan concluir sobre las ventajas o desventajas de la aplicación de dichos componentes en la elaboración de materiales constructivos.

Del mismo modo, la documentación bibliográfica y elaboración de la metodología necesaria para desarrollar este trabajo, y su carácter teórico-experimental, nos ayudará en la formación como profesionales, al lograr interpretar y analizar información teórica, para la elaboración de un método, su aplicación sistemática y la evaluación de los resultados.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 SITUACIÓN ACTUAL

Según los datos de la Cámara Venezolana de la Construcción (CVC), las principales fallas en lo referente a los materiales en la construcción se registran con los agregados (arena y piedra) y con los productos de arcilla. A lo que se suman los problemas con la distribución de cemento.

En el caso de los agregados existen retrasos con la entrega de los permisos para extraer los insumos con lo cual no hay suficiente materia prima, algunas empresas se han retirado del mercado y adicionalmente algunas canteras ubicadas en las cercanías de los ríos ya están agotadas.

Aunado a esos problemas se suman los efectos del control de precios. Aquellas empresas que todavía tienen agregados se encargan ahora de realizar el traslado de los materiales a las obras con lo cual al final el producto terminado resultando más costosos. Los precios de la piedra y la arena están controlados, pero las empresas productoras al ser las encargadas de efectuar el transporte han elevado los fletes por lo cual los constructores terminan pagando más.

Más allá de los agregados, las empresas de la construcción también tienen dificultades para abastecerse productos de arcilla, (en especial bloques) dado que existe un rezago de inversión. Los voceros del sector señalan que en el caso del cemento las fallas son tanto de logística como de escasez. La dificultad que han encontrado los consumidores para conseguir cemento, tanto en pequeñas como en grandes ferreterías, se explica por el aumento de la demanda a lo largo de este año. Según el Banco Central de Venezuela, en los primeros 6 meses de 2007, la

demanda creció 20% en promedio, lo cual explica que el producto salga con tanta velocidad de la red de distribución.

Ese comportamiento en gran medida responde al crecimiento que registra la actividad de la construcción, en especial, la atención y el abastecimiento que demanda el Ejecutivo nacional en obras como el sistema ferroviario, las líneas del metro, construcción masiva de viviendas, y otros proyectos, que generan desabastecimiento a nivel nacional para constructoras medianas y pequeñas, y mucho más para el conocido constructor popular.

Sin embargo, la principal dificultad que registran las cementeras es con el transporte, debido a que no existen unidades suficientes para trasladar los sacos, e incluso con las existentes, por la inseguridad en las carreteras, las condiciones y dificultades de las vías, el tráfico, y el costo que implica el impuesto terrestre por transporte de materia prima, trae como consecuencia, que en repetidas ocasiones ni siquiera se logre distribuir el producto elaborado.

Sumado a esto, Venezuela se enfrenta a un déficit de vivienda con cifras cercanas al millón y medio de unidades habitacionales, de acuerdo a organismos especializados tanto gubernamentales como privados, lo cual refleja, que ni el gobierno, ni el sector privado logran acercarse a valores cercanos de las necesidades habitacionales de la población.

Por esta razón, las soluciones deben plantearse a través de nuevas estrategias de construcción de viviendas sin limitarse a la sola construcción de estas, sino a la necesidad de crear hábitat, es decir, el desarrollo de centros económicos, educacionales y recreativos para que la planificación de las viviendas sea realmente efectiva.

El gobierno, aprovechando su incentivo hacia el bienestar social, debe involucrar a las comunidades a nuevas alternativas constructivas, a través de los conocidos programas que otorgan las herramientas para que los mismos habitantes con sus destrezas y capacidades sean constructores de sus viviendas, de esta manera se les otorga empleo a los mismos miembros de la comunidad, mancomunadamente con la supervisión necesaria para la aplicación de tecnologías sustentables.

De esta manera, y en la línea de investigación de nuevos materiales en la construcción, de menor impacto ambiental, surge la idea de retomar el uso del suelo estabilizado como material de construcción. No solo se minimizarían los problemas de transporte, costos, abastecimiento de materiales, y gasto energético, sino que con una buena utilización de este recurso, se podría alcanzar optimizar en gran medida la construcción de viviendas de interés social.

En nuestro caso, se aplicará a mezclas de suelo- cemento, un aditivo usado en vialidad, para determinar las ventajas que podría generar su aplicación en la elaboración de bloques.

2.2. SUELO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

La tierra fue uno de los primeros materiales de construcción empleados por la humanidad. Actualmente, con el advenimiento de los materiales industrializados, su uso se quedó casi olvidado.

Sin embargo, con la preocupación de poner en práctica los principios del desarrollo sostenible y la consiguiente tendencia de buscar productos y/o procesos que demandan bajo consumo energético, nuevos materiales alternativos o no convencionales están siendo investigados.

La tierra se encuadra en ese tipo de material y presenta un gran potencial para uso en obras en el medio rural, principalmente para la fabricación de ladrillos prensados.

El suelo es uno de los materiales de construcción más antiguos. Las civilizaciones persa, egipcia y babilónica, la utilizaron en abundancia y los ejemplos que han perdurado muestran que los antiguos no dudaron en emplearlo en obras a veces monumentales, como pirámides en Egipto, Ruinas de Chan-Chan en el Perú, entre otras.

En varios países se han hecho estudios destinados a incorporar el uso del suelo como material de construcción a fin de reducir los costos mediante la utilización del material más abundante en la tierra.

En la antigüedad, las primeras casas y ciudades se construyeron con tierra cruda. Hoy, para levantar nuestros hogares empleamos materiales de elevada energía incorporada, de difícil reciclaje y que en ocasiones incluso incorporan elementos tóxicos. Puede que haya motivos más que justificados para volver a reivindicar la sencillez y propiedades del suelo.

La tierra como material de construcción está disponible en cualquier lugar. Aunque fueron las casas más primitivas las que se edificaron con tierra cruda, estas técnicas no son algo del pasado: hoy en día, de un tercio a la mitad de la población mundial vive en casas de tierra.

En los lugares en que es tradicional se mantiene, y en algunos países desarrollados se continúan llevando a cabo experiencias y se investiga sobre sus aplicaciones incluso a nivel de construcción plurifamiliar o prefabricada.

Son muchísimos los testimonios arqueológicos e históricos de la construcción con tierra, pero además el barro abunda actualmente en las sencillas construcciones populares de gran parte del mundo.

El hecho de hallar todavía en buen estado muchas obras de tipo monumental en tierra refleja cuan duraderas puede llegar a ser. La tierra se empleó para levantar fortificaciones, castillos, murallas, mezquitas, graneros, molinos y viviendas populares, en lugares como el Sahara, el Magreb, África Central y Oriental, América Latina, o toda Europa, incluyendo también lugares lluviosos como Suecia, Noruega y Dinamarca.

Hay que destacar la presencia en la actualidad de la tierra cruda en la edificación. En los países con mayor necesidad de viviendas y menos recursos como sucede en casi toda África, Oriente Medio y América Latina, la tierra es el material de construcción que predomina. En China e India hay más de 50 millones de casas de tierra. En zonas como Europa, sin embargo, la tierra está prácticamente ignorada en la construcción nueva, aunque forma parte del paisaje cotidiano en muchas regiones rurales donde todavía se mantienen viviendas y patrimonio de tierra.

Finalmente, un edificio de bloques de tierra no es solamente sano para los seres humanos, sino también para el planeta. Los bloques de tierra se hacen de tierra, un recurso natural renovable y no tóxico. Los edificios de bloques de tierra son virtualmente insonoros, a prueba de insectos y fuego.

Los bloques tienen una de las cantidades más bajas entre los materiales de construcción de energía incorporada. Esto significa que demandan muy poca energía para su fabricación. Además, los ahorros de energía son inmediatos por

sus bajos requerimientos de enfriamiento y calefacción. Protegida correctamente contra los elementos, una estructura de bloques de tierra durará siglos.

2.2.1. VENTAJAS Y PROPIEDADES DE LA TIERRA

- La tierra es un material inocuo, no contiene ninguna sustancia tóxica.
- Es totalmente reciclable, sería posible integrar totalmente el material en la naturaleza una vez se decidiera demoler el edificio.
- Fácil de obtener localmente, prácticamente cualquier tipo de tierra es útil para construir.
- Se puede escoger la porción y el tipo deseado de la tierra disponible.
- La construcción con tierra cruda es sencilla y con poco gasto energético.
- Su obtención es respetuosa, si se extrae del propio emplazamiento, provoca un impacto poco mayor que el que ya supone realizar la propia construcción. No lleva asociados problemas como la deforestación o la minería extractiva que implican otros materiales constructivos.
- Excelentes propiedades térmicas.
- Propiedades de aislamiento acústico.
- La tierra es un material inerte que no se incendia, pudre, o recibe ataques de insectos.
- Es un material por naturaleza transpirable.
- Económicamente asequible, es un recurso prácticamente gratuito que a menudo ya se encuentra en el lugar la tierra adecuada.

En las casas de tierra habitualmente se puede realizar con este material desde las paredes, hasta los revocos y los suelos. El material empleado debe tener

una composición determinada para poder aprovechar correctamente sus propiedades.

Es posible encontrar bibliografía específica así como artículos con los aspectos más técnicos de la construcción con tierra. En ellos se describen, de modo más fiable de lo que es posible detallar aquí, las proporciones más adecuadas, las características plásticas idóneas, o la utilización de los posibles estabilizantes de la tierra (desde la paja, la cal, el cemento, entre otros.).

En diferentes bibliografías, se dice que los finos deben estar en poca cantidad, en una proporción igual o inferior al 40 %. También se dan como adecuadas, sobre todo para las técnicas de tapial y adobe. Un sencillo ensayo de sedimentación puede dar una idea de las proporciones de la tierra de que se dispone. Además, de tener una proporción suficiente de arcilla y otros componentes, la tierra a emplear debe estar limpia de raíces y restos vegetales, y tener un aspecto homogéneo.

2.2.2. TIPOLOGÍAS DE EMPLEO DE LA TIERRA

Existen diferentes técnicas para trabajar la tierra cruda, y la mayoría de ellas son técnicas ancestrales que se han mantenido con pequeños cambios desde la antigüedad hasta nuestros días, aunque otras son aportaciones modernas. A menudo, están fuertemente relacionadas con las costumbres locales, la climatología del lugar y las características de la tierra disponible.

Las técnicas principales son el tapial, el cob, los bloques de tierra compactada, los adobes, suelo-cemento.

2.2.2.1. TAPIAL

Se denomina tapia o tapial, a una antigua técnica consistente en construir muros con tierra arcillosa, compactada a golpes mediante un pisón, empleando un encofrado deslizante para contenerla. El encofrado suele ser de madera, aunque también puede ser metálico.

En el proceso, se van colocando dos maderas paralelas, entre las que vierte tierra en tongadas de 10 ó 15 cm, y se compactada mediante apisonado.

Posteriormente se corre el encofrado a otra posición para seguir con el muro. La tierra compactada se deseca al sol, y una vez que la tapia o tapial queda levantado, las puertas y ventanas se abren a cincel.

2.2.2.2. COB

Construcción de casas de tierra mediante una mezcla de tierra, agua y paja sin darle ninguna forma concreta. Es originaria de Gran Bretaña, aunque se hallan ejemplos por todo el mundo, y resulta especialmente adecuada en zonas lluviosas.

2.2.2.3. BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA

Son ladrillos de tierra cruda con bajo contenido en agua obtenidos tras prensarlos de manera mecánica, para obtener formas regulares y mayor resistencia.

Otra aplicación moderna de la tierra, aunque todavía en desarrollo, son las casas de bolsas de tierra, que mediante bolsas de polipropileno o textiles rellenas de tierra permite construcciones de gran solidez. Estas últimas técnicas se barajan

como alternativas para mejorar los problemas de vivienda en los países más desfavorecidos.

Reivindicar la construcción con tierra en otros casos no tiene como objetivo la innovación, la cooperación y ayuda al desarrollo o la recuperación de una técnica ancestral, sino simplemente la restauración correcta de las construcciones ya existentes.

En muchos lugares, donde la construcción con tierra es tradicional, tanto las construcciones más populares, como casas y establos, como las iglesias o palacios se realizaban con tierra del lugar. No es poco habitual que este patrimonio, deteriorado por el paso de los años, se rehabilite con materiales ajenos a los que incluían inicialmente, como morteros de cemento en vez de revocos de barro. En este caso, por ejemplo, destacaría el hecho que los cementos no poseen la flexibilidad de la tierra ni su capacidad para permitir el paso del vapor de agua, de modo que las edificaciones restauradas sufren grietas y humedades, además de romper los valores estéticos originales.

Construir con tierra se basa en la simplicidad, en tratar de construir con poca mano de obra especializada y las mínimas herramientas. En determinados proyectos de construcciones singulares o en viviendas unifamiliares es una opción inmejorable pues la tierra resulta atóxica, tiene baja energía incorporada y características óptimas para la climatización pasiva.

En los países industrializados, además de utilizarse para rehabilitar antiguas construcciones, la tierra se ha aplicado con éxito en proyectos singulares de personas comprometidas con la autoconstrucción y el uso de materiales naturales.

Además, se empieza a introducir esta construcción alternativa con tierra en la construcción convencional: en Alemania, algunos fabricantes han empezado a producir materiales de construcción basados en la tierra sin cocer, como ladrillos aligerados con paja o corcho, o paneles de tierra para utilizar en interiores. Disfrutar de viviendas saludables y de bajo impacto ambiental debería ser una prioridad, y construir con tierra es una interesante posibilidad.

2.2.2.4. ADOBES

El adobe es la mezcla en húmedo de arcilla, arena y paja, materiales abundantes y de bajo precio en cualquier lugar, para su construcción se utiliza un molde de forma parecida una escala de madera, en la que cada “peldaño”, conforma el espacio de un adobe, más o menos como un ladrillo de unos 10cm de grueso. Inmediatamente, relleno el molde, se levanta y se traslada a un nuevo lugar para fabricar otra serie, de forma que los adobes recién fabricados secan al aire por los cuatro costados.

Cuando los adobes se secan del todo se les despegan del suelo, y se les utiliza como ladrillos, usando como argamasa el mismo barro del que están hechos, de forma que todo el muro queda hecho de adobe. Antes que la pared seque del todo se le puede dar un enlucido de barro, de forma que la pared quede totalmente lisa.

Pero la razón para su elección como material de construcción, no sólo es de precio, sino porque reúne ventajas que van desde consideraciones estéticas; el adobe permite realizar formas suaves y redondeadas de agradable aspecto, a ecológicas por el bajo consumo de energía que exige este tipo de edificaciones, y de confort, pues las casas de adobe son mucho más frescas en verano y cálidas en invierno que las de ladrillo, por lo que casi no precisan de utilización de energía en su climatización.

Una ventaja adicional del adobe, es que permite fácilmente modificar la construcción una vez realizada, derruir un muro o ampliar la vivienda, provoca menos problemas que la construcción habitual, pues el adobe se puede reciclar in situ en los muros de la nueva obra y el resto se transforma en tierra que se incorpora al suelo.

Pese a que encontramos edificaciones en adobe de varios pisos, el adobe, por su peso no es, en principio, material conveniente para la construcción en altura, pero resulta muy adecuado para viviendas de dos plantas.

Tampoco se debe utilizar este material en zonas que tengan riesgo de movimientos sísmicos, ni en zonas de clima muy húmedo, tanto en lo referente a una abundante pluviometría, como a sitios caracterizados por tener de forma habitual, un alto índice de humedad ambiental.

El gran enemigo del adobe es la humedad, por ello tradicionalmente, la base de las paredes exteriores de los edificios de adobe se realizaban con piedra, hasta una altura aproximada de 40cm, de modo que los muros de adobe quedaban aislados de la humedad que sube por capilaridad del suelo y de los charcos que se pueden formar en caso de lluvias intensas.

La piedra se puede sustituir perfectamente, por un encofrado de concreto, impermeabilizado en su parte superior con una capa continua de asfalto que sirva de barrera a la humedad.

2.2.2.5. SUELO-CEMENTO

El suelo-cemento es un material compuesto de suelo y cemento, mezclados en forma íntima y compactada a máxima densidad, en estado húmedo, antes de la hidratación del cemento. El suelo constituye el agregado y debe ser previamente

pulverizado, secándolo en caso necesario hasta que se rompa en sus partículas individuales.¹

La proporción de cada componente varía con la naturaleza del suelo, siendo por lo tanto de gran importancia el estudio de las características del mismo.

El suelo-cemento es una alternativa para la estabilización o mejoramiento de las características físicas y mecánicas de un suelo que en condiciones normales no brindaría el adecuado soporte para la construcción de un pavimento o cualquier edificación.

Es mucho lo que se ha hecho empleando este material de construcción, pero hasta ahora no existe un criterio específico para diseñar las mezclas en lo referente al contenido de cemento. Así que los criterios quedan fuertemente ligados a la experiencia del ingeniero, combinado con los criterios de tipo económico, que sin duda, y más en nuestro país constituyen un elemento importante en la decisión final.

El suelo ideal a ser estabilizado con cemento es el que da una resistencia elevada y se contrae poco al secarse. Deberá estar compuesto por una mezcla de arena y finos, así como también deberá tener buenas aptitudes para ser compactado.

El suelo-cemento reúne en alto grado todas las cualidades que debe responder un material para ser considerado económico y apto para construcciones de bajo costo, además, su empleo con una buena supervisión y los controles de calidad necesarios, evitarían gastos en mano de obra especializada, siendo

¹ Vethencourt, E. (1960). "Apuntes de suelo-cemento". Caracas. 79 pp.

solamente necesario un albañil, que estará a cargo del personal y el resto pueden ser ayudantes.

Mediante el empleo de la mezcla de suelo-cemento se elimina casi por completo el transporte de materiales pues este rubro se reduce únicamente al movimiento del cemento, para confirmarlos basta analizar los componentes de la mezcla constituida, aproximadamente, por 90 % de suelo del lugar y 10 % de cemento Portland.

Este material se ha empleado con amplio éxito en la construcción de pistas de aeropuertos, viviendas, revestimiento de canales y muy especialmente en construcciones rurales, pisos en general, galpones, entre otros, algunos de los cuales requieren controles rigurosos de mezclado.

En la actualidad, se amplía el campo de aplicación, ya iniciado hace muchos años, mediante la fabricación de ladrillos para la construcción de muros de viviendas ya sean de carácter portante o no.

Antes de la aplicación del cemento como estabilizador, la construcción con tierra apisonada simple requería, además de un suelo apropiado, un clima seco con lluvias y tormentas escasas para evitar la excesiva erosión de los muros. El uso del suelo-cemento amplió sus posibilidades a prácticamente cualquier región. Hace que no sea necesaria una impermeabilización posterior.

La elección del lugar donde se va a edificar una casa de tierra no es un hecho menor, ya que esta es económica sólo en zonas rurales o suburbanas que dispongan de suficiente terreno para extraer suelo.

La razón es el alto costo del transporte de tierra. En caso de disponer poco espacio, la excavación de un sótano proveerá de tierra suficiente, pero habrá que considerar los materiales que este demandará para que resulte a prueba de humedad. Otro argumento para elegir zonas menos urbanizadas es que los códigos de edificación suelen ser menos rigurosos.

Así puede ocurrir que en las grandes ciudades no se contemple la construcción con suelo-cemento mientras que en zonas rurales y suburbanas se aliente su adopción en planes oficiales de vivienda.

2.2.2.5.1. APLICACIONES DEL USO DE SUELO-CEMENTO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

En varios países se han hecho experiencias destinadas a incorporar el uso del suelo como material de construcción a fin de reducir los costos mediante la utilización del material más abundante en la corteza terrestre.

El uso cada día más diversificado del suelo estabilizado con cemento en diversas obras que de este modo resultan económicas.

Entre estos usos se encuentran:

- Construcción de viviendas económicas.
- Revestimiento de taludes.
- Revestimientos de canales de riego.
- Revestimiento de presas de tierras.
- Construcción de represas.
- Construcción de bases y sub-bases de pavimento.

- Realización de mamposterías de ladrillos.

En todas estas obras, la razón fundamental del uso del suelo-cemento es la obtención de un material de bajo costo que utiliza materiales locales.

2.2.2.5.2. VENTAJAS DEL USO DE SUELO-CEMENTO

Adicionalmente, se puede obtener con la utilización de este material, grandes ventajas en relación a otros materiales empleados en la construcción, entre las cuales están:

1. Impermeabilidad

Los muros construidos con ladrillos fabricados con este material ofrecen gran resistencia al paso de la humedad, bastando para completar sus cualidades efectuar una buena toma de juntas y que se aplique con posterioridad una pintura ó lechada a base de cemento Portland.

2. Aislamiento térmico

La experiencia ha demostrado que una pared de 20cm de espesor construida con mezcla de suelo-cemento ofrece aislación térmica similar a una pared de 30cm de espesor construida con ladrillos cerámicos comunes.

Una de las principales ventajas que ofrece el suelo-cemento, por ser mal conductor del calor, es que las paredes construidas con este material no producen condensación de la humedad ambiente.

3. Aislamiento acústico

Un acabado de muros consigue la ventaja adicional de una buena absorción acústica y gracias a las propiedades naturales del suelo, al estabilizarlo con cemento, este se convierte en uno de los mejores aislantes acústicos.

4. Aislamiento de radiaciones electromagnéticas

Recientes investigaciones en Alemania, han demostrado que la tierra cruda tiene la propiedad de aislar las ondas electromagnéticas de alta frecuencia y consecuentemente, los efectos negativos sobre el cuerpo humano.

5. Incombustibilidad contra el fuego

Alcanza según el tipo de suelo, grandes valores de minutos de resistencia al fuego, ubicándose muy por encima del promedio de los materiales.

6. Alta resistencia al impacto

Esta propiedad es conocida por los antecedentes de su aplicación, ya que se ha utilizado con excelentes resultados en experiencias previas, en especial en vialidad.

7. Ecológico y económico

Importantes ahorros en adquisición y transporte de materiales, así como también, ahorro en lo referente a gastos energéticos de producción, ya que a diferencia de otros materiales como los bloques de arcilla, el cual requiere de combustión para su elaboración, al utilizar el suelo no es necesario el uso de energía para transformarlo en material útil, por lo tanto, sólo la fabricación del cemento representaría algún tipo de gasto energético.

2.2.2.5.3. DESVENTAJAS DEL USO DE SUELO-CEMENTO

1. Durabilidad
2. Poca resistencia frente a desastres naturales como sismos e inundaciones
3. Aceptación social.

2.3. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS²

Un proceso de estabilización puede ser definido como un método físico, físico-químico o químico que permite a un suelo, responder satisfactoriamente a las exigencias impuestas para su utilización en una obra.

La elección fundamental cuando se trata de construir con tierra implica:

- Utilizar la tierra disponible en el sitio.
- Obtener una tierra de mejores características.
- Cuando no se pueden ejecutar, queda una tercera opción que se trata de la estabilización del suelo, mediante procedimientos que permiten mejorar las características de los mismos.

Para la estabilización se deberá conocer:

- Las propiedades de la tierra.
- Las mejoras deseadas.
- Los productos, materiales o procesos a emplear.
- Los sistemas constructivos.

² Doat, P. Hays, A, Houben, H. "Construir con Tierra". Fondo Rotatorio Editorial-FEDEVIVIENDA. Tomo II. Colombia / 1990.

- El planteamiento de la obra, los costos y presupuestos y la programación.
- Las condiciones para el mantenimiento y el funcionamiento.

Se obtendrá una solución si, partiendo de estos datos, se está en condiciones de proponer el procedimiento que permitirá una mejora sensible de las propiedades de la tierra compatible con una técnica óptima, con los plazos y términos de ejecución, con los costos de realización y mantenimiento, y las otras determinantes del programa. Todo esto ofrece una idea de la complejidad de él y justificaría la redacción de un manual sobre la estabilización.

La estabilización, empleada desde hace mucho tiempo ofrece un amplio campo de aplicaciones en la ingeniería civil y responde a tres objetos:

- Reducir los volúmenes de vacíos entre partículas sólidas (porosidad).
- Rellenar los vacíos que no se pueden suprimir.
- Unir o mejorar los enlaces existentes entre las partículas (resistencia mecánica).

Estos objetos permiten mejorar las características mecánicas del material y reducir su sensibilidad a la acción del agua: hinchamiento, reducción y erosión.

2.3.1. ESTABILIZACIÓN SIN APORTE DE ADITIVOS

Consiste esencialmente en una reducción de la porosidad del material por el acercamiento de sus partículas.

2.3.1.1. COMPACTACIÓN

Una acción mecánica aumenta la compacidad del material, donde depende esencialmente de la granulometría del material y la naturaleza de la compactación.

Los procesos estáticos son en general más eficaces para los suelos ricos en finos. Mientras que para los suelos ricos en elementos gruesos la vibración es la más eficaz. Es así como las prensas se adaptan para la fabricación de bloques de arcilla mientras que el concreto rico en gravas, se densifica bien con la ayuda de vibradores.

La energía de compactación y el contenido de agua del material son factores determinantes. Un ensayo normalizado (Prueba PROCTOR), con el objeto de determinar para los suelos, el contenido de agua correspondiente a la mayor compacidad. Este contenido de agua se llama óptimo. La compactación, al reducir la porosidad del material, mejora sus características. Pero es necesario señalar que al utilizar sólo este proceso las mejoras obtenidas no serán permanentes en los materiales finos.

Toda construcción con tierra se degrada con el paso del tiempo por la acción del agua, lo que obliga a protegerla y a interesarse por productos (estabilizantes) que añadidos a la tierra reducen su sensibilidad a la acción del agua.

2.3.1.2. DESECACIÓN

Al desecar un material con alto contenido de finos, sin el apisonamiento limitando los efectos nocivos (fisuras), se aumenta la cohesión del material.

Esta propiedad juega un papel principal en las técnicas de construcción con bloques. El resultado obtenido corresponde a aquel que proporcionaría una compactación baja, siendo necesario para evitar las grietas producidas por la compactación.

2.3.2. ESTABILIZACIÓN CON APORTES DE ADITIVOS

2.3.2.1. ESTABILIZANTES QUÍMICAMENTE INERTES.

Se trata de materiales que añadidos a los suelos, reducen los efectos nefastos de la contracción.

Estos son:

- Las arenas y las arcillas cuya función es particularmente bien explotada en la tapia pisada.
- Las fibras vegetales y animales muy eficaces, baratos y fácilmente utilizables en la fabricación de bloques.
- Las armaduras: bandas de polímeros y de aleación de aluminio utilizadas en la construcción de taludes con “tierra armada”, en las cuales no se limita la función a la disminución de los efectos por contracción.

2.3.2.2. ESTABILIZANTES FÍSICO-QUÍMICOS.

Para los suelos una buena compactación es absolutamente necesaria y añadir estabilizantes inertes permite aún obtener un material de características

aceptables. Ellos reducen un poco la sensibilidad al agua, bajo la acción de la cual estos materiales se degradan rápidamente.

En estas condiciones, resulta conveniente agregar estabilizantes físico-químico que deben ser:

- Efectivos en una baja concentración (menos del 10% del peso seco de la tierra).
- Incorporables con un equipo sencillo.
- Costo compatible con la mejora obtenida que justifica la escogencia de la tierra para construir sobre otro material.
- Eficaces para toda una gama de suelos.
- Efectivos, cualquiera que sea el contenido de agua en el momento de tratamiento.
- Listos a asegurar la permanencia de la estabilización ante las variaciones climáticas.
- Su aplicación no debe ser muy larga ni muy corta.

2.3.2.2.1. PRINCIPALES ESTABILIZANTES FISICO-QUIMICOS

La estabilización físico-química de las tierras arcillosas tiene por principal objetivo disminuir la sensibilidad de la tierra al agua. En cuanto a la reducción de la sensibilidad de la tierra ante el agua, esta puede ser obtenida con la ayuda de productos que hagan a la arcillas menos hidrófilas.

HIDRÓFOBOS

- Asfaltos e hidrocarburos: se puede utilizar para la estabilización las emulsiones de asfalto y los asfaltos fluidificados.

LIGANTES

En los suelos pocos arcillosos es decir, poco sensibles a la acción del agua y con una baja cohesión la estabilización físico-química deberá preponderar las propiedades del producto estabilizado con relación a aquellas del suelo. Los aglomerantes podrán ser utilizados en suelos arcillosos cuando se desee obtener características mecánicas óptimas.

- Cal viva y cal hidratada

Utilizadas para la estabilización de suelos, las cales con contenidos que oscilan del 3 al 10 % producen en la mayoría de los casos mejoras sensibles en las propiedades mecánicas del suelo. Es así como la resistencia de la compresión, puede ser fácilmente multiplicada por 4 o 5.

- Lignosulfitos:

Estos productos derivados de la industria de la pulpa de papel tienen un comportamiento también como ligantes. Algunas veces y según la región, son más económicos que los cementos, además son efectivos en contenido del 1 al 2 por ciento. Presentan un inconveniente, al perder su resistencia en presencia de agua. Sin embargo pueden ser fijados al agregar sales (cromo-lignina).

- Silicato de sodio

Se utiliza asociado con un reactivo en las técnicas modernas de inyección, el silicato de sodio constituye, bajo la acción del reactivo, un gel que otorga a ciertos suelos arcillosos cohesión adicional.

- Asfaltos

Utilizados generalmente fluidificados, actúan como hidrófobos en los suelos arcillosos y como ligantes en los arenosos.

- Resinas

Las resinas de origen vegetal presentan además de su acción como hidrófobos, una función de enlace. Las resinas cinéticas al polimerizar pueden conformar excelentes aglomerantes, pero generalmente se trata de productos costosos y que requieren de altos contenidos.

La estabilización físico-química para los suelos arcillosos aporta esencialmente una reducción a la sensibilidad por la acción del agua. Los hidrófobos utilizados para ellos son diversos y variados, generalmente de origen vegetal.

El estudio de factibilidad de la construcción con tierra debe hacerse a nivel regional e incluir un reconocimiento y censo de los recursos naturales y de los productos locales. Esto debería permitir la investigación sobre estabilizantes eficaces, baratos y de producción local.

En conclusión, para los materiales arenosos, la mejora de las cualidades mecánicas debe hacerse a través del empleo de ligantes. Podrán ser las mismas que para los materiales arcillosos si se está en la búsqueda de características mecánicas excepcionales.

Los aglomerantes a utilizar, son los cementos, las cales, los asfaltos y eventualmente las resinas. Sin embargo no debe desecharse el empleo de aglomerantes locales. Es recomendable en el caso de los hidrófobos un estudio previo de sus características.

2.4. DISEÑO DE MEZCLA

2.4.1. CEMENTO

Cualquier tipo de cemento puede emplearse para elaborar suelo-cemento. El más utilizado es el Portland tipo I, componente más importante en la mezcla. "...El aporte del cemento, antes de la compactación, es que permite obtener un material con características mejoradas..."³

El Cemento Portland I es el material de uso corriente para concretos de aplicación general cuyos requerimientos químicos se limitan a restringir el porcentaje de magnesio por su peligrosidad durante el proceso de endurecimiento en contacto con sulfatos con el que forman una sal doble conocida.

El porcentaje de cemento para producir una mezcla satisfactoria de suelo-cemento varía con el carácter de suelo usado. En general mientras más fina es la textura del suelo más será la cantidad de cemento requerida para su endurecimiento.

³ Doat, P. Hays, A, Houben, H. "Construir con Tierra". Fondo Rotatorio Editorial-FEDEVIVIENDA. Tomo II. Colombia / 1990

Con la tabla 1, se podrá seleccionar el porcentaje de cemento a usar en una mezcla de acuerdo al tipo de suelo.⁴

Tabla 1: Porcentaje de cemento de acuerdo al tipo de suelo

Tipo de suelo	Porcentaje de cemento
Arenoso	4.75-9.10
Limoso	8.35-15.5
Arcilloso	10.5-15.4

El cemento se usa cada vez más como material estabilizador para suelos arenosos y arcillosos, este material ayuda a mejorar las propiedades de los suelos. Para suelos arcillosos, la estabilización con cemento es efectiva cuando el límite líquido es menor que 45-50 y el índice plástico es menor que 25 aproximadamente. Los suelos granulares y arcillosos de baja plasticidad son los más adecuados para la estabilización con cemento.

Las características principales que posee el cemento Portland es la de su rápido endurecimiento y elevada resistencia al mezclarse con una adecuada cantidad de agua.

⁴ Enteiche, Augusto. "Suelo-cemento. Su aplicación en la edificación. Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento. Primer Edición. Bogotá, 1963.

“...Se puede admitir, entonces que la presencia de cemento crea, entre las partículas más gruesas de los suelos (arenas y limos) enlaces mecánicamente resistentes aún cuando el material se encuentre en presencia de agua...”⁵

Ventajas de la utilización del cemento

- Los cementos pueden alcanzar resistencias extremadamente altas, generalmente no son afectados por el agua, y no se contraen ni dilatan significativamente.
- Los cementos son resistentes al fuego y a los daños biológicos, si se mantienen limpios.
- Las construcciones de cemento tienen un gran prestigio.

Desventajas de la utilización del cemento

- Los sulfatos y sales pueden causar un rápido deterioro.
- Debido a la gran reputación del cemento, a menudo se emplea para hacer morteros resistentes, que causa fragilidad o morteros porosos con escasa durabilidad.

2.4.2. SUELO

Desde el punto de vista de la Ingeniería Civil, el término suelo es referido a todo material mineral que en estado suelto o poco endurecido, se encuentra encima o entre estratos de roca, cerca de la superficie de la Tierra, incluyendo el aire, agua, materia orgánica y otros elementos que pueden encontrarse dispersos entre las partículas minerales.

⁵ Enteiche, Augusto. “Suelo-cemento. Su aplicación en la edificación. Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento. Primer Edición. Bogotá, 1963.

El suelo es el material de construcción más abundante que existe y el más fácil de obtener, debido a estos factores se puede decir que es el material más usado en ingeniería desde que ésta se conoce.

Básicamente, cualquier suelo puede estabilizarse con cemento a excepción de los suelos muy plásticos, orgánicos o con altos contenidos de sales que puedan afectar el desempeño del cemento.

Existen diversos criterios en varios países, que limitan y especifican las características que debe tener un suelo para considerarse aceptable en la elaboración de una mezcla de suelo-cemento.

Si se comparan dichos criterios entre sí, existen diferencias respecto a ciertos requerimientos; sin embargo, todos coinciden en limitar aspectos relativos a la granulometría del suelo, proceso constructivo y cumplimiento de requerimientos del diseño de mezcla.

El objetivo de limitar características del suelo, principalmente el índice de plasticidad y los requerimientos granulométricos, es obtener una mezcla económica en términos de la cantidad de cemento y de buen comportamiento estructural.

Los suelos estabilizados con cemento, no deben considerarse como materiales inertes. La adición de agua y cemento al suelo hace que reaccione químicamente, produciéndose cambios a través del tiempo y modificando sus propiedades físicas a corto, mediano y largo plazo.

Otras consideraciones que deben tomarse en cuenta para la selección del suelo a utilizar en mezclas de suelo-cemento, son los aspectos constructivos y de

cumplimiento de los requisitos estructurales, ya que algunos suelos presentan mayor facilidad de mezclado y de compactación que otros.

Casi cualquier suelo puede ser tratado con suelo-cemento (arcillosos, limosos, granulares, entre otros).

2.4.3. AGUA

El agua es uno de los componentes más importantes pues es éste el que define la trabajabilidad y el grado de compactación. La cantidad de agua necesaria viene dada por el ensayo de compactación, en donde la humedad óptima es la necesaria para obtener la mejor compactación posible.

Cualquier agua limpia puede ser utilizada para la elaboración de las mezclas. "...Se rechazarán en principio las aguas con materia orgánicas y las que presentan contenido salino, ya que estas provocarían eflorescencias inaceptables. Las aguas ricas en sulfatos son desfavorables para la elaboración de las mezclas..."⁶

El agua también ayuda a la reacción del cemento. El agua tiene como función principal lubricar la masa facilitando su compactación a máxima densidad e hidratando el cemento, permitiendo el endurecimiento del mismo, ligando el suelo en una masa sólida.

⁶ Enteiche, Augusto. "Suelo-cemento. Su aplicación en la edificación. Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento. Primer Edición. Bogotá, 1963.

La cantidad de agua utilizada es fundamental para la elaboración de la mezcla, ya que si se tiene un exceso o una falta del elemento agua, se refleja en la trabajabilidad del material, así como en la resistencia y durabilidad del mismo.

2.4.4. CAL

La cal es el producto de la calcinación de rocas calizas, constituido principalmente por óxido de calcio y otros productos. La unión de Cal con suelos, produce, según el caso, estabilidad volumétrica, aumento del CBR y la resistencia a la compresión.

Según su composición se clasifica en:

- Cal viva: producto de la calcinación de la roca caliza constituido por óxido de calcio asociado con óxido de magnesio, capaces de reaccionar con el agua, lo que produce su apagado o hidratación. Sus principales ventajas son la reactividad con los materiales y su poca generación de polvo durante su aplicación.
- Cal apagada: polvo seco, obtenido al tratar la cal viva con suficiente agua para satisfacer su afinidad química, provocando su hidratación. Ofrece menor peligro durante su transporte, manejo y utilización.
- Cal hidráulica hidratada: producto cementante seco, hidratado, obtenido al calcinar calizas que contienen sílice y alúmina, con propiedades de fraguado y endurecimiento aun bajo agua.

Algunas veces el término cal se utiliza para referirse a la cal agrícola que, por lo general, es piedra caliza finamente molida, un útil correctivo agrícola que no tiene la suficiente reactividad química para lograr la estabilización del suelo.

Otras veces el término cal es utilizado para referirse a los subproductos del proceso de fabricación de cal (como el polvo de horno de cal), que, aunque contienen alguna cal reactiva, generalmente sólo posee una fracción del óxido o el contenido de hidróxido del producto fabricado.

La estabilización con cal consiste en incorporar cal viva o cal hidratada al suelo. La cal actúa sobre las partículas finas contenidas en el suelo. En un primer momento, el aporte de cal modifica los enlaces entre las partículas: si se trata de arcillas, por ejemplo, estas adquieren una estructura flocular mientras que los iones de calcio introducidos por la cal conforman puentes entre las partículas. 4

Posteriormente, la reacción suelo-cal permite la formación de elementos cristalinos nuevos que intervienen en la cementación de los granos de la mezcla.

El uso de cal para mejorar suelos con mayor plasticidad, aparte de conseguir ese fin, aumenta también su resistencia a la compresión sin confinar, produciendo una textura granular más abierta.

Si se quiere estabilizar un suelo, únicamente con la aplicación de cal, la cantidad debe ser de un 3 a 10% en peso, y para que esta reacción convenientemente se necesita que el suelo tenga granos finos y minerales como sílice y alúmina, y se pueda lograr la acción puzolánica, que aglomerará adecuadamente las partículas del suelo.

Existen otros dos tipos importantes de tratamiento con cal utilizado en operaciones de construcción.

Primero, debido a que la cal viva se combina químicamente con el agua, puede ser usada con eficacia para secar suelos mojados. El calor generado por esta reacción también contribuye a secar los suelos. La reacción con el agua ocurre incluso si los suelos no contienen fracciones arcillosas significativas.

Cuando las arcillas están presentes, la reacción química de la cal con las arcillas, seca aún más los suelos. El efecto neto es que el secado ocurre rápidamente, dentro de un lapso de horas, permitiendo al contratista compactar el suelo mucho más rápidamente que si esperará que el suelo se secará por la evaporación natural.

El secado del suelo húmedo en obras de construcción es uno de los usos más amplios de la cal para el tratamiento de suelos. La cal puede ser utilizada para uno o varios de los siguientes casos: ayudar a la compactación, secar las áreas húmedas; mejorar la capacidad soporte; proporcionar una plataforma de trabajo para la construcción subsiguiente; y acondicionar el suelo para una posterior estabilización con cemento Portland o con asfalto. Generalmente, entre 1 y 4 por ciento de cal servirá para secar un sitio mojado suficientemente para permitir que procedan las actividades de construcción.

Segundo, el tratamiento con cal puede mejorar considerablemente la trabajabilidad y la resistencia a corto plazo del suelo, de tal forma que permite que los proyectos puedan ser ejecutados más fácilmente.

Los ejemplos incluyen tratamiento de suelos finos o materiales de base granular para construir caminos temporales u otras plataformas de construcción.

Típicamente se utiliza del 1 al 4 por ciento de cal en peso con respecto al suelo para la modificación, que es generalmente una menor cantidad que la utilizada para la estabilización permanente de suelos. Los cambios hechos al suelo modificado con cal pueden o no ser permanentes. La diferencia principal entre la modificación y la estabilización es que, con la modificación, generalmente no se le concede ningún crédito estructural a la capa modificada con cal en el diseño de pavimento.

Ventajas del uso de la cal

- La cal es producida con menos consumo de energía que el cemento, haciéndolo más barato y ambientalmente más aceptable en algunas regiones.
- En morteros y trabajos de enlucido, la cal es muy superior al cemento Portland, proporcionando superficies suaves con una mayor probabilidad a deformarse que a agrietarse y ayudan a controlar los movimientos de humedad y la condensación.
- Como la resistencia generada por el cemento Portland no siempre es necesaria (y a veces incluso puede ser peligrosa), el aglomerante puzolana - cal proporciona un sustituto más barato en algunas regiones y estructuralmente más adecuada.
- La lechada de cal no sólo son pinturas más baratas sino que también actúan como un germicida suave.

Desventaja del uso de la cal

- El valor de la cal está muy subestimado, especialmente desde que el cemento Portland se ha convertido en una clase de aglomerante más efectivo.

2.4.5. ADITIVO SOIL PLAST⁷

La estabilización polimérica es una técnica que permite dar cohesión, aglutinar, cementar a los suelos arenosos y gravas que poseen una escasa fracción pasa 200. El polímero autorreticulante no reacciona con el suelo.

Se usa en sustitución del cemento asfáltico con grandes ventajas de costos, durabilidad, estabilidad, adherencia, elasticidad, deformabilidad, impermeabilidad y la sencillez de aplicación en frío. Este polímero es resistente a los factores ambientales.

La emulsión polimérica una vez rota, forma una matriz que vista al microscopio es una red de alta densidad, reticular de gran rigidez y resistencia; siendo su estructura molecular en base a cadenas de hasta 1000 veces la estructura del cemento asfáltico.

Se aplica por aspersión sobre una base nivelada, no compactada, previa dilución en agua, para facilitar la penetración de la capa de base. Se recomiendan espesores de 10 cm sobre una sub-base de calidad aceptable. Puede usarse como sello de superficie (0,20 l/m²) impermeabilizando y evitando la formación de polvaredas; muy útil en mezclas suelo-cemento para facilitar y maximizar los beneficios del curado, ya que impide una rápida evaporación del agua.

2.4.5.1. VENTAJAS DEL ADITIVO SOIL PLAST

- Incrementan EL CBR (capacidad de soporte) Y el módulo resiliente de suelos granulares.

⁷ Material inédito- Ing. Hernández, Rhenzel-Aditivo Soil-Plast, 2008.

- Impermeabilizan la superficie y proporcionan un sellado de durabilidad limitada.
- Aglutina las partículas del suelo por cementación polimérica.
- Controlan el polvo.
- Aumentan la vida útil de la vialidad y facilita la inmovilidad de las arenas, difíciles de compactar.
- Es mono-componente.
- No es contaminante.
- Tiene capacidad elástica.

2.4.5.2. APLICACIÓN DEL ADITIVO SOIL PLAST

Método 1 (Sólo si se cuenta con un mezclador viajero del tipo Rotomixer).

- Preparar en un cisterna una solución de Soil-Plast® en agua limpia en una relación 1:10
- Primer paso de moto mixer: Moler con las aspas un espesor de 10 cm.
- Regar 60% del producto, mientras al mismo tiempo al suelo con Soil-Plast recién aplicado, se mezcla con el mixer viajero.
- Compactar con un pase de vibro compactador.
- Posterior riego del 40% sobre la superficie y dejar secar.

Método 2:

- Preparar en el cisterna una solución 1:10 de Soil-Plast® y agua limpia.
- Remover 10cm de suelo con Patrol (moto-nivelador) y luego extender conformando la vía. Esto se hace para aflojar el suelo.
- Regar 60% del Polímero.

- Compactar con un pase de vibro-compactador.
- Regar el 40% restante.

2.4.5.3. ADVERTENCIA DE LA APLICACIÓN DEL ADITIVO SOIL PLAST

- No aplicar si está lloviendo o se piensa que pueda llover antes de secar.
- No aplicar en suelos sobresaturados en agua.
- La aplicación puede realizarse varias veces sobre la vía con el objeto de llevar a cabo mantenimiento del tratamiento. El efecto es acumulativo.
- Se recomienda no menos de 0,5 l/m² de Soil-Plast puro.
- Mientras mayor es la cantidad de aditivo que se aplique, mayor es la durabilidad y la fortaleza a flexo-tracción de la carpeta plástica.
- Aplicar en suelos con un máximo de granos finos del 25%

2.5. MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN

2.5.1. CONCRETO

El concreto de uso común, o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como una mezcla de concreto, se introduce de manera simultánea un quinto participante representado por el aire.

La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregado.

El concreto es un material durable y resistente pero, dado que se trabaja en su forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular.

Consecuentemente con ello, el comportamiento mecánico de este material y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

- Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante, endurecida.
- La calidad propia de los agregados, en el sentido más amplio.
- La afinidad de la matriz cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.

En el primer aspecto debe contemplarse la selección de un cementante apropiado, el empleo de una relación agua/cemento conveniente y el uso eventual de un aditivo necesario, con todo lo cual debe resultar potencialmente asegurada la calidad de la matriz cementante.

En cuanto a la calidad de los agregados, es importante adecuarla a las funciones que debe desempeñar la estructura, a fin de que no representen el punto débil en el comportamiento del concreto y en su capacidad para resistir adecuadamente y por largo tiempo los efectos consecuentes de las condiciones de exposición y servicio a que esté sometido.

Finalmente, la compatibilidad y el buen trabajo de conjunto de la matriz cementante con los agregados, depende de diversos factores tales como las características físicas y químicas del cementante, la composición mineralógica y petrográfica de las rocas que constituyen los agregados, y la forma, tamaño máximo y textura superficial de estos.

De la esmerada atención a estos tres aspectos básicos, depende sustancialmente la capacidad potencial del concreto, como material de construcción, para responder adecuadamente a las acciones resultantes de las condiciones en que debe prestar servicio. Pero esto, que sólo representa la previsión de emplear el material potencialmente adecuado, no basta para obtener estructuras resistentes y durables, pues requiere conjugarse con el cumplimiento de previsiones igualmente eficaces en cuanto al diseño, especificación, construcción y mantenimiento de las propias estructuras.

El material que se utilice en la preparación del concreto afecta la facilidad con que pueda vaciarse y con la que se le pueda dar el acabado; también influye en el tiempo que tarde en endurecer, la resistencia que pueda adquirir, y lo bien que cumpla las funciones para las que fue preparado.

A continuación se presenta algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.

- Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.
- Se incrementa la resistencia al intemperismo.
- Se logra una mejor unión entre capas sucesivas y entre el concreto y el esfuerzo.
- Se reducen las tendencias de agrietamiento por contracción.

Entre menos aguas se utilice, se tendrá una mejor calidad de concreto. Menores cantidades de agua de mezclado resultan en mezclas más rígidas, sin embargo, con vibración, aún las mezclas con estas características pueden ser empleadas.

Para una calidad dada de concreto, las mezclas más rígidas son las más económicas. Por lo tanto, la consolidación del concreto por vibrado permite una mejora en la calidad del material y en la economía.

Las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, se pueden modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, durante su dosificación.

Los aditivos se usan comúnmente para:

- Ajustar el tiempo de fraguado.
- Reducir la demanda de agua.
- Aumentar la trabajabilidad.
- Incorporar intencionalmente aire en la mezcla.
- Ajustar otras propiedades del concreto.

Las ventajas del uso del concreto como material de construcción son:

- Capacidad de ser moldeado.
- Económico
- Durable.
- Resistente al fuego.
- Fabricación “in situ”.
- Propiedades estéticas.

Las desventajas del uso del concreto como material de construcción son:

- Resistencias a bajas tensiones.
- Baja ductilidad.
- Inestabilidad volumétrica.
- Baja relación entre resistencia y peso.

2.5.2. LODO-CEMENTO⁸

El lodo es el subproducto del desecho de los procesos de tratamiento de aguas, retenido en los sedimentadores y filtros durante el proceso de potabilización. Contiene óxidos hidratados de aluminio junto con materias de naturaleza orgánica e inorgánica, arrastradas por el agua cruda, siendo en la mayoría de los casos estables y sin tendencia a la descomposición. Estos se van

⁸ Willians, J., Herrera, G. (2006). “Análisis del comportamiento del Lodo-Cemento como material de construcción”. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas

extrayendo periódica e intermitentemente del fondo de los sedimentadores y de los filtros.

Las sustancias contenidas en el agua cruda son generalmente inertes como arcillas, arenas finas y limos, y otras tanto en suspensión como disueltas, de origen orgánico e inorgánico, asimismo el plancton y otros microorganismos se encuentran también en el agua cruda.

De allí que las características de los lodos varíen en función de la calidad del agua cruda y del tratamiento de potabilización aplicado a ésta.

Diferentes procesos de tratamiento generan varios tipos y volúmenes de lodo. En una planta particular, las características pueden variar anual, estacional o diariamente debido a las fluctuaciones tanto de la composición del agua como de la cantidad de reactivos utilizados durante el tratamiento.

En resumen, el lodo es una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, la cual se encuentra compuesta de:

- Sólidos presentes en el agua cruda de los cuales pueden ser: arcillas, constituyentes de turbiedad y compuestos no minerales introducidos por hojas, plancton y desagües industriales o domésticos.
- Sólidos agregados durante el tratamiento, principalmente: hidróxidos de aluminio y/o hierro, hidróxido de calcio, carbón activado en polvo y otros compuestos químicos que se agregan durante la purificación.

El estudio de posibles usos de los lodos provenientes del proceso de potabilización de agua ha sido poco desarrollado y además, no ha conseguido resultados totalmente positivos.

Se han promovido los lodos que contienen cal como aditivo para suelos que contienen arcillas ya que son capaces de estabilizar el suelo e incrementar el pH de los suelos ácidos, además de llevar los niveles de sal soluble a rangos deseados.

Algunos lodos, después de haber sido tratados y dado su elevado contenido en arcilla, pueden emplearse en la fabricación de determinados productos tales como ladrillos, bases para baldosas, siempre que el contenido en materia orgánica sea bajo.

2.5.3. PET-CEMENTO⁹

El Polietileno Tereftalato (PET) es el material plástico con el cual se elaboran los envases de bebidas gaseosas y aguas minerales. Éste, ha resultado ser muy beneficioso para la humanidad gracias a la capacidad que posee de conservar todo producto que en él se envase.

El creciente deterioro del medio ambiente a causa de la contaminación producida por desperdicios y residuos desechables, ha hecho que los investigadores de esta área, comiencen a desarrollar nuevos materiales de construcción más económicos y de fabricación simple, con maquinarias y herramientas de bajo costo, mano de obra intensiva, escaso uso de capital y simple aprendizaje para su fabricación y aplicación.

Es por esto, que la utilización del PET como material de construcción empieza a cobrar importancia en la construcción de viviendas económicas y de esta forma disminuir la cantidad de desechos de origen urbanos-industrial existente

⁹ Luis, A., Rendón, N. (2005). "Diseños de mezcla de Polietileno Tereftalato (PET)-Cemento". Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

en las poblaciones, ya que a medida que pasa el tiempo el consumo de los productos envasados con este tipo de material aumenta.

Es por ello que se ha estado desarrollando el uso del PET como agregado en distintas mezclas de concreto y mortero.

Estas mezclas de PET-Cemento consisten en sustituir parte de los agregados normalmente utilizados en concreto por polietileno tereftalato.

La mezcla de PET-cemento constituye una posible solución al problema de disposición final del PET, lo que contribuiría a disminuir la posibilidad de que el material llegue a los mares, ríos, lagunas, etc., y puedan afectar de forma negativa a la fauna, alterando los ecosistemas.

El reciclado de desechos como insumos de producción de nuevas tecnologías de materiales, constituyen hoy una línea de trabajo específica que incorpora los desperdicios de los envases plásticos dentro de mezclas de cemento para formar un nuevo producto con características sobresalientes para conformar componentes de construcción.

2.5.4. RIPIO-CEMENTO¹⁰

El material de desecho proveniente de los procesos de obtención de los agregados para la industria de la construcción es conocido como ripio. Por consiguiente, el ripio de cantera es considerado como el material descartado

¹⁰ Korody, M.E. (1998). "Estudio de la factibilidad de Utilización del ripio de Cantera como material estructural para viviendas de bajo costo". Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

durante la obtención de piedra picada, para el caso de canteras de piedra y durante el lavado de arena, en el caso de canteras o saques de arena.

En la elaboración de un bloque de ripio se requieren de tres materiales: cemento, agua y el ripio, el cual es el principal componente de la mezcla

CAPITULO III

MÉTODO

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

Para realizar el trabajo experimental de este Trabajo Especial de Grado, se requieren de materiales como el suelo, cemento, agua y aditivos (Cal y Soil Plast), así como también de equipos que nos permitan llevar a cabo la elaboración de las mezclas y posteriormente la fabricación de las probetas. Los equipos que se requieren pertenecen al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad Central de Venezuela.

A continuación se presenta un listado de materiales y equipos necesarios para:

- La caracterización del material suelo.
- Elaboración de las mezclas y probetas.
- Ensayos a las probetas.

3.1.1. MATERIALES Y EQUIPOS A UTILIZAR EN EL LABORATORIO DE SUELOS

- 16 Kg de suelo para realizar los ensayos.
- Balanza marca Metler P10N (10.000g-precisión 1g)
- Tamices normalizados.
- Envases para el manejo y secado de las muestras.

- Horno capaz de mantener una temperatura de $100\pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Equipos para ensayo de límite líquido: máquina de Casagrande, ranuradora, microondas o secador de cabello.
- Superficie lisa para ensayo de límite plástico.
- Equipo de compactación para Proctor Modificado Variante B: molde de 4", martillo, gato hidráulico, regla de acero para enrasar la muestra compactada, guantes de goma, bolsas plásticas, cilindro graduado.

3.1.2. MATERIALES Y EQUIPOS A UTILIZAR EN LA ELABORACIÓN DE MEZCLAS Y PROBETAS

- Tamiz 3/8"
- 400 kg Suelo cernido pasante del tamiz 3/8"
- Plástico para extender el suelo
- 1 saco de cemento Portland tipo I de 42,5 Kg
- 1 saco de cal hidratada de 8 Kg
- Aditivo para la elaboración de la mezcla (2 litros)
- Agua suficiente para conseguir la humedad óptima
- Balanza marca TOLEDO (45.000gr- precisión 50gr)
- Mezcladora mecánica de eje vertical de 60 lts
- Aceite y brocha para engrasar las formaletas
- 9 formaletas de bloque macizo de dimensiones 10x10x30cm
- 3 formaletas cilíndricas de D=10cm y H=20cm

- 3 formaletas cúbicas de dimensiones 10x10x10cm
- Horno capaz de mantener temperatura de $100\pm 5^{\circ}\text{C}$
- Manguera para curado
- Pisón de madera y barra metálica
- Guantes, lentes, tapaboca

3.1.3. ENSAYOS DE PROBETAS

- Horno capaz de mantener temperatura de $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ para secado de las probetas.
- Máquina Universal para compresión y tracción
- Regla vernier
- Cubeta para sumergir bloque para ensayo de erosión por cepillo
- Cepillo de cerdas duras
- Manguera para ensayo de erosión por rociado
- Yeso dental
- Nivel
- Balanza digital marca EPELSUR (30.000g-precisión 1g)
- Cinta métrica

3.2. MÉTODO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Para alcanzar los objetivos propuestos en este trabajo de investigación, hay que tomar en cuenta que cada tipo de suelo determina, el sistema de construcción, por lo tanto, deben obtenerse datos completos sobre el suelo, tales como granulometría, límite líquido, límite plástico, composición y otras características.

Conociendo las propiedades del suelo podremos dosificar la mezcla para mejorar sus propiedades. Aunque la mayoría de los suelos son susceptibles a ser estabilizados con cemento y aditivos, los mismos deben reunir ciertas características para que económicamente sea posible dicha estabilización.

Las probetas a realizar, suelo-cemento, suelo-cemento-cal y suelo-cemento-aditivo Soil Plast, se ensayan en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales para determinar la resistencia y durabilidad que presentan.

Posteriormente se contrastará el comportamiento de las mezclas consideradas con mezclas de otros materiales utilizados en la construcción y se identifican las ventajas y desventajas de la utilización de los aditivos en las distintas dosificaciones.

3.2.1. SELECCIÓN DEL SITIO

Para realizar las mezclas se requiere seleccionar un suelo apropiado, se debe tomar en cuenta que el suelo debe estar cerca del lugar de trabajo para evitar costos por transporte del material.

El suelo a ser utilizado para elaborar las mezclas se obtiene de las excavaciones que ejecuta la empresa Norberto Odebrech en el sector de Bello Campo para la construcción de la Línea 5 del Metro de Caracas. (Ver foto 1 y 2) debido a que presenta las características necesarias para la aplicación del aditivo Soil Plast.,

Es necesario realizar una inspección visual del suelo encontrado, extrayendo del sitio en estudio las muestras para proceder a analizarlas.



Foto 1: Sector Bello Campo



Foto 2: Extracción de suelo

3.2.2. TOMA DE MUESTRA

“...Las tierras buenas se encuentran al nivel de la superficie de los terrenos blandos y pobres en materias orgánicas”.¹¹

Se debe rechazar la tierra vegetal, rica en materia orgánica debido a que puede influir en los resultados de los ensayo.

3.2.3. PRUEBAS DE CAMPO¹²

Después de la toma de muestras se procederá a realizar en sitio las pruebas de campo necesarias para determinar la factibilidad de uso del suelo como material constructivo.

3.2.3.1. PRUEBAS DE OLOR

Se toma una muestra en estado húmedo para detectar la presencia de materia orgánica.

Generalmente, la muestra despide olor a moho en estado húmedo. El olor se hace más intenso cuando estos suelos se humedecen y se calientan.

3.2.3.2. PRUEBAS DEL TACTO

Para realizar esta prueba se debe tomar una muestra de suelo seco a la que se le han retirado las partículas gruesas de dimensiones superiores a 5mm, se amasa y se pulveriza con la ayuda de los dedos y la palma de la mano.

3.2.3.3. PRUEBA DE LA VISTA

Realizar una inspección visual a los tamaños de las partículas que conforman el suelo.

¹¹ Doat, P. Hays, A, Houben, H. “Construir con Tierra”. Fondo Rotatorio Editorial-FEDEVIVIENDA. Tomo II. Colombia, 1990. (pp. 18).

¹² Doat, P. Hays, A, Houben, H. “Construir con Tierra”. Fondo Rotatorio Editorial-FEDEVIVIENDA. Tomo II. Colombia, 1990. (pp. 18).

Los suelos gruesos se diferencian a simple vista, pero los finos, como las arcillas y limos, no son tan visibles.

Para determinar las proporciones de las partículas del suelo, se procede a hacer una prueba de sedimentación simplificada. Para realizar dicha prueba, se escoge un frasco de vidrio transparente, provisto de una abertura suficientemente amplia.

Este frasco debe ser cilíndrico, tener un fondo plano y una capacidad mínima de medio litro. Se llena de tierra hasta un cuarto de su altura y se completa el resto con agua. Tapando el frasco, se agita vigorosamente, para dejarlo luego en reposo sobre una superficie horizontal. Al cabo de una hora, se agita de nuevo y se deja decantar. Cuarenta y cinco minutos más tarde se observa que el material más grueso (arenas) se ha depositado en el fondo rematada por una capa de limos. Encima se encuentra una capa de arcilla. Ocho horas más tarde se mide la altura de las diferentes capas y la total de los sedimentos.

3.2.3.4. PRUEBA LAVADO DE MANOS

Se toma la muestra de suelo, y se procede a lavarse las manos con la muestra como si se tratara de jabón.

Los suelos arcillosos dan una sensación jabonosa, dificultando el enjuague de las manos. Los suelos limosos son polvorientos y no presentan dificultades en el enjuague. Los suelos arenosos se enjuagan fácilmente.

3.2.3.5. PRUEBA DEL BRILLO

Se toma una bolita de tierra ligeramente húmeda y con la ayuda de una espátula se procede a cortarla.

Si la superficie de corte se presenta brillante la tierra es arcillosa plástica; si la superficie tiene color mate, probablemente es un limo o una arcilla de baja plasticidad. Si la superficie de corte es opaca, el material es arenoso.

3.2.4. ENSAYOS DE LABORATORIOS DE SUELOS

Después de obtener las muestras representativas del suelo, se procede a realizar los ensayos pertinentes en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), con la finalidad de obtener el tipo de suelo a utilizar en las diferentes mezclas. (Ver foto 3)



Foto 3: Laboratorio de Suelos (IMME)

3.2.4.1. ENSAYO GRANULOMÉTRICO

El análisis granulométrico es utilizado para obtener la distribución del tamaño de partículas en una masa de suelo con la finalidad de clasificarlo.

Dicho ensayo se realiza de acuerdo a lo especificado en la Norma COVENIN 255:1998: "*Determinación de la composición granulométrica*".

La muestra a ensayar, debe ser representativa y se obtendrá utilizando el método de cuarteo.

Estará compuesta por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz N° 10 y la otra pasante por ese tamiz. El peso total de la muestra es la suma de los pesos secos de ambas fracciones. (Ver foto 4)



Foto 4: Material para tamizar

El procedimiento para realizar la granulometría consiste en ensamblar tamices por orden de tamaño de abertura, disponiéndolos de mayor a menor abertura de arriba hacia abajo. Se coloca la muestra en el tamiz superior y se agita durante unos 15 minutos a mano o 10 minutos. Luego, se procede a pesar la fracción retenida en cada tamiz. (Ver foto 5)



Foto 5: Tamizado del material

El resultado del análisis se representa gráficamente bajo la forma de una curva granulométrica, incluyendo en la abscisa, el tamaño de los granos y en la ordenada el porcentaje de los tamizados acumulados.

3.2.4.2. LÍMITE LÍQUIDO

El límite líquido es el contenido de humedad correspondiente a un límite convencional entre los estados de consistencia líquida y plástica.¹³

La muestra a ensayar se determina de acuerdo a lo establecido en la Norma COVENIN 1303: *“Método de preparación de muestras para los análisis granulométricos y para la determinación de los límites de consistencia”*.

La muestra se prepara tomando una porción del suelo la cual se coloca en un horno a temperatura no superior de 60°C. Se pasa la muestra por tamiz N°10 y posteriormente por el N°40.

Del material pasante por el tamiz N°40 se toman 200gr y se mezcla con agua hasta obtener una pasta uniforme, suave y espesa.

El límite líquido se determina de acuerdo a lo establecido en la norma COVENIN 1125-77: *“Suelos. Método para la determinación de los límite líquido y plástico”*.

¹³ Norma COVENIN 1125-77: *“Suelos. Método para la determinación de los límite líquido y plástico”*.

Se toma una porción de la muestra preparada y se coloca en la máquina de Casagrande nivelando la superficie con la ayuda de una espátula hasta lograr 1 cm en el punto máximo espesor.

Se abre una ranura en la pasta moviendo el ranurador a lo largo del diámetro de la taza desde el eje del aparato hacia el borde libre de la taza formando un canal.

Se gira la manivela, y se deja caer la taza sobre la base con una frecuencia de 2 veces por segundo hasta que las paredes de la ranura se lleguen a tocar en una longitud de 1cm, medido en el sentido de la ranura.

Se anota el número de golpes y se toma una porción de la pasta en el sitio de unión. (Ver foto 6)



Foto 6: Extracción de la muestra

Se repite el procedimiento dos veces más, variando el contenido de humedad, hasta obtener números de golpes entre los intervalos de 10 a 20, de 20 a 30 y de 30 a 40.

3.2.4.2.1. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Se calcula el contenido de humedad a cada una de las determinaciones y se representa en papel semilogaritmico Contenido de humedad vs. Número de golpes.

Se dibujan los 3 puntos, se traza la recta media entre ellos y se determina como límite líquido, el contenido de humedad leído sobre la vertical correspondiente a los 25 golpes.

Si se hacen solo 2 observaciones (las mismas deben estar entre los intervalos de 15 a 25 y 25 a 40 golpes respectivamente), posteriormente, se procede a determinar el contenido de humedad. Finalmente se halla el límite líquido con la ecuación 1.

$$WI=W(N/25)^{0,12}$$

Ecuación 1: Determinación del límite líquido

Donde:

N: Número de golpes

W: Contenido de humedad

El límite líquido es el promedio de las 2 determinaciones, si la diferencia entre ellas es menor que el 3% del límite líquido.

3.2.4.3. LÍMITE PLÁSTICO

El limite plástico marca el paso del estado plástico al sólido.¹⁴

¹⁴ Doat, P. Hays, A, Houben, H. "Construir con Tierra". Fondo Rotatorio Editorial-FEDEVIVIENDA. Tomo II. Colombia, 1990.

La muestra a ensayar se prepara de acuerdo a lo establecido en la Norma COVENIN 1303: *“Método de preparación de muestras para los análisis granulométricos y para la determinación de los límites de consistencia”*.

El límite plástico se determina de acuerdo a lo establecido en la norma COVENIN 1125-77: *“Suelos. Método para la determinación de los límite líquido y plástico”*.

Se mide al formar una bolita de tierra a la que se le da vueltas con la palma de la mano sobre una superficie lisa, formando hebras de diámetro uniforme en toda su longitud, cuando el diámetro de la hebra alcance los 3mm, se comprime y se repite el amasado continuando el proceso hasta que la hebra se agriete durante el mismo. (Ver foto 7)



Foto 7: Límite plástico

Se reúnen todas las porciones de hebras en un envase hermético, cuando toda la muestra se haya procesado se determina el contenido de humedad. Se repite el procedimiento anterior por lo menos una vez.

3.2.4.3.1. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Se calcula el contenido de humedad y se reporta como límite plástico su valor promedio si la diferencia entre ambos es menor que el 2%. En caso contrario se repite el ensayo.

3.2.4.4. INDICE DERIVADOS

Son aquellos que se calculan a partir de los límites líquidos, plástico y el contenido de humedad natural.

3.2.4.4.1. INDICE DE PLASTICIDAD (IP)

Una vez determinados los límites líquido y plástico se calcula el índice plasticidad como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico con la ecuación 2.

$$IP=LL-LP$$

Ecuación 2: Índice de Plasticidad

La plasticidad del suelo podrá ubicarse en los siguientes rangos en la tabla 2.¹⁵

Tabla 2: Plasticidad del suelo

Plasticidad	Ip
Baja	5 a 10
Media	10 a 20
Alta	≥20

¹⁵ Doat, P. Hays, A, Houben, H. "Construir con Tierra". Fondo Rotatorio Editorial-FEDEVIVIENDA. Tomo II. Colombia, 1990.

3.2.5. COMPACTACIÓN

La compactación es el primer método para mejorar la resistencia de un suelo. El objetivo de esta prueba es determinar el contenido de agua óptimo y la densidad máxima de compactación.

Se realiza la compactación de forma dinámica de acuerdo a la norma ASTM 1557-02: “*Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56000 ft-lbf/ft³ (2700 kN-m/m³))*”.

En nuestro caso, se realiza la compactación por el método B, debido a que más del 20% de la masa del material es retenido en el tamiz N° 4 y el 20% o menos en masa del material es retenido en el tamiz 3/8”.

Se toma una muestra de suelo de 15kg pasante del tamiz N° 3/8, y se divide en 5 porciones iguales de 3kg cada una. (Ver foto 8)



Foto 8: Pesaje de las porciones

Se pesa un molde vacío para compactación de diámetro 4", con la base y sin el collar, y se tara la balanza con este peso.

Posteriormente, se toma una de las porciones de suelo y se mezcla con agua suficiente hasta un valor de 6% de humedad (150ml). (Ver foto 9)

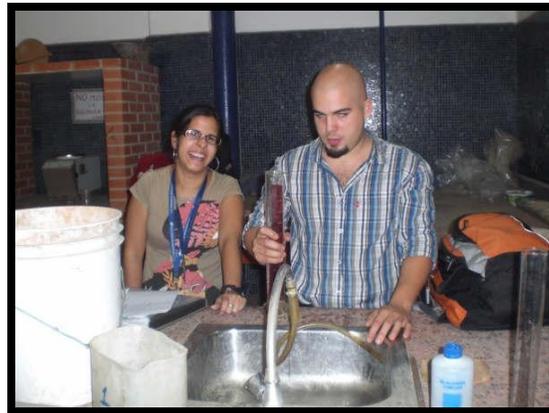


Foto 9: Medición de la cantidad de agua

Se realiza el mismo procedimiento con las porciones restantes de suelos pero con distintos porcentajes de humedad 8%,10%,12% y 14% (200ml, 250ml, 300ml y 350ml respectivamente). (Ver foto 10)



Foto 10: Preparación de la muestra

Se colocan las porciones de suelos en diferentes bolsas plásticas, y se dejan durante 24 horas para que el contenido de humedad de la muestra sea uniforme. (Ver foto 11)



Foto 11: Colocación del suelo en bolsas plásticas

Con las muestras ya preparadas, se procede a llenar el molde en 5 capas, cada una de ellas con igual espesor. (Ver foto 12).



Foto 12: Muestras para ensayo de compactación

Se coloca el molde sobre una superficie rígida y se compacta cada capa con 25 golpes. Finalmente, se retira el collar y se enrasa la superficie para eliminar el

exceso de material; se pesa el conjunto conformado por el molde más el suelo compactado y se determina el peso unitario del suelo.

Con la ayuda de un gato hidráulico se saca la muestra del molde y se toma una porción para determinar la humedad del material. La operación se repite con las otras porciones del suelo, obteniendo así los pesos específicos.

Se realiza la curva de compactación con los contenidos de humedad real y densidad seca. De esta curva se toma la densidad máxima seca y se determina la humedad óptima.

3.2.6. ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS

Una vez caracterizado el suelo se procede a establecer la dosificación de los componentes de la mezcla: suelo, cemento, cal, aditivo y agua. En nuestro caso, A partir de la investigación realizada sobre “DISEÑO DE MEZCLA PARA SU USO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES ALIGERADOS DE SUELO-CEMENTO” (Rodríguez y Simonpietri, 2002) se selecciona el porcentaje de cemento con mejor comportamiento.

En el presente trabajo de investigación se establecen 5 tipos de mezclas, el primer tipo de mezcla contiene el 10% del peso de suelo en cemento, la segunda mezcla contiene el 12% del peso de suelo en cemento, la tercera mezcla contiene el 10% del peso de suelo en cemento y 1% del peso de suelo en cal, la cuarta mezcla también contiene el 10% del peso de suelo en cemento pero el 3% del peso de suelo en cal y la quinta mezcla contiene el 10% del peso de suelo en cemento y el 15% del peso de cemento en aditivo.

Según el fabricante del aditivo, se recomienda que las proporciones del mismo estén entre 5% y 15% del peso del cemento.

En la tabla 3 se puede observar la dosificación de los componentes para las 5 mezclas planteadas.

Tabla 3: Dosificación de los componentes para las distintas mezclas

Mezcla	Cemento (%)	Cal (%)	Agua (%)	Aditivo (%)
1	10	0	9,5 (óptima)	0
2	12	0	9,5 (óptima)	0
3	10	1	11,5	0
4	10	3	11,5	0
5	10	0	9,5 (óptima)	15

3.2.6.1. MEZCLADO DE LOS COMPONENTES

Para iniciar con el mezclado de los componentes, primero se debe medir los materiales que conforman las distintas mezclas en una balanza de acuerdo con la tabla 4.

Tabla 4: Proporciones de los componentes

Mezcla	Suelo (Kg)	Cemento (Kg)	Cal (Kg)	Agua (Lts)	Aditivo (Lts)
1	85	8,5	0	8,075	0
2	85	10,2	0	8,075	0
3	85	8,5	0,85	9,80	0
4	85	8,5	2,55	9,80	0
5	30	3	0	2,85	0,9

3.2.6.1.1. MEZCLA DE SUELO-CEMENTO

El suelo puede poseer un cierto grado de humedad que es necesario disminuir aireándolo, para ello se debe colocar sobre una superficie lisa en capas delgadas durante una semana. (Ver foto 13)



Foto 13: Secado del suelo

El primer material a colocar en la mezcladora es el suelo, seguido del cemento Portland, con las proporciones ya establecidas. (Ver foto 14)



Foto 14: Mezclado de suelo-cemento

Una vez lograda la mezcla íntima de suelo y cemento en seco, se le agrega agua en forma de lluvia hasta alcanzar el contenido óptimo de humedad. (Ver foto 15)



Foto 15: Incorporación de agua

La cantidad de agua necesaria se debe incorporar lentamente hasta conseguir que la humedad se distribuya uniformemente en la mezcla.

La forma de controlar prácticamente la humedad óptima consiste en tomar un puñado de mezcla y apretarlo fuertemente, deberá tomar forma manteniendo ligadas sus partículas sin que se pegue a la mano ni escurra agua.

Posteriormente, se deja caer la muestra desde una altura de aproximadamente un metro, sobre una superficie dura.

El resultado de la observación, puede ser cualquiera de estas posibilidades:

- Si la mezcla no se rompe y, al caer, se aplasta, dejando parte de la mezcla pegada en la mano, hay exceso de agua.

- La mezcla se desintegra, en una cantidad considerable de terrones, semejante a la mezcla original, la humedad es la óptima.
- La mezcla se desmorona sin conservar la forma de la mano, hay insuficiencia de agua.

Es importante que se verifique que la mezcla posea la suficiente cantidad de agua requerida ya que no debe tener excesiva ni escasa cantidad de agua.

Una vez preparada la mezcla, se debe proceder a la fabricación de las probetas en forma inmediata.

3.2.6.1.2. MEZCLA DE SUELO-CEMENTO-CAL

Para realizar las mezclas, se colocan previamente las cantidades a utilizar de cada uno de los componentes (suelo, cemento, cal) en recipientes que permitan agregarlos a la mezcladora rápido y con facilidad. Por medida de seguridad se recomienda utilizar lentes y guantes para manipular la cal. El primer paso consiste en el premezclado del suelo con el cemento, garantizando, que el suelo este seco, ya que, el contenido de humedad podría hacer reaccionar el cemento con el agua del suelo. Posteriormente se agrega la cal y se mezclan en seco. (Ver foto 16)



Foto 16: Mezcla de suelo-cemento-cal

Una vez mezclados estos elementos se incorporan a la mezcla la cantidad de agua calculada, tomando en cuenta el proceso de hidratación de la cal.

Para agregar el agua se debe incorporar en forma de lluvia hasta que la mezcla logre la uniformidad deseada.

Se debe procurar un buen mezclado de los componentes secos, es decir, suelo, cemento y cal, ya que al añadir el agua, el proceso de mezclado y llenado de las probetas debe ser muy rápido para evitar que tanto el cemento como la cal reaccionen con el agua.

3.2.6.1.3. MEZCLA DE SUELO-CEMENTO-ADITIVO SOIL PLAST

Al igual que en las mezclas anteriores, se agrega el suelo previamente secado al sol, y el cemento para un premezclado en seco de estos componentes.

Para agregar el agua y el aditivo a la mezcla, es necesario realizar cálculos previos que nos permitan determinar, la cantidad de agua que se añade al incorporar el aditivo, debido a que este se encuentra en proporción 1:1 disuelto en el recipiente de fabrica, es decir, al agregar el aditivo a la mezcla, por cada litro añadido, serán en realidad 500ml de agua y 500ml de Soil Plast. (Ver foto 17)



Foto 17: Incorporación del aditivo a la mezcla

Por esta razón, esa cantidad de agua agregada junto con el aditivo se deberá considerar a la hora de añadir el agua a la mezcla, colocando solo el restante de la dosificación. De esta manera garantizamos el contenido de agua óptimo para la mezcla.

El fabricante del aditivo recomienda usar guantes y tapaboca en el momento de que se incorpore el aditivo.

3.2.7. ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

Para la elaboración de las probetas, se debe conocer la cantidad, los tamaños y el tipo de molde que debe utilizarse para los ensayos de compresión, flexión, absorción, y erosión.

Las probetas se elaboran en el Laboratorio de Concreto Fresco del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad Central de Venezuela.

3.2.7.1. TAMAÑO DE LAS PROBETAS

3.2.7.1.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN

De acuerdo a la Norma COVENIN 338-2002: *“Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”*, las dimensiones del molde normalizado son de 152.5 ± 5.5 mm de diámetro y 305 ± 6 mm de altura. En la norma se establece lo siguiente *“...se pueden utilizar moldes de otras dimensiones, siempre que el diámetro sea como mínimo tres veces el tamaño nominal del agregado grueso. La relación altura a diámetro se debe mantener 2 a 1 y en ningún caso su diámetro debe ser menor de 50mm.”*

Las probetas a usar para el ensayo de compresión (D=10cm y H=20cm) cumplen con los requerimientos de la norma, ya que el diámetro de la probeta es mayor de 50mm. Además cumple con la relación diámetro/altura.

3.2.7.1.2. ENSAYO DE FLEXIÓN

En la norma COVENIN 340: *“Concreto. Elaboración y curado de probetas en el laboratorio para ensayos a flexión”* se establece lo siguiente *“...las probetas deben tener una longitud mínima igual a tres veces su altura, más 5cm. La relación ancho/altura no debe ser mayor de 1,5. Las dimensiones de la sección transversal no debe ser menor de 3 veces el tamaño máximo de agregado”*.

Las probetas a usar para el ensayo de flexión (10x10x30cm) cumplen con que la relación ancho/altura no sea mayor de 1,5. Sin embargo, no cumple con que la longitud mínima sea igual a tres veces su altura más 5 cm.

3.2.7.1.3. ENSAYO DE ABSORCIÓN

Para el ensayo de absorción, se requiere de probetas cúbicas, la misma con dimensión de 10x10x10 cm. Este tipo y tamaño de probeta fue utilizado por la Profesora Melin Nava en su Tesis de Doctorado.¹⁶ Este tamaño está dentro de los parámetros que contempla la norma, que establece que el tamaño sea por lo menos, mayor o igual a tres veces el tamaño máximo del grano utilizado.

3.2.7.1.4. ENSAYO DE EROSIÓN

Para el ensayo de erosión por rociado y cepillo se utilizan probetas de bloque macizo de dimensiones 10x10x30cm. Hay que tomar en cuenta que los ensayos de erosión no se encuentran normados, y por ende se seleccionó este tipo y tamaño de probeta.

3.2.7.2. ESPECIFICACIONES DE LAS PROBETAS

En la tabla 5 se muestra la cantidad y el tipo de probeta que se utilizan para los ensayos de compresión, flexión, absorción y erosión.

¹⁶ Nava, Melin. "La arquitectura de tierra, su consolidación a través de la utilización de productos hidrofugantes: experimentación sobre el centro histórico de Alcalá de Henares". Tesis de Doctorado. Departamento de construcción y Tecnología Arquitectónicas- Escuela Superior de Arquitectura- Universidad Politécnica de Madrid. Madrid/1995.

Tabla 5: Cantidad y tipo de probetas a ensayar para las distintas mezclas

Mezcla	Ensayo	Bloque macizo	Cúbica	Cilíndrica
Suelo-cemento (10%)	Compresión			3
	Flexión	3		
	Absorción		3	
	Erosión con rociado	3		
	Erosión con cepillo	3		
Suelo-cemento (12%)	Compresión			3
	Flexión	3		
	Absorción		3	
	Erosión con rociado	3		
	Erosión con cepillo	3		
Suelo-cemento-Cal 1%	Compresión			
	Flexión	3		3
	Absorción		3	
	Erosión con rociado	3		
	Erosión con cepillo	3		
Suelo-cemento-Cal 3%	Compresión			3
	Flexión	3		
	Absorción		3	
	Erosión con rociado	3		
	Erosión con cepillo	3		
Suelo-cemento-Aditivo	Compresión			3
	Flexión	3		

3.2.7.3. ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

3.2.7.3.1. PROBETAS DE BLOQUE MACIZO

Se requiere de un molde articulado o fijo, generalmente de madera o de metal.

Para la fabricación de este tipo de probetas se debe primero engrasar la superficie interna del molde para evitar que cuando se esté sacando la muestra, el material se pegue al molde. (Ver foto 18 y foto 19)



Foto 18: Aceite para engrasar el molde



Foto 19: Colocación de aceite en el molde

Se coloca sobre una superficie plana y no absorbente, y se introduce la mezcla suelta, en tres capas, las cuales se apisonan cada capa hasta lograr la compactación máxima.

Se realiza la compactación con un pisón de madera y se efectuará 25 golpes en toda el área. Posteriormente, se enrasa la superficie hasta que la misma quede completamente lisa.

Para dar continuidad a los ensayos, las probetas se retiran de los moldes en el mínimo tiempo permitido, 24 horas, para proceder así, con la elaboración de las probetas de las siguientes mezclas, y con el curado de las probetas ya elaboradas y desencofradas. (Ver foto 20)



Foto 20: Probetas de suelo-cemento

3.2.7.3.2. PROBETAS CÚBICAS

Se requiere de un molde rígido articulado o fijo, generalmente de madera o de metal.

Para elaborar las probetas cúbicas se emplea el procedimiento anterior usado para fabricar las probetas de bloque macizo. (Ver foto 21)

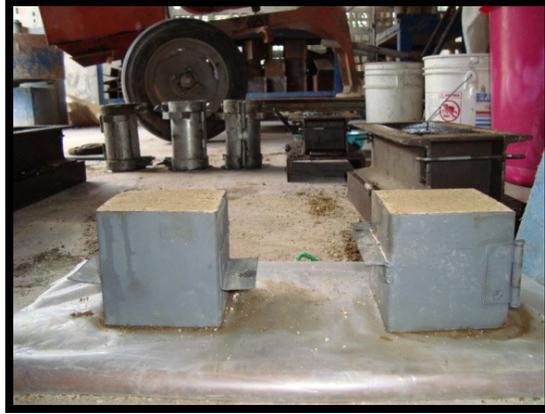


Foto 21: Probetas cúbicas de suelo-cemento-cal 1%

3.2.7.3.3. PROBETAS CILÍNDRICAS

Se requiere de un molde con dimensiones específicas, con la superficie interior lisa, no absorbente y debe tener una abertura longitudinal recta para facilitar el proceso de desmolde. (Ver foto 22)



Foto 22: Formaletas cilíndricas

El molde debe estar limpio y su superficie interna como su base debe ser aceitada para evitar que el material se pegue al molde.

Se introduce la mezcla suelta, en tres capas, y se apisonan cada capa con 25 golpes en toda la sección transversal del molde empleando una barra metálica, la capa del fondo debe compactarse en toda su profundidad sin tocar la base del molde, cuando se compacta la capa inmediata superior, la barra debe penetrar aproximadamente de 20 a 30mm en la capa inmediatamente inferior.

Finalmente, se enrasa la superficie con ayuda de la barra metálica, de manera que la superficie quede perfectamente lisa.

Es recomendable que las probetas se elaboren en el lugar donde se almacenaran durante las primeras 20 horas.

Al igual que en los casos anteriores, las probetas deben retirarse de los moldes en un lapso de tiempo de 24 horas mínimo, para proceder con la elaboración de las siguientes probetas. (Ver foto 23)



Foto 23: Cilindros después de las primeras 24 hs

3.2.7.4. CURADO DE LAS PROBETAS

Después de 24 horas de la elaboración de las probetas, se debe controlar la pérdida de humedad para que no se origine una pérdida total de la misma, ya que puede afectar la resistencia del material y por ende los resultados de los ensayos. (Ver foto 24)



Foto 24: Curado de las probetas

Las probetas se someten regularmente a riego durante un período de 7 días para asegurar el fraguado eficiente de las mismas.

Las probetas son almacenadas hasta el momento de los ensayos en el depósito de agregados (IMME) para evitar la exposición de a la humedad y al sol. (Ver foto 25)



Foto 25: Probetas colocadas bajo techo

Para el caso particular de la mezcla de suelo-cemento-aditivo Soil Plast, el proceso de curado difiere de lo explicado.

Por condiciones de fabricación del aditivo, es necesario que el material seque por completo para optimizar su funcionamiento y evitar que se diluya con el agua.

Por esta razón, las probetas, inmediatamente al ser extraídas de los moldes, se secan al horno y posteriormente se curan, siguiendo a partir de este punto, el procedimiento convencional de curado por riego, cada 24 hrs.

3.2.8. ENSAYO A LAS PROBETAS

Después que las probetas han sido curadas, se procede a secarlas hasta alcanzar la condición de peso constante en el horno a una temperatura de $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante un período de 24 horas. (Ver foto 26)



Foto 26: Probetas en el horno

Las probetas a ensayar a compresión y flexión al sacarse del horno se deben dejar enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Se pesan y se miden las dimensiones de las mismas, para luego ser ensayadas en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales con el fin de determinar su resistencia. Se requiere la Norma COVENIN para efectuar los ensayos de Compresión y Flexión. (Ver foto 27)

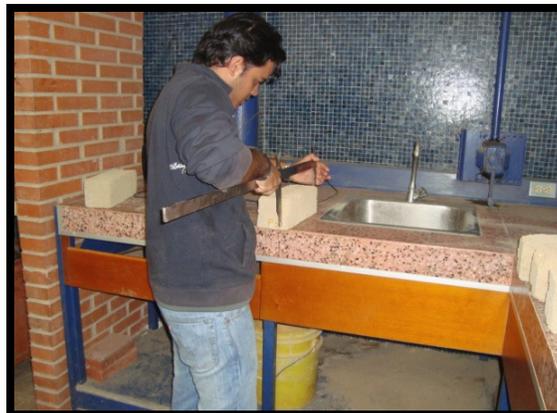


Foto 27: Medición de las probetas

Las probetas requeridas para los ensayos de erosión y absorción se pesan después que son sacadas del horno. No existe normas para los ensayos de erosión, los procedimientos empleados estuvieron basados en experiencias llevadas a cabo con anterioridad.

Antes de comenzar los ensayos es necesario identificar cada probeta para diferenciar los ensayos que se emplearan y los distintos tipos de mezclas. (Ver foto 28)



Foto 28: Identificación de las probetas cilíndricas

3.2.8.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN

Se ensayan a compresión 15 cilindros con el propósito de determinar la resistencia que presentan las probetas.

A los cilindros, se les coloca una capa de yeso dental (Caping) en la parte superior e inferior del mismo para asegurar que los esfuerzos aplicados se distribuyan uniformemente. (Ver foto 29 y foto 30)



Foto 29: Preparación del caping



Foto 30: Colocación del caping

Se ensayan cilindros de 20cm de altura y 10cm de diámetro. El procedimiento a utilizar se realiza según lo especificado en la norma COVENIN 338-2002: *“Concreto. Método para la elaboración, curado, y ensayo a compresión de cilindros de concreto”*.

Los cilindros se colocan en la máquina de compresión, centrados cuidadosamente y se comprimen. (Ver foto 31)



Foto 31: Preparación del cilindro en la máquina de compresión

Las superficies rematadas de los cilindros y los platos de las máquinas deben estar libres de grasa, polvo u otro material extraño. Las probetas cilíndricas se someterán a cargas hasta su rotura, de forma que la sollicitación aumente uniformemente, se debe tomar en cuenta que la carga de compresión se aplique perpendicular a las superficies del asiento. (Ver foto 32 y foto 33)



Foto 32: Ensayo de compresión



Foto 33: Falla de la probeta de suelo-cemento 10%

3.2.8.1.1. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

La resistencia a la compresión de cada cilindro se determina como el cociente entre la carga máxima y el área de la sección media del cilindro, como lo indica la ecuación 3.

$$R_c = P_{\max}/A_i$$

Ecuación 3: Resistencia a la compresión

Donde:

R_c = Resistencia a compresión kgf/cm²

P = Carga máxima aplicada, kgf

A = Área de la sección transversal del cilindro, cm²

El promedio de las resistencias de los cilindros se determina como lo indica la ecuación 4.

$$R_i = \Sigma R_{ci}/3$$

Ecuación 4: Promedio de la resistencia a la compresión

3.2.8.2. ENSAYO DE FLEXIÓN

Se ensayan a flexión 15 probetas de 10x10x30cm para determinar la resistencia que presentan.

El procedimiento a emplear se realiza según lo especificado en la norma COVENIN 343-79: "*Método de ensayo para determinar la resistencia a tracción por flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga en el centro del tramo*".

Se voltea la probeta de bloque macizo sobre uno de sus lados, con respecto a la posición inicial de vaciado y se centra con respecto a los 2 apoyos. (Ver foto 34)



Foto 34: Verificación de la distancia entre apoyos

La aplicación de la carga se realiza en el centro de la luz libre, se aplica la carga a velocidad uniforme hasta que se produzca la falla. (Ver foto 35 y foto 36)



Foto 35: Probeta a ensayar a flexión



Foto 36: Falla de la probeta

Se mide la probeta en la sección de la falla, y se determina la altura y el ancho promedio de la probeta.

3.2.8.2.1. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

El módulo de rotura se determina de acuerdo con la ecuación 5:

$$M_r = (3PL)/2bh^2$$

Ecuación 5: Módulo de rotura

Donde:

Mr: Módulo de rotura (Kg/cm²)

P: Carga máxima aplicada, indicada en la máquina de ensayos (Kg)

L: Luz (cm)

b: Ancho promedio de la probeta (cm)

h: Altura promedio de la probeta (cm)

3.2.8.3. ENSAYO DE ABSORCIÓN

Se ensayan 12 probetas cúbicas de dimensiones 10x10x10cm. La finalidad de este ensayo es determinar la capacidad que tienen las probetas para absorber agua durante 24 horas de inmersión.

El procedimiento de ensayo consiste en secar las probetas al horno, luego se dejan enfriar hasta obtener la temperatura ambiente y se pesan. (Ver foto 37)



Foto 37: Peso de la probeta seca

Las probetas cúbicas secas, se sumergen durante 24 horas en la cámara húmeda, el agua de la cámara puede ser limpia, destilada o de lluvia, y debe estar a una temperatura de 15,5°C a 30°C. Posteriormente se sacan las probetas del agua, se secan con un paño húmedo y se pesan de inmediato o antes de los cinco minutos de haber retirado las probetas del agua.

3.2.8.3.1. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

De acuerdo con la ecuación 6, se determina la absorción de agua de las probetas para cada muestra.

$$\mathbf{A_{bi} = (P2 - P1) / P1 \times 100}$$

Ecuación 6: Absorción

Donde:

P1: peso seco de la muestra

P2: peso de la muestra después de 24 horas sumergida

El coeficiente de absorción se determina como el promedio de la absorción de las 3 probetas correspondiente a cada mezcla, de acuerdo con la ecuación 7.

$$\mathbf{A_i = \Sigma A_{bi} / 3}$$

Ecuación 7: Promedio de absorción

Donde:

A_{bi}: promedio de la absorción de las 3 probetas.

3.2.8.4. EROSIÓN CON CEPILLO

Se ensayan 12 probetas de bloque macizo de dimensiones 30x10x10cm. Mediante este ensayo se determinará las pérdidas de material.

El procedimiento consiste en colocar las probetas en la cámara húmeda en un tiempo de 24 horas. Se debe preservar que cada probeta esté completamente sumergida y que se encuentre en posición vertical. (Ver foto 38)



Foto 38: Probetas sumergidas en agua (Ensayo erosión y absorción)

Se coloca una probeta en la ponchera y se cepilla con movimientos muy suaves, 90 veces hacia arriba y 90 veces hacia abajo.

El cepillado se realiza por la dimensión mayor de la probeta. Este procedimiento se hará para el resto de las probetas.

Se recomienda no llegar hasta las orillas para evitar romperlas. Cuando se termina el procedimiento de cepillado, se retira la probeta del agua y se deja reposar el agua.

Después que ha transcurrido 10 minutos, se bota el agua del recipiente hasta que quede en el fondo del mismo, el sedimento desprendido de la probeta. Se lava y se deja reposar por otros diez minutos, luego se saca nuevamente el agua, y el sedimento que queda se seca y se pesa.

3.2.8.5. EROSIÓN CON ROCIADO

Se ensayan 12 probetas de bloque macizo de dimensiones 30x10x10cm. Mediante este ensayo se podrá determinar la resistencia que ofrecen las probetas a la acción del agua, pretendiendo simular la acción combinada de la lluvia y el viento.

El procedimiento consiste en aplicar con una manguera, agua a presión constante por un lapso de 2 horas las probetas.

Finalmente, se procede a medir la profundidad de los huecos y la pérdida de peso formados por el agua.

3.3. CONTRASTE EL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS CONSIDERADAS

Basados en los resultados del estudio experimental, se procede al análisis del mismo mediante la interpretación de tablas y gráficos realizados en el programa Microsoft Excel.

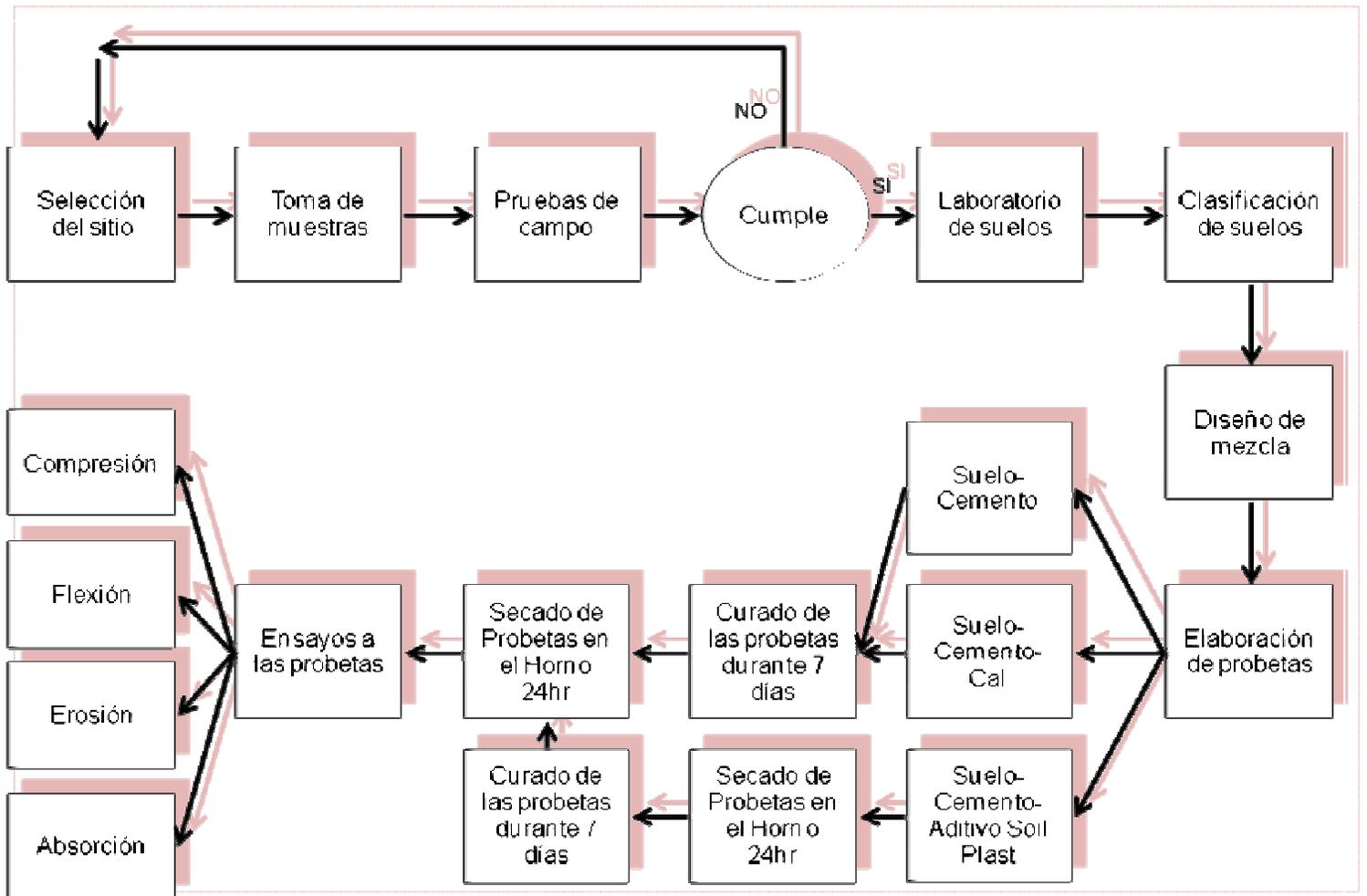
Se deben realizar comparaciones sobre el comportamiento de las mezclas en estudio con mezclas de otros materiales utilizados en la construcción, como el adobe, el concreto, suelo-cemento, lodo cemento, ripio-cemento, PET-cemento y residuos pétreos, los cuales se presentan en paralelo con los resultados obtenidos en cada ensayo elaborado.

3.4. IDENTIFICAR LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS ADITIVOS

Basados en los resultados del estudio experimental, y al comparar el comportamiento de las mezclas entre sí, y con otros materiales, se podrán conocer las ventajas y desventajas de cada mezcla según las distintas dosificaciones

Es importante destacar, que para analizar las ventajas y desventajas de los materiales, no sólo se deben considerar su comportamiento mecánico, sino considerar otros factores físicos, sociales, económicos y de mercado que rodean el entorno de la obra a realizar.

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA ELABORAR MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO Y ADITIVO



CAPITULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Luego de obtener los resultados de los distintos ensayos, se realizaron diversos cálculos a fin de obtener la resistencia y durabilidad de las mezclas, y determinar así, si dichas mezclas entran en rangos competitivos con otros materiales de la construcción.

Se procede la interpretación de estos con la ayuda de tablas y gráficos que faciliten el análisis individual o comparativo según sea el caso.

4.1. ENSAYOS DE CAMPO

4.1.1. PRUEBA DE OLOR

Suelo de carácter netamente inorgánico, pues en estado seco no presentó ningún olor.

4.1.2. PRUEBA DEL TACTO:

Al tomar una pequeña cantidad de suelo entre los dedos produce una sensación granular y áspera. Al humedecer y tratar de romper la muestra entre los dedos, presenta alta resistencia y la muestra se pega a los dedos, por lo que se puede pensar de manera preliminar que el suelo contiene arena con finos.

4.1.3. PRUEBA DE LA VISTA

4.1.3.1. COLOR

El suelo presenta un color marrón claro, lo que lo ubica dentro del rango teórico de tierra adecuada para el uso en suelo-cemento, y su tono claro ratifica la presencia de un suelo inorgánico.

4.1.3.2. TAMAÑO

A pesar de observar la presencia de material grueso en el suelo, predomina en más del 70% material arenoso.

4.1.3.3. PRUEBA DEL LAVADO DE MANOS

Al lavarse las manos después de manipular el suelo, cierta cantidad de la muestra presentó dificultad para ser removida, indicando contenido de finos.

4.1.3.4. PRUEBA DEL BRILLO

El suelo es claro pero no tiene brillo, lo que nos indica que tenemos un material arenoso.

4.2. ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELO

4.2.1. GRANULOMETRIA.

Los resultados arrojados por el ensayo para obtener la granulometría se observan en la tabla 6.

Tabla 6: Resultados del ensayo de granulometría

Tamiz	Tamaño tamiz	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje pasante
3/4"	19.100	63.0	8.4	8.4	91.6
3/8"	9.500	58.3	7.7	16.1	83.9
Nº4	4.760	62.8	8.3	24.4	75.6
Nº 10	2.000	121.1	16.1	40.5	59.5
Nº 20	0.840	84.4	11.2	51.7	48.3
Nº 40	0.420	75.2	10.0	61.7	38.3
Nº 60	0.300	40.9	5.4	67.1	32.9
Nº 100	0.149	60.0	8.0	75.1	24.9
Nº 200	0.074	36.0	4.8	79.9	20.1
Pasante Nº 200		151.7			

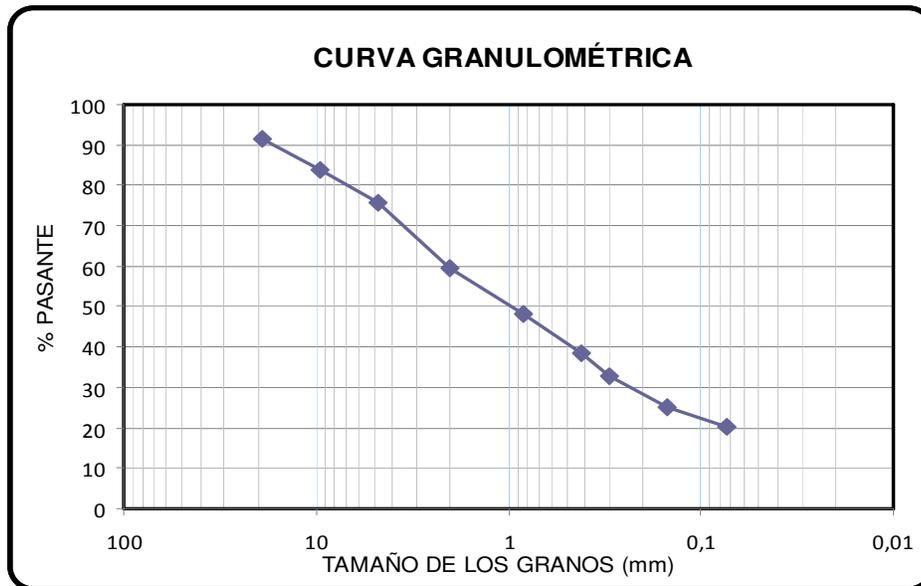


Gráfico 1: Curva granulométrica

De la tabla 6 se puede observar lo siguiente:

- Buena gradación en el tamaño de las partículas del suelo.
- El suelo presenta un 79,9% de contenido de arena y un 20,1% de finos.

El suelo se considera adecuado ya que se encuentra dentro de los límites especificados, que contemplan un contenido mínimo de 45% de arena y 55% de limo y arcilla, y un contenido máximo de 80% de arena con 20% de limo y arcilla.¹⁷

4.2.2 LÍMITES DE ATTERBERG

4.2.2.1 LIMITE LÍQUIDO (WI)

¹⁷ Enteiche, A. (1963). "Suelo-Cemento. Su aplicación en la edificación." Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento. Primera Edición. Bogotá. (pp.9)

Los resultados obtenidos en el ensayo de límite líquido se encuentran expresados en la tabla 7.

Tabla 7: Resultados del ensayo de límite líquido

Tara	Nº Golpes	Wh + Tara (gr)	Wd + Tara (gr)	W tara (gr)	Wh (gr)	Ws (gr)	Ww (gr)	%W
1	16	24.83	21.6	10.2	14.63	11.4	3.23	28.33
2	23	28.36	27.3	22.61	5.75	4.69	1.06	22.6
3	28	25.67	24.6	18.26	7.41	6.34	1.07	16.88

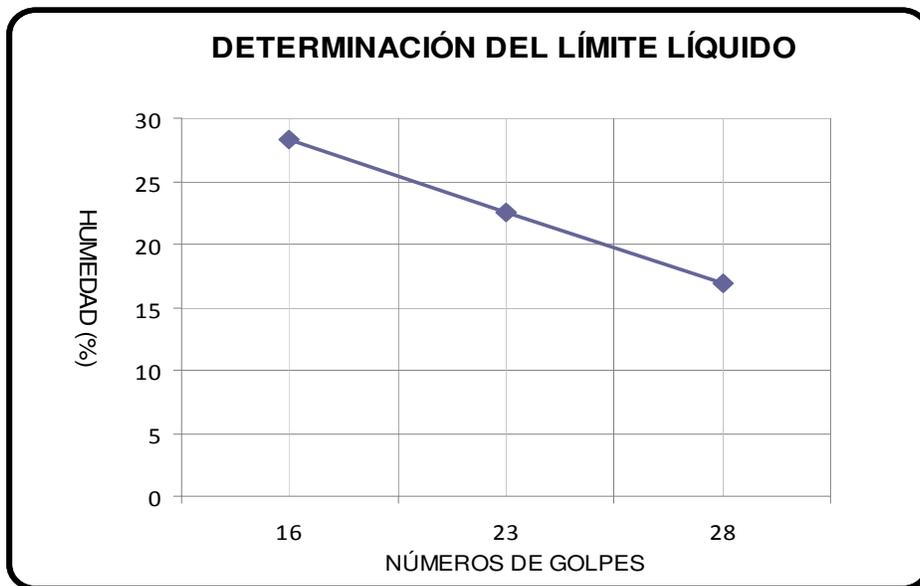


Gráfico 2: Determinación del límite líquido

El límite líquido se obtiene de interpolar a 25 golpes el gráfico 2 (21%), límite que representa la frontera entre los estados líquido y plástico

4.2.2.2. LÍMITE PLÁSTICO (W_p).

A pesar de intentar el ensayo como lo indica la norma para suelos arenosos, las muestras tomadas se rompen antes de lograr formar los cilindros, por lo tanto, se dice que el límite plástico no puede ser determinado.

$$LP = NP$$

- El límite plástico, no se pudo determinar debido a que al tratar de formar los cilindros la muestra se resquebrajaba, evitando que se alcanzará el límite plástico.
- Como el límite plástico no pudo ser determinado, se dice que el suelo es no plástico (NP) y por lo tanto, no presenta plasticidad.

4.2.2.3. ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I_p)

Con los resultados obtenidos de los ensayos límite líquido ($LL=21\%$) y plástico (NP) se procede a determinar el Índice de Plasticidad con la ecuación 2.

- Aquellos suelos que no poseen límite plástico se dice que no tiene plasticidad.

$$I_p = NP$$

- El índice de plasticidad es función de la cantidad de arcilla presente en el suelo, mientras que los límites líquidos y plásticos, individualmente, son funciones de la cantidad y tipo de arcilla.

4.2.3. COMPACTACIÓN

Tras la realización del ensayo de compactación se obtuvieron los siguientes resultados, los mismos están expresados en la tabla 8.

Tabla 8: Resultados del ensayo de compactación

CONTENIDO DE HUMEDAD REAL								
Contenido de humedad teorico (%)	Tara N°	Peso de la tara (g)	Peso de la muestra humeda+tara(g)	Peso de la muestra seca+tara (g)	Peso muestra humeda (g)	Peso muestra seca (g)	Peso del agua (g)	Contenido de humedad real (%)
6	5	75	572	535	497	460	37	8.0435
8	4	71	930	866	859	795	64	8.3403
10	Melly	87	915	840	828	753	75	9.9602
12	202	77	881	794	804	717	87	12.1339
14	201	72	834	745	762	673	89	13.2244

DENSIDAD								
Contenido de humedad teorico (%)	Peso de la muestra humeda + molde	Peso del molde (g)	Peso de la muestra humeda(g)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen muestra (cm3)	Densidad Humeda (gr/cm3)	Densidad seca (gr/cm3)
6	3920	1792	2128	11.65	10.45	1008.78	2.11	1.9524
8	3967	1792	2175	11.65	10.45	1008.78	2.16	1.9901
10	4000	1792	2208	11.65	10.45	1008.78	2.19	1.9905
12	3950	1792	2158	11.65	10.45	1008.78	2.14	1.9077
14	3934	1792	2142	11.65	10.45	1008.78	2.12	1.8754

Tabla 9: Valores para realizar la curva de compactación

Contenido de humedad real (%)	Densidad seca (Kg/m3)
8.04	1952.44
8.34	1990.09
9.96	1990.53
12.13	1907.74
13.22	1875.36

Con los valores de contenido de humedad real (%) y densidad seca (Kg/m^3) expresados en la tabla 9, se dibuja la curva de compactación del material. Dicha curva presenta un determinado punto para el cual la densidad es máxima y la humedad correspondiente es la óptima.

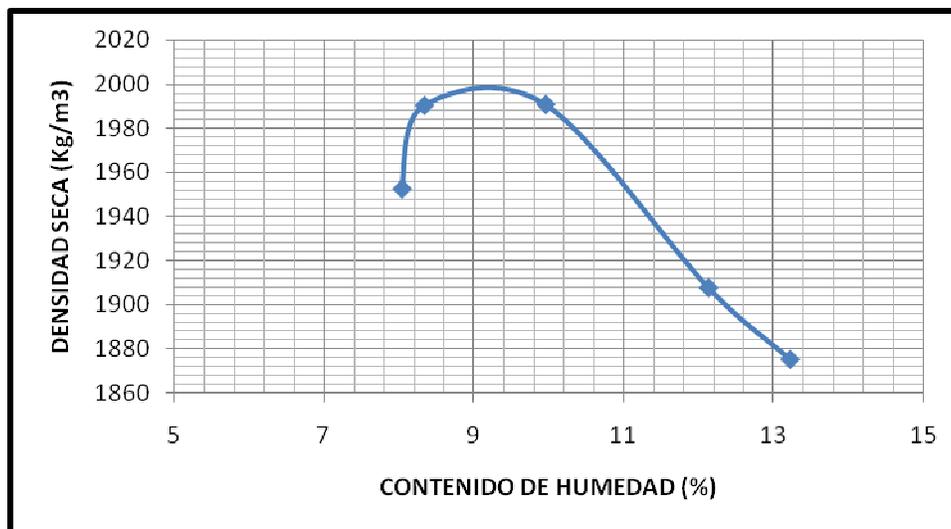


Gráfico 3: Curva de compactación

Los resultados que se obtienen del gráfico 3 son los siguientes:

- Porcentaje de humedad óptimo es 9,5.
- Densidad seca máxima es 1998 Kg/m^3
- “... Si la masa seca obtenida en el Contenido de Agua Óptimo esta contenido entre 1650 y 1760 Kg/m^3 , es regular el resultado, entre 1760 y 2100 Kg/m^3 el resultado es muy bueno. Entre 2100 y 2200 Kg/m^3 es excelente. Entre 2200 y 2400 Kg/m^3 el resultado es excepcional...”¹⁸. En base a esto se observa

¹⁸ DOTA, P., Hays y otros “Construir con Tierra”. Fondo Rotatorio Editorial FEDEVIVIENDA. Tomo I y II. Colombia / 1990.

que el suelo utilizado es muy bueno ya que su densidad máxima seca es de 1998 Kg/m³.

- Haciendo referencia al libro “Construir con Tierra”, se encuentra una tabla que nos presenta el contenido de agua óptimo y en base a ello, los posibles estabilizantes del suelo. El porcentaje de humedad óptima obtenida es de 9,5, en la tabla 9, dicho valor se encuentra entre el rango de 9 a 17 de C.A.O. %, por ende, se puede decir que estamos frente a un suelo excelente en cuanto al contenido de humedad, de fácil estabilización y que requiere como estabilizante convencional el cemento y la cal.

Tabla 10: Estabilización del suelo según el contenido de agua óptimo¹⁹

C.A.O. %	Observación	Posibilidad de estabilización	Estabilizante	
7 a 9	Bien		Cemento	
9 a 17	Excelente	Fácil		
17 a 22	Aceptable	Difícil		Cal
22 a 25	Eventualmente aceptable			

¹⁹ DOTA, P., Hays y otros “Construir con Tierra”. Fondo Rotatorio Editorial FEDEVIVIENDA. Tomo I y II. Colombia / 1990.

4.3. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Tras obtener los resultados de los ensayos del Laboratorio de Suelo, se procede a realizar la clasificación del mismo, utilizando para ello el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (ASTM) y la clasificación de suelo según la Highwat Research Board (HRB).

Según el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos:

- El suelo resultó ser de grano “Grano Grueso” debido a que más de la mitad del material quedó retenido sobre el tamiz N° 200.
- Es una “Arena” debido a que más de la mitad de la fracción gruesa pasó por el tamiz N° 4, tamiz que diferencia las gravas de las arenas.
- Es una arena con contenido de finos, ya que más del 12% de material pasa por el tamiz N° 200, a partir del cual se diferencian los finos de las arenas.
- Es una “Arena-limosa” (SM), debido a que el punto definido por los valores de Límite Líquido e Índice de Plasticidad se encuentra por debajo de la línea A del la curva de plasticidad.

Por otro lado, según la clasificación HRB (Highwat Research Board):

- El suelo en estudio pertenece al grupo A-2-4 ‘Gravas y arenas limosas y arcillosas.

4.4. ENSAYOS A LAS PROBETAS

4.4.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN

En la tabla 11 se expresan los resultados del ensayo de compresión realizado a las probetas.

Tabla 11: Resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días (Kg/cm²)

Muestra	Ø (cm)	h (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso (Kg)	Densidad (Kg/m ³)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Falla Tipo ²⁰
Suelo-Cemento 10%									
1	10,10	20,10	79,70	1601,36	2,77	1729,15	2510	31,49	2
2	10,10	20,10	79,54	1596,06	2,86	1790,66	2720	34,20	2
3	10,10	20,10	79,59	1600,83	2,68	1673,50	2540	31,91	8
Promedio	10,10	20,10	79,61	1599,42	2,77	1731,10	2590	32,54	-
Suelo-Cemento 12%									
1	10,07	20,09	79,70	1601,36	2,75	1717,91	2953	37,05	2
2	10,06	20,07	79,54	1596,06	2,83	1774,37	3140	39,48	2
3	10,07	20,11	79,59	1600,83	2,62	1636,02	2686	33,75	8
Promedio	10,07	20,09	79,61	1599,42	2,73	1709,43	2926	36,76	-
Suelo-Cemento-Cal 1%									
1	10,05	20,11	79,38	1596,07	2,75	1724,86	2758	34,74	2
2	9,94	20,04	77,55	1553,81	2,87	1847,72	2840	36,62	2
3	9,97	20,09	78,02	1567,63	2,82	1799,54	2390	30,63	1
Promedio	9,99	20,08	78,32	1572,50	2,82	1790,71	2662	34,00	-
Suelo-Cemento-Cal 3%									
1	10,00	20,07	78,59	1577,09	2,82	1785,57	3890	49,50	8
2	9,93	19,96	77,50	1547,08	2,81	1814,38	3570	46,07	2
3	9,96	20,23	77,86	1574,86	2,87	1824,92	3910	50,22	2
Promedio	9,96	20,09	77,98	1566,35	2,83	1808,29	3790	48,59	-
Suelo-Cemento-Aditivo 15%									
1	9,91	20,03	77,10	1545,22	2,64	1709,78	3996	51,81	3
2	9,96	20,12	77,90	1567,35	2,52	1608,45	3657	46,94	8
3	10,00	20,05	78,90	1582,08	2,59	1638,98	4089	51,82	3
Promedio	9,96	20,07	78,00	1564,89	2,59	1652,4	3914	50,19	-

²⁰ Formas de falla características. Ensayo a Compresión. Cilindros de concreto. Material suministrado por el Prof. Cesar Peñuela. A-1

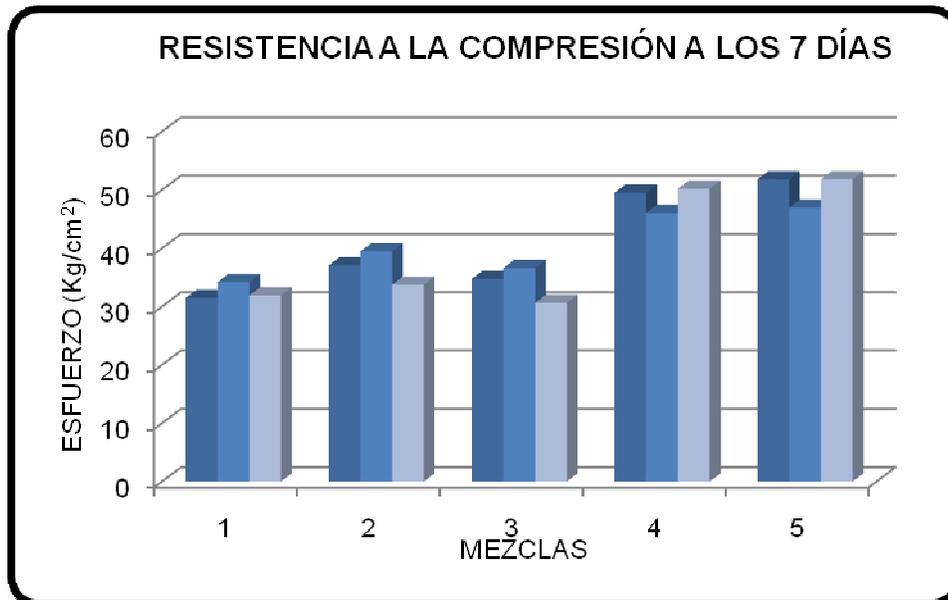


Gráfico 4: Resistencia a la compresión a los 7 días

En la tabla 12 se expresan los valores resistencia promedio de las probetas elaboradas.

Tabla 12: Esfuerzo promedio (Kg/cm2)

Mezcla	Esfuerzo promedio (Kg/cm2)
1	32,54
2	36,76
3	34,00
4	48,59
5	50,19

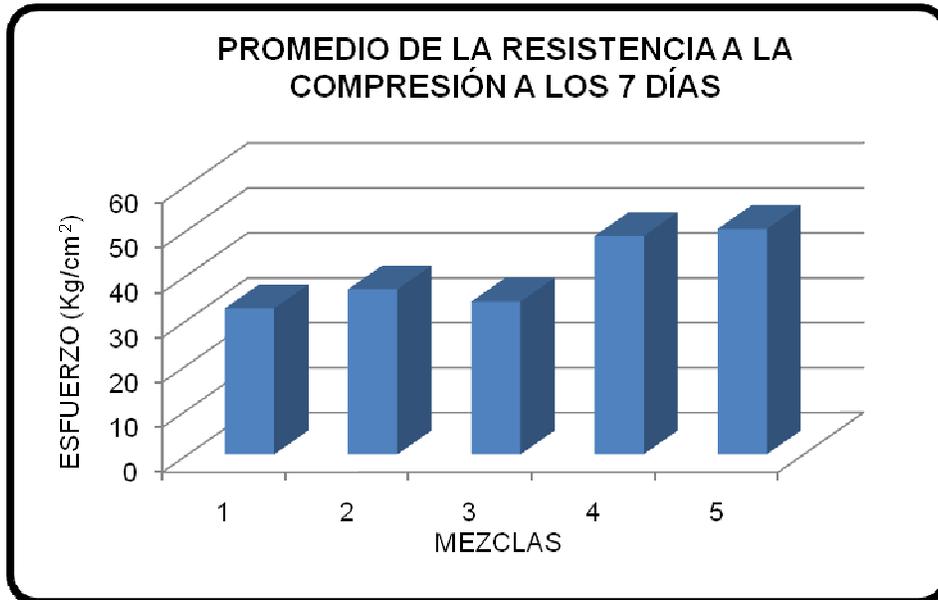


Gráfico 5: Promedio de la resistencia a la compresión a los 7 días

En la tabla 13 se expresan los valores de resistencia promedios de las probetas elaboradas y de otros materiales de la construcción.

Tabla 13: Resistencia a la compresión a los 7 días de diferentes materiales

Tamaño	Materiales	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)	Corrección por esbeltez
20X10	Mezcla 1	32,54	32,54
	Mezcla 2	36,76	36,76
	Mezcla 3	34	34
	Mezcla 4	48,59	48,59
	Mezcla 5	50,19	50,19
30X15	Residuos pétreos	242	234,74
10x5	Suelo-cemento	23,5	24,21
20x15	LC	2,46	2,26
20x15	LCA2	2,62	2,41
20x15	LCP	1,9	1,75
20x15	LCS	2,72	2,5
10x5	Pet-cemento	60,71	62,53
30X15	Ripio-cemento	4,15	4,03
20X10	Concreto CA	192,14	192,14
30X15	Concreto TE	330	320,1

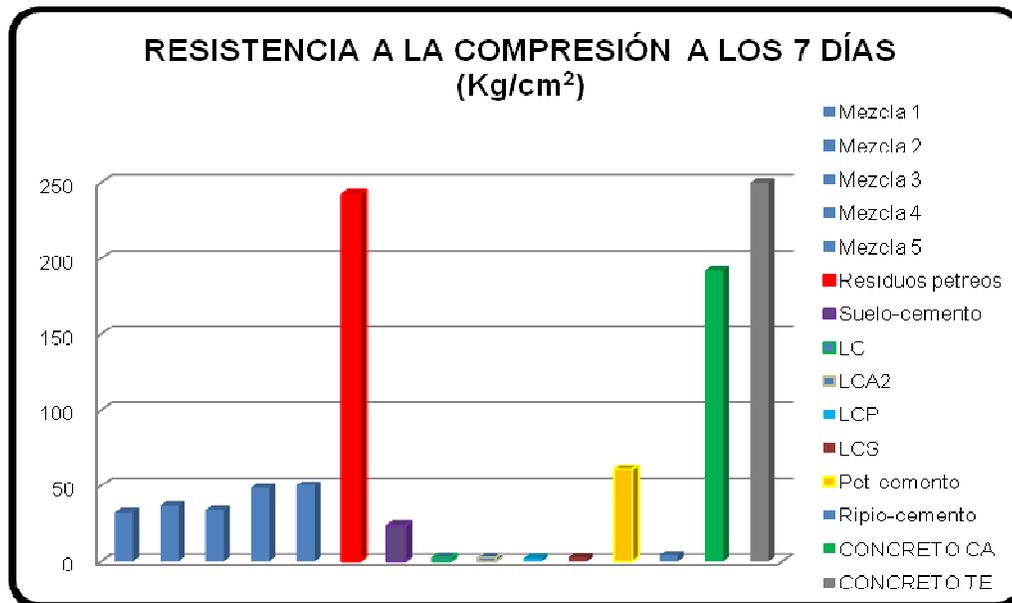


Gráfico 6: Resistencia a la compresión a los 7 días de diferentes materiales

- En el gráfico 5, se puede observar que las probetas elaboradas con la mezcla 5 son las que obtienen los mejores resultados a compresión, seguidas de las probetas elaboradas con la mezcla 4, posteriormente, las probetas elaboradas con la mezcla 2, la mezcla 3, y por último, las probetas elaboradas con la mezcla 1.
- Las probetas elaboradas con la mezcla 5 aumenta en un 35% la resistencia a compresión en comparación con las probetas elaboradas con la mezcla 1. Por su parte, las probetas elaboradas con la mezcla 4 aumenta en un 32% la resistencia a compresión en comparación con las probetas elaboradas con la mezcla 1. Por su parte, las probetas de la mezcla 4 aumentan en un 30% la resistencia a la compresión en comparación con las probetas elaboradas con la mezcla 3.
- El comportamiento promedio a la compresión varía notablemente en las probetas elaboradas solo con cemento (mezcla 1 y 2), las mismas presentan una resistencia de 32,54 kg/cm² y 36,76 kg/cm² respectivamente. Se puede decir que al aumentar la cantidad de cemento, aumenta la resistencia a la compresión.
- En el gráfico 5, se puede verificar que las probetas elaboradas con la mezcla 4 (48,59kg/cm²) presentan mejores resultados que las probetas elaboradas con la mezcla 3 (34,00 kg/cm²). Se puede decir, que al aumentar la cantidad de cal aumenta notablemente la resistencia a la compresión.
- Al comparar el comportamiento entre las mezcla con cemento (1 y 2) y las mezclas con aditivos (3,4,5) observamos que los valores de compresión aumentan con la adición de cal, en función del porcentaje añadido, así como también,

aumenta con la adición del aditivo químico Soil Plast, debido a que estos mejoran las propiedades del material, tal y como se esperaba.

- Comparando los valores de resistencia a la compresión obtenidos con cilindros elaborados con otro tipo de materiales, se observa que la mezclas que presentan mayores resistencia son las de concreto y residuos pétreos seguidos de las mezclas de pete-cemento. Las mezclas de suelo-cemento-aditivo (mezclas que presentó mejor valor de resistencia a compresión con respecto a las mezclas elaboradas de suelo-cemento y suelo-cemento-cal, superan en valores de resistencia a las mezclas de suelo-cemento 10% de la tesis de referencia en un 53,17%, a las de lodo-cemento en aproximadamente un 95% y a la de ripio-cemento en un 91,73%.

4.4.2. ENSAYO DE FLEXIÓN

Los resultados del ensayo de flexión a las probetas elaboradas se expresan en la tabla 14.

Tabla 14: Resultados del ensayo de flexión a los 7 días

Mezcla	Muestra	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)	Peso (Kg)	Luz (cm)	Carga (Kg)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²)
Suelo-Cemento 10%	1	10,18	10,34	30,63	4,88	26,63	300	11,02
	2	10,05	10,23	30,15	4,8	26,15	270	10,07
	3	10,07	10,39	29,94	4,51	25,94	260	9,31
	Promedio	10,10	10,32	30,24	4,73	26,24	277	10,13
Suelo-Cemento 12%	1	10,18	10,34	30,63	4,88	26,63	293	10,76
	2	10,05	10,23	30,15	4,8	26,15	256	9,55
	3	10,07	10,39	29,94	4,51	25,94	298	10,67
	Promedio	10,10	10,32	30,24	4,73	26,24	282	10,33
Suelo-Cemento-Cal 1%	1	10,04	10,15	30,05	5,19	26,05	287	10,83
	2	10,08	10,35	30,11	5,54	26,11	267	9,68
	3	9,99	10,14	30,23	5,34	26,23	259	9,91
	Promedio	10,04	10,22	30,13	5,36	26,13	271	10,14
Suelo-Cemento-Cal 3%	1	9,86	10,13	30,07	4,59	26,07	256	9,89
	2	10,03	10,17	30,11	5,07	26,11	289	10,92
	3	9,94	10,19	30,48	5,14	26,48	325	12,50
	Promedio	9,95	10,16	30,22	4,93	26,22	290	11,10
Suelo-Cemento-Aditivo 15%	1	10,15	10,31	30,01	4,51	26,01	259	9,36
	2	10,06	10,16	29,96	4,33	25,96	409	15,33
	3	9,97	10,21	29,83	4,13	25,83	392	14,61
	Promedio	10,06	10,23	29,93	4,32	25,93	353,33	13,10

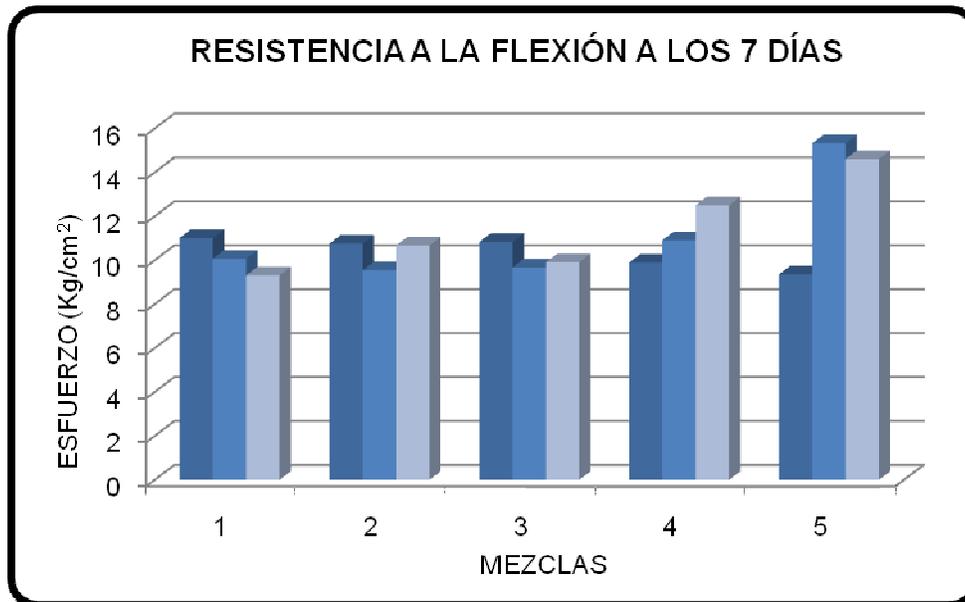


Gráfico 7: Resistencia a la flexión a los 7 días

En la tabla 15 se expresan los módulos de rotura promedios de las probetas elaboradas con las diferentes mezclas.

Tabla 15: Módulo de rotura promedio de las mezclas

Mezcla	Módulo de rotura promedio (Kg/cm ²)
1	10,13
2	10,33
3	10,14
4	11,10
5	13,10

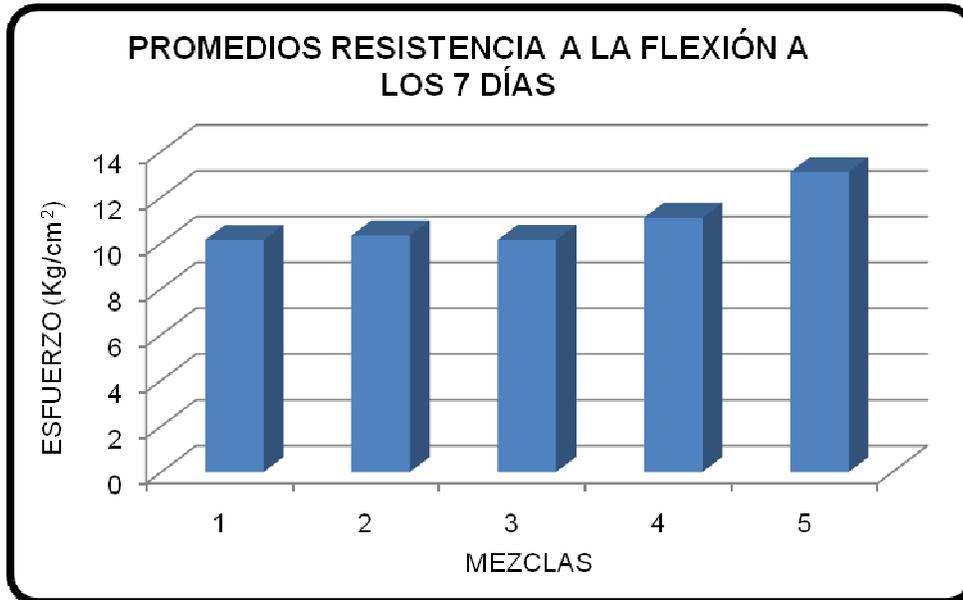


Gráfico 8: Promedio de la resistencia a la flexión a los 7 días

En la tabla 16 se expresan los módulos de rotura promedio de las distintas mezclas.

Tabla 16: Módulo de rotura promedio de distintas mezclas

Tamaño	Materiales	Módulo de rotura (Kg/cm ²)
30x10x10	Mezcla 1	10,13
	Mezcla 2	10,33
	Mezcla 3	10,14
	Mezcla 4	11,1
	Mezcla 5	13,1
30x15x15	Suelo-cemento 10%	9,3

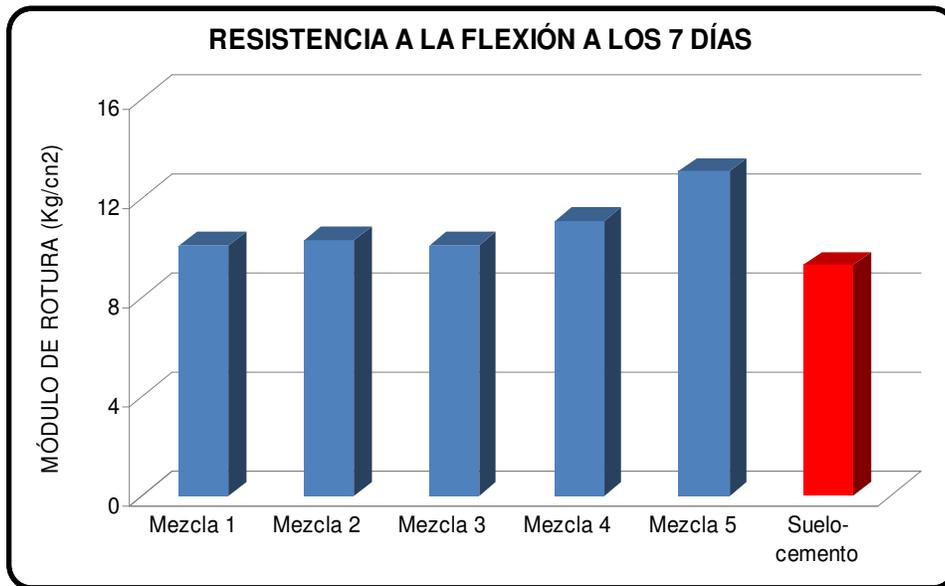


Gráfico 9: Resistencia a la flexión a los 7 días de diferentes materiales

- En el gráfico 8, se puede observar que las probetas elaboradas con la mezcla 5 presentaron mejores resultados a la resistencia a flexión, seguidas de las probetas elaboradas con la mezcla 4, posteriormente, las probetas elaboradas con la mezcla 2 y 3, y por último, las probetas elaboradas con la mezcla 1.
- La tendencia del comportamiento, al igual que en el ensayo a compresión, se mantuvo, observando mayores valores de resistencia a mayor cantidad de cemento, y a mayor cantidad de aditivo, tanto cal, como Soil Plast, es decir, entre la mezcla 1 y 2, la mezcla de suelo-cemento 12% obtuvo 10,33Kg/cm², superior a la mezcla 1 de suelo-cemento 10% con 10,13%. La mezcla 4 con 3% de cal obtuvo 11,10 Kg/cm² superior al obtenido por la mezcla 3 con 1% de cal, la cual obtuvo 10,14Kg/cm². La mezcla con el aditivo químico obtuvo el mayor valor entre todas

las mezclas 13,10Kg/cm², demostrando su capacidad aglutinante y aumento de las características mecánicas del material.

- Luego, si comparamos entre las mezclas con suelo-cemento, y suelo cemento cal, observamos que el mayor valor obtenido fue el de suelo-cemento-cal 3%, seguido de suelo-cemento 12%, suelo-cemento-cal 1%, y por último, suelo-cemento 10%, sin embargo se debe destacar, que entre las 3 últimas la diferencia es relativamente pequeña (2%), en relación con la diferencia entre las mezcla 4 y 3 (7%), lo cual indica que el porcentaje de cal agregado, incrementa la resistencia a mayor escala.
- Al comparar los resultados obtenidos con la mezcla de suelo-cemento 10% de la tesis de referencia, observamos, que incluso, la mezcla 1 con la menor resistencia (10,13Kg/cm²) obtuvo mayor valor que la mezcla mencionada (9.30 Kg/cm²).

4.4.3. ENSAYO DE ABSORCIÓN

Los resultados del ensayo de absorción a las probetas elaboradas se expresan en la tabla 17.

Tabla 17: Resultados del ensayo de absorción

Mezcla	Muestra	Peso seco (Kg)	Peso Húmedo (Kg)	Absorción (%)
Suelo-Cemento 10%	1	1,65	1,89	14,1
	2	1,44	1,65	14,81
	3	1,53	1,76	15,33
			Promedio	14,75
Suelo-Cemento 12%	1	1,6	1,77	10,29
	2	1,51	1,7	12,43
	3	1,6	1,86	16,4
			Promedio	13,04
Suelo-Cemento-Cal 1%	1	1,85	2,16	16,85
	2	1,69	1,97	16,96
	3	1,71	1,91	11,57
			Promedio	15,13
Suelo-Cemento-Cal 3%	1	1,82	2,28	24,92
	2	1,8	2,11	17,46
	3	1,7	1,98	16,48
			Promedio	19,62

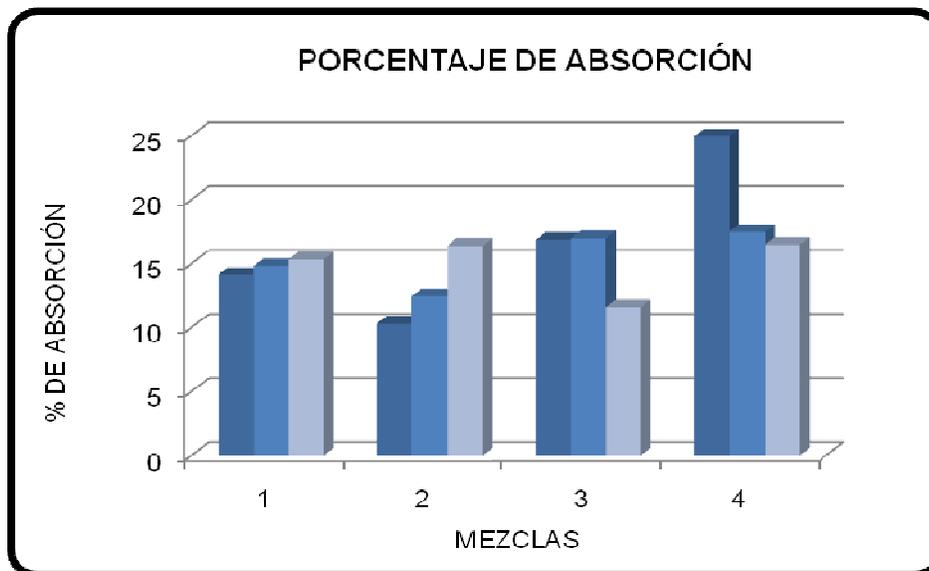


Gráfico 10: Porcentaje de absorción

En la tabla 18 se expresan los porcentajes de absorción promedio de las mezclas elaboradas.

Tabla 18: Promedio de porcentaje de absorción

Mezcla	Promedios Absorción (%)
1	14,75
2	13,04
3	15,13
4	19,62

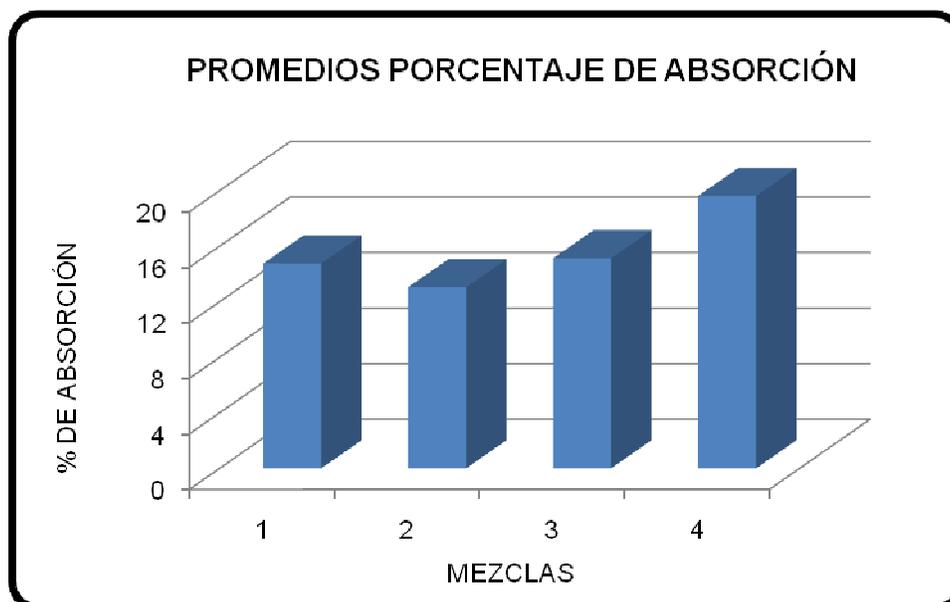


Gráfico 11: Promedios de porcentaje de absorción

En la tabla 19 se expresan los porcentajes de absorción de distintos materiales de la construcción.

Tabla 19: Porcentaje de absorción de diferentes materiales

Material	Absorción (%)
Mezcla 1	14,75
Mezcla 2	13,04
Mezcla 3	15,13
Mezcla 4	19,62
Ripio-cemento	22,68
Suelo Cemento 10%	18,13
Pete-cemento	11,38
LCA2	9,30
LCP	5,97
LCS	4,75
Bloque concreto	14,00

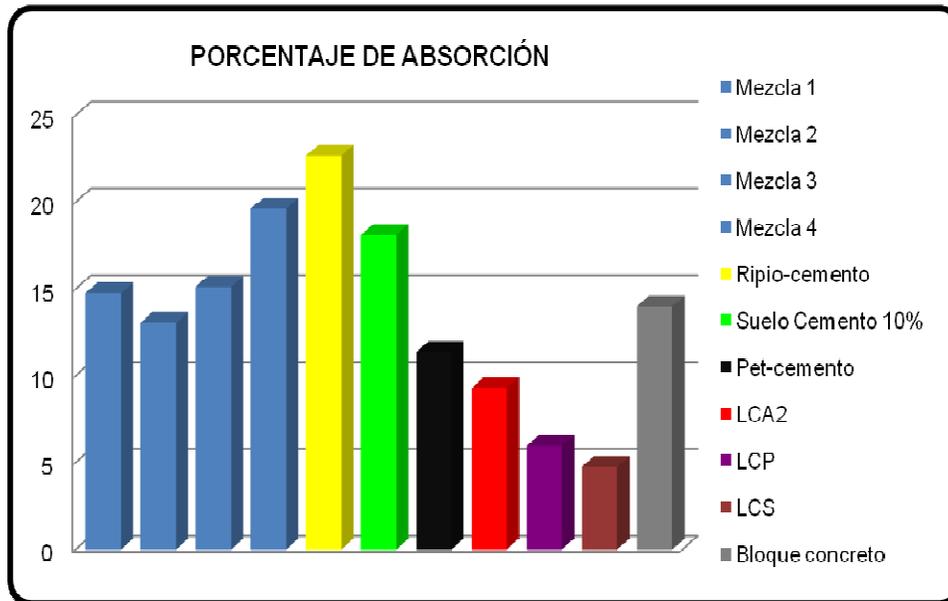


Gráfico 12: Porcentaje de absorción de diferentes materiales

- Los coeficientes de absorción promedio obtenidos para los grupos de probetas de las cinco mezclas estudiadas fueron los esperados. Al comparar las mezclas 1 y 2, comprobamos que el aumento de proporción de cemento produce una disminución de absorción de agua, obteniendo 14.75% y 13.04% respectivamente.
- Por otra parte, las mezclas 3 y 4 como es de esperar, obtuvieron 15.13% y 19.62% de absorción, reflejando el proceso de hidratación de la cal, y obteniendo en la mezcla 4 el mayor porcentaje de absorción entre todas las muestras.
- Al comparar los valores de absorción entre distintos materiales, se observó que las probetas de ripio-cemento presentan el mayor valor (22.68%), seguido por la mezcla 4, mezcla 3, bloque concreto, mezcla 1, PET- cemento, LCA2, LCP y por último, LCS (4.75%).
- Es importante señalar que los valores obtenidos dependen directamente de la compactación de las probetas, pues los índice de absorción son inversamente proporcionales a esta, es decir, una muestra compacta, con menos cantidad de vacíos, impedirá la entrada de agua por sus poros, mientras que en el caso contrario, las moléculas de agua entraran con mayor facilidad. Sin embargo, al compararlo con las mezclas de la tesis de referencia, sucede lo contrario.

4.4.4. EROSIÓN POR CEPILLADO

Los resultados del ensayo de erosión por cepillo a las probetas elaboradas se expresan en la tabla 20.

Tabla 20: Resultados de ensayo de erosión por cepillo a los 7 días

Mezcla	Muestra	Peso seco (Kg)	Peso húmedo (Kg)	Peso Tara (Kg)	Peso Tara + suelo seco (Kg)	Peso sedimento (Kg)	% de pérdida
Suelo-Cemento 10%	1	4,4	5,27	0,04	0,08	0,03	0,75
	2	4,52	5,42	0,03	0,05	0,02	0,35
	3	4,43	5,3	0,03	0,07	0,03	0,77
					Promedio	0,03	0,62
Suelo-Cemento 12%	1	4,4	5,27	0,04	0,07	0,03	0,61
	2	4,52	5,42	0,03	0,06	0,03	0,69
	3	4,43	5,3	0,03	0,05	0,01	0,32
					Promedio	0,02	0,54
Suelo-Cemento-Cal 1%	1	5,28	5,89	0,04	0,06	0,01	0,27
	2	4,71	5,4	0,03	0,04	0,01	0,25
	3	4,68	5,44	0,03	0,05	0,02	0,41
					Promedio	0,02	0,31
Suelo-Cemento-Cal 3%	1	4,74	5,55	0,04	0,05	0,01	0,11
	2	4,77	5,57	0,03	0,04	0,01	0,15
	3	4,61	5,42	0,03	0,04	0,01	0,17
					Promedio	0,01	0,14

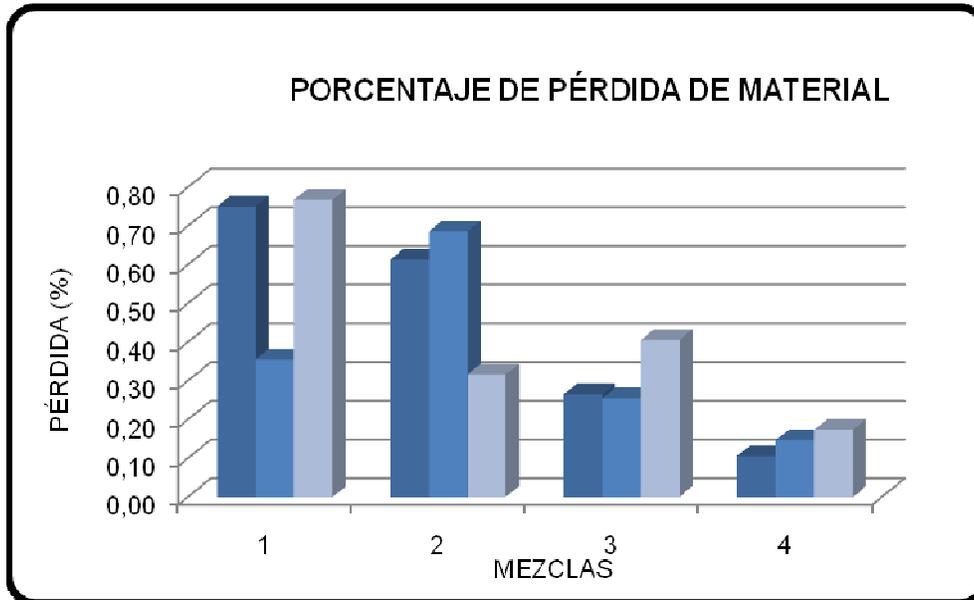


Gráfico 13: Porcentaje de pérdida de material de las mezclas

Los porcentajes de pérdida promedio de las probetas elaboradas se expresan en la tabla 21.

Tabla 21: Porcentaje de pérdida de las mezclas

Mezclas	Porcentaje de perdida promedios
1	0,62
2	0,54
3	0,31
4	0,14

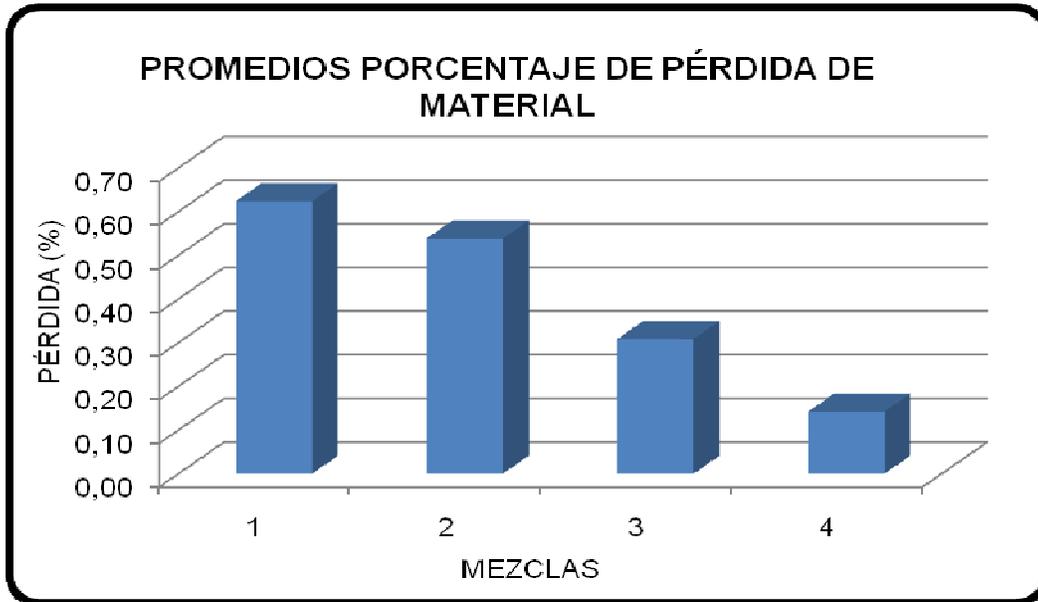


Gráfico 14: Promedios de porcentaje de pérdida de las mezclas

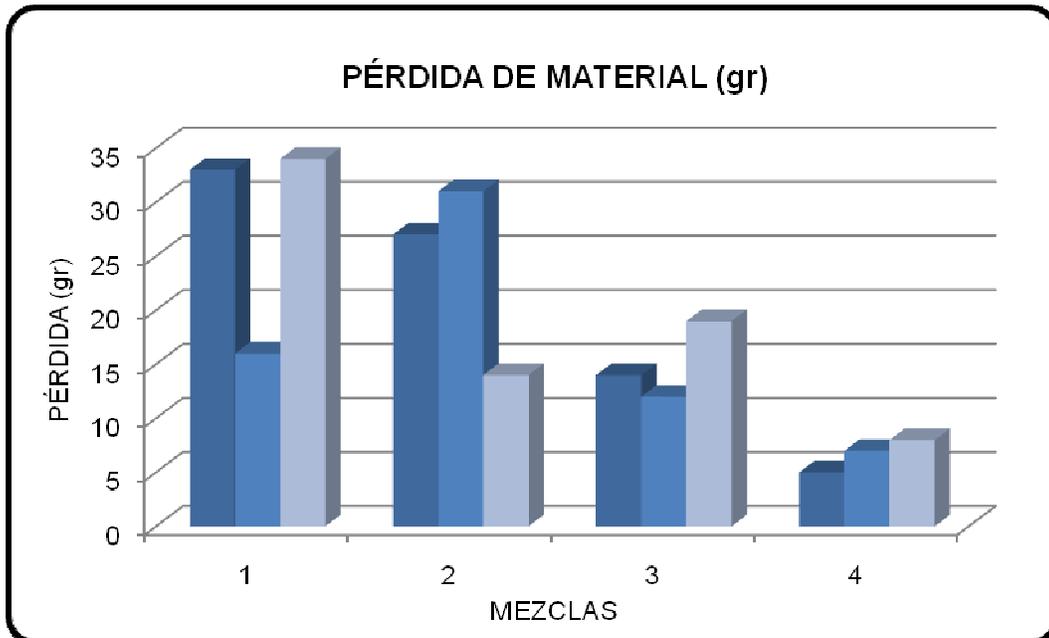


Gráfico 15: Pérdida de material de las mezclas (gr)

En la tabla 22 se expresan los valores de pérdida promedio (gr) de las probetas elaboradas

Tabla 22: Promedios de pérdida de material de las mezclas (gr)

Mezcla	Promedio Pérdida (gr)
1	27,67
2	24,00
3	15,00
4	6,67

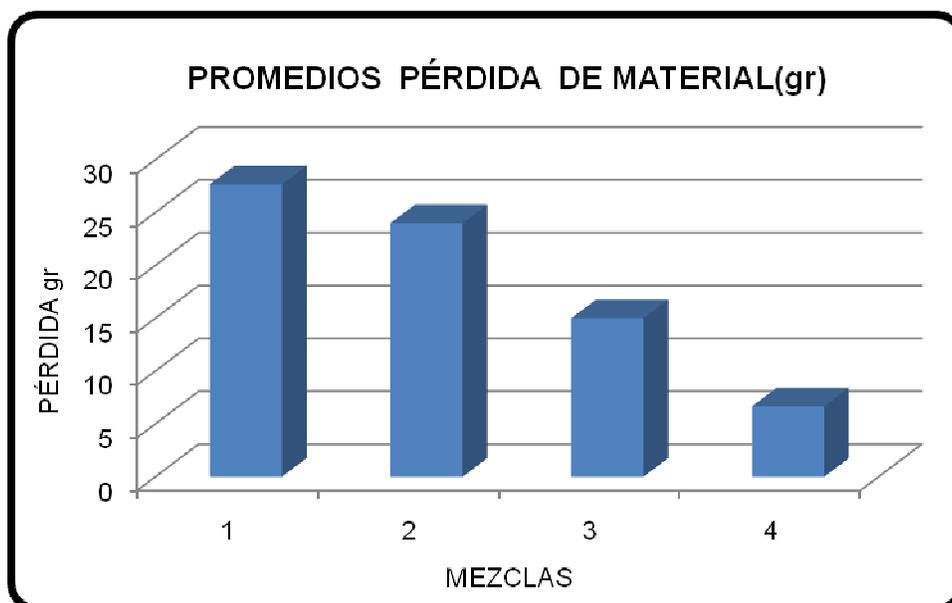


Gráfico 16: Promedios de pérdida de material de las mezclas (gr)

En la tabla 23 se expresan los porcentajes de pérdida promedio entre distintos materiales de la construcción.

Tabla 23: Porcentaje de pérdida promedios entre distintos materiales

Mezcla	Porcentaje de pérdida promedios
Mezcla 1	0.62
Mezcla 2	0.54
Mezcla 3	0.31
Mezcla 4	0.14
Suelo-Cemento 10%	0.31
LCA2	8.70
LCP	15.57
LCS	2.37
Pet-Cemento	0.16

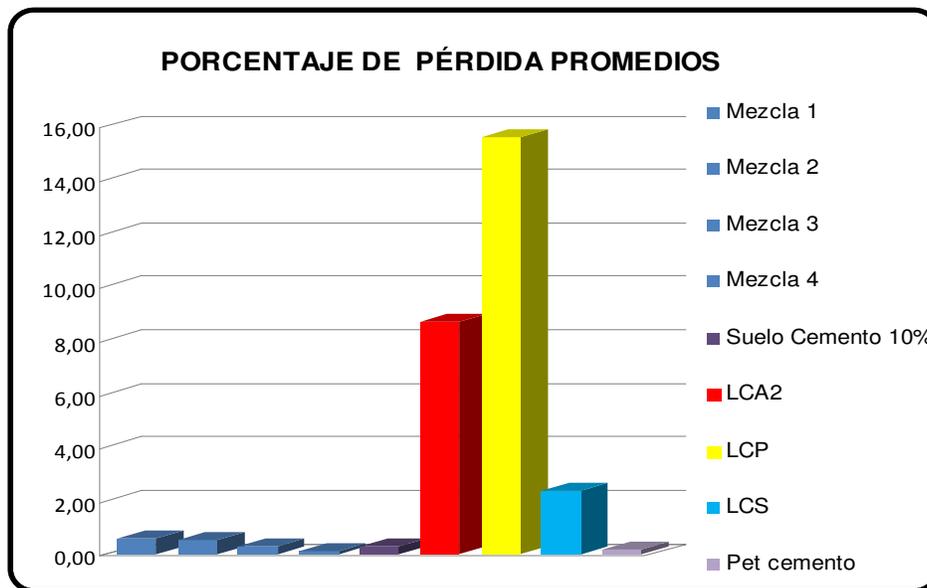


Gráfico 17: Comparación de porcentajes de pérdida promedios entre distintos materiales

- Las probetas elaboradas con la mezcla 4 presentaron la menor pérdida de sedimento al ser ensayadas (6,67grs promedio), seguidas de las elaboradas con la mezcla 3 (15 grs.) luego las de la mezcla 2 (24 grs.), y por último, la mezcla 1 (27,67gr).
- En cuanto al porcentaje de pérdida, la mezcla 1, obtuvo un 0.62% de pérdida de material, significando esta, el mayor valor de pérdida obtenida en los ensayos.
- Tomando como referencia las especificaciones para el ensayo expuesta en el punto de Metodología del Trabajo Experimental se considera que las mezclas elaboradas son aceptables ya que el mayor valor obtenido (probeta 3 de la mezcla 1) fue de 34gr, menor al valor de referencia de 50 gr.
- Al comparar el comportamiento entre las mezclas 1 y 2 observamos que la de mayor contenido de cemento (mezcla 2) se comporta mejor, es decir, presenta menos porcentaje de pérdida de material que la mezcla 1. Por otra parte, al comparar la mezclas 3 y 4, se observa también, que a mayor contenido de cal, la disminución de las pérdidas es notable.
- Es necesario resaltar, que al observar el comportamiento global de todas las probetas, las mezclas que contenían cal (mezcla 3 y 4) presentaron en conjunto menos de la mitad de las pérdidas que las mezclas que contenían sólo cemento (mezclas 1 y 2), se puede decir que se debe a la matriz que se forma entre la cal, el suelo y el cemento.

- Al comparar los resultados de porcentaje de pérdida entre distintos materiales, se observa que la mezcla LCP es la que presenta mayor valor, seguido de la mezcla LCA2, LCS, mezcla 1, mezcla 2, mezcla 3, suelo-cemento 10% y por último, PET-cemento.

4.4.5. EROSIÓN POR ROCIADO

Los resultados del ensayo a las probetas se expresan en la tabla 24.

Tabla 24: Resultados del ensayo de erosión por rociado a los 7 días

Mezcla	Muestra	Peso seco inicial (Kg)	Peso seco final (Kg)	Pérdida (Kg)	Porcentaje de pérdida (%)	Observación
Suelo-Cemento 10%	1	4,3	4,27	0,03	0,74	Se observan orificios pequeños de 2 mm de profundidad y hasta de 3mm en la probeta 3
	2	4,53	4,49	0,04	0,86	
	3	4,43	4,35	0,08	1,76	
			Promedio	0,05	1,12	
Suelo-Cemento 12%	1	4,52	4,48	0,04	0,91	No se presentan huecos significativos, pero si un poco de desgaste
	2	4,5	4,46	0,04	0,78	
	3	4,47	4,43	0,03	0,76	
			Promedio	0,04	0,82	
Suelo-Cemento-Cal 1%	1	4,54	4,51	0,03	0,68	Se observan en las probetas 1 y 3 huecos de 1mm de profundidad y desgaste leve en los bordes, pero en la probeta 2, se encontraron orificios de hasta 2mm.
	2	4,5	4,45	0,05	1,02	
	3	4,47	4,43	0,04	0,83	
			Promedio	0,04	0,84	
Suelo-Cemento-Cal 3%	1	4,79	4,78	0,01	0,17	No se presentan huecos significativos, pero si un poco de desgastes en áreas cercanas a los bordes de las probetas
	2	4,67	4,64	0,03	0,6	
	3	4,71	4,68	0,03	0,66	
			Promedio	0,02	0,47	

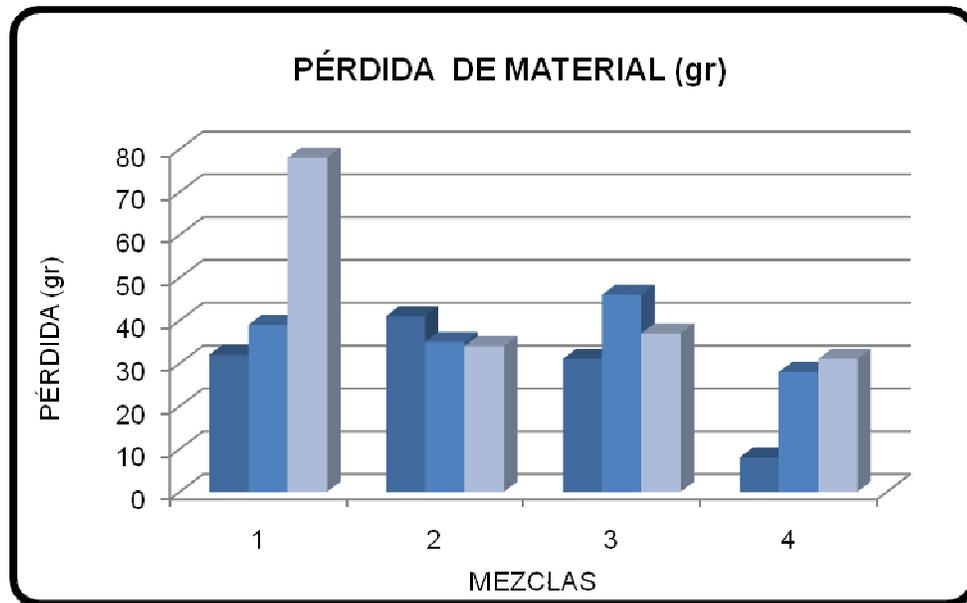


Gráfico 18: Pérdida de material de las mezclas (gr)

En la tabla 25 se expresan las pérdidas de material promedio de las probetas elaboradas.

Tabla 25: Promedios de pérdida de material de las mezclas (gr)

Mezcla	Promedios de Pérdida (gr)
1	49,67
2	36,67
3	38,00
4	22,33

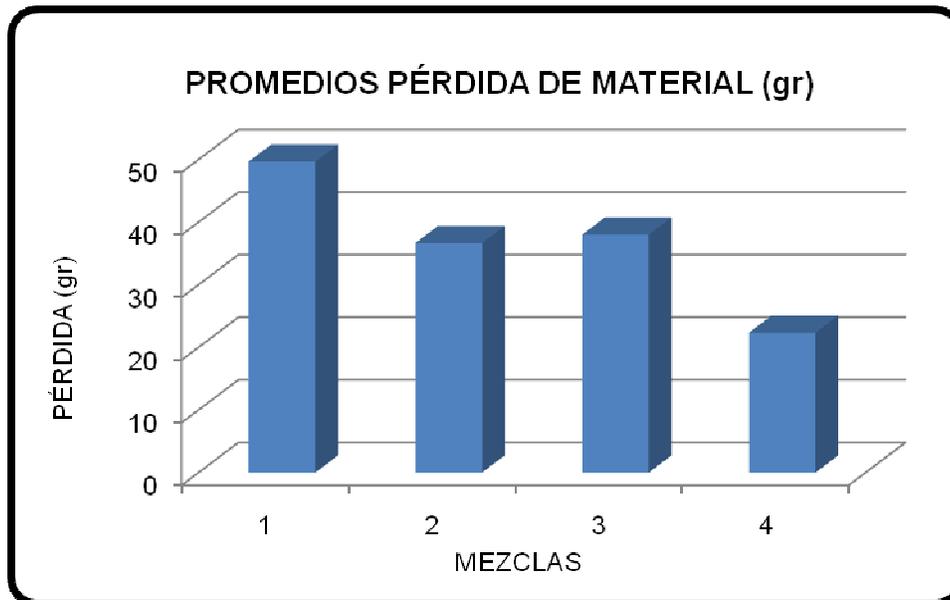


Gráfico 19: Promedio de pérdida de material de las mezclas (gr)

- Las probetas de la mezcla 1 presentaron desgaste en la superficie, y los huecos que se detectaron estuvieron en el orden de 2 a 3mm de profundidad. La probeta 3 de esta mezcla fue la que presentó peores condiciones en los ensayos, pudiendo sospechar incluso de una mala compactación, ya que el resultado se aleja de la tendencia de los resultados.
- Las probetas de la mezcla 2, no presentaron huecos significativos, pero si desgaste por toda la superficie de la probeta, lo cual es aceptable, ya que en comparación con la mezcla 1, los resultados mejoran con la adición de cemento.
- Para las mezclas 3 y 4, los resultados obtenidos son consistentes con el ensayo de cepillado, donde la matriz formada entre el cemento, la cal y el suelo, logran disminuir la pérdida de material por efectos de la erosión.

4.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE LOS ADITIVOS EN DISTINTAS DOSIFICACIONES

Consecuentemente con la idea de adoptar nuevas tecnologías y nuevos materiales económicos y ambientalmente sustentables, el estudio del comportamiento del aditivo Soil Plast, en nuestro trabajo, se limitó, a determinar experimentalmente su comportamiento resistente, (ensayos de compresión y flexión), para compararlo con las otras mezclas y materiales de la construcción.

A pesar de sus excelentes beneficios en lo referente al aumento de las propiedades mecánicas del suelo, su ahorro económico, es aplicable sólo en el área de vialidad; cuando resulte más económico, en lugar de una remoción completa del suelo (excavación, bote, transporte) y sustitución por una base estabilizada (excavación, transporte, relleno, compactación) la aplicación del químico para la estabilización del suelo existente, pues a ese nivel, si resultaría económico su aplicación.

Sin embargo, por sus elevados costos de fabricación (5lts=900 BsF), resulta ilógico la aplicación de este a la mezclas, ya que el ahorro que se logra con la disminución de los gastos de transporte y materiales, se estaría perdiendo con la aplicación del químico. Aunado a esto, actualmente en Venezuela no existe ninguna empresa que industrialice o fabrique aditivos para suelo-cemento a gran escala, lo cual dificultaría el acceso de los constructores a dicho material.

Es importante señalar, que existen otros productos similares de mucho menor costo, que podrían en un futuro ingresar al mercado, y que podrían incluso orientarse no solo a la estabilización de suelo para el área de vialidad, sino dar un empuje a otras aplicaciones del suelo cemento.

Del mismo modo, que encontramos otros productos, con buenas características para ser competitivos a nivel nacional, existen diversas empresas en Latinoamérica, con expectativas de crecimiento en Venezuela, algunas de las cuales, incluso han comenzado a tramitar la figura de franquicia con empresas venezolanas que permitan su entrada al mercado nacional.

Ahora, descartando la mezcla 5, se observa que a través de los diferentes ensayos realizados, el comportamiento de cada una de las mezclas elaboradas mantiene su tendencia, facilitando así, asignar un orden de preferencia en cuanto a la selección de la mezcla utilizar, basados en los valores obtenidos de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, porcentaje de pérdida por erosión y absorción. El orden según los resultados obtenidos es el siguiente: mezcla 4, mezcla 2, mezcla 3 y mezcla 1.

Así pues, observamos, que apartando el estudio mecánico de las mezclas, la selección de una de ellas en particular dependerá de otros factores.

Ambientalmente hablando, si se quiere seleccionar una de las mezclas estabilizadas con cal, es decir, la mezcla 3 o la mezcla 4, en lugar de las mezclas de suelo-cemento, se podrían considerar los siguientes aspectos:

Proceso de fabricación del cemento:

- Temperatura de cocción requerida. 1400 C.
- Utilizan materiales combustibles complementarios, aceites, disolventes, residuos de pintura, neumáticos viejos u otros. Estos productos suelen contener contaminantes, por lo que se debe comprobar la marcha del proceso mediante controles de seguridad especiales, a fin de evitar una emisión de contaminantes adicionales.

- El polvo generado es una mezcla de piedra caliza, óxido cálcico, minerales del cemento y cemento totalmente cocido por lo que es imprescindible el uso adecuado de instalaciones de aspiración y grupos separadores de polvo eficaces, pues en otro caso no está garantizada una gestión apropiada de la fábrica y los costos por desgaste de las máquinas ascienden drásticamente, al tiempo que el alto porcentaje de polvo afecta a los puestos de trabajo y supone también una pérdida de producción.
- En la producción de cemento se necesita alrededor de 1,6 de materia prima por cada tonelada de cemento, además de yeso, consumiéndose en total 1,65 toneladas aprox. de materia prima.

Proceso de fabricación de la Cal:

- La temperatura de cocción es de 850 - 1000 C.
- En la cocción de cal, efectuada en instalaciones considerablemente más pequeñas que la fabricación del cemento, se emite también CO₂ con el gas de combustión. Sin embargo, la cantidad de gas de escape es mucho menor que en las fábricas de cemento.
- A excepción del polvo de CaO puro, que aparece en la cocción de la cal, el polvo no es peligroso, pero sí muy molesto. En la fabricación de cal, la acumulación de polvo es menor, pues sólo en el apagado, embalaje y carga de la cal hay que trabajar con un producto en polvo.
- En la producción de cal el consumo de materia prima, con cerca de 1,8 por tonelada de producto final, es aproximadamente un 10 % mayor que en la fabricación de cemento.

En fin, la cal es un producto más natural, absorbe más CO₂ que el cemento, tiene características de auto curación y una energía incorporada más baja, por lo cual podría ser una mejor opción al pensar seleccionar la mezcla, ya que el impacto será menor.

Por ejemplo, al hablar de la elaboración de un proyecto de viviendas de interés social, donde se debe seleccionar entre las mezclas de mejores valores de resistencia y durabilidad, (mezcla 4 y mezcla 2), el 2% menos de cemento que implica la mezcla 4, la convierte en el mejor candidato a seleccionar, pues a gran escala, estaríamos hablando de la sustitución de una gran cantidad de cemento.

Por último, otro de los factores a considerar, pero en sí, el más complicado, es el factor económico.

La variabilidad de la industria de la construcción en el mercado venezolano, en especial la industria del cemento, complica un poco, seleccionar uno de los materiales elaborados garantizando su comportamiento económico en el tiempo, es decir, en la mayoría de los casos resultaría mucho más económico trabajar con una mezcla de suelo-cemento a una mezcla de suelo-cemento-aditivo, más aun cuando la diferencias en cuanto a la ganancia de resistencia y durabilidad entre las mezclas 4 y 2, o entre las mezclas 3 y 1 es tan baja.

Los gastos de transporte aumentan con la aplicación de cal, ya que se trataría con distribuidores diferentes, es decir, el transportar 100 toneladas de cemento, es mucho más económico que transportar 90 toneladas de cemento y 10 toneladas de cal, pues serían transportes diferentes.

Por otro lado, actualmente, a pesar de que el gasto energético es mayor en la elaboración del cemento que de la cal, y de que en muchos países, la cal es mas económica que el cemento, en Venezuela ocurre lo contrario, observando en la mayoría de las regiones una diferencia promedio del 30% en costos entre ambos materiales.

Sin embargo, una vez más, influye el entorno de la obra a realizar, ya que en ocasiones, al constructor popular o a constructoras pequeñas se les dificulta conseguir cemento al precio de mercado, por la situación de esta industria, a diferencia de un proyecto dirigido por el Estado que contaría con total disposición de materiales.

Por estas razones mencionadas, quedará según las necesidades del ejecutor de la obra, seleccionar la mezcla de su preferencia considerando, impacto ambiental, economía, resistencia, durabilidad, disponibilidad de materiales, entorno de la obra, entre otros.

Por otro lado, en lo que si no queda duda, es en la gran cantidad de ventajas que se obtienen al trabajar con cualquiera de las mezclas elaboradas para la fabricación de bloques, siempre y cuando se deseen los valores de resistencia obtenidos, en comparación con los bloques tradicionales.

Como se explicó anteriormente, realizar un análisis comparativo de costos entre bloques de arcilla tradicional, bloques de cemento, bloques de suelo-cemento y bloques de suelo-cemento estabilizado supone plantear una serie de condiciones para poder medir variables mensurables.

Es escasa la información sobre la estructura de costos de cualquier horno productor de ladrillos en el país, así como también como lo variado que es el pago por mano de obra, costos de tierra, y el cumplimiento de obligaciones impositivas y de servicios.

Sin embargo, la tradición constructiva del bloque instalada en nuestro medio y difícilmente igualada por otro producto empleado en la construcción, podría

resumirse así: excelente aceptación y respuesta a un estilo de construir vigente, particularmente relevante en la edificación de viviendas.

Elaborar bloques con nuevos materiales, suelo-cemento, o suelo-cemento-aditivo, pudiera, no sólo igualar, sino mejorar algunos atributos cualitativos.

Hablar con exactitud de valores netos por unidad de vivienda o por unidad de bloque, requiere un estudio detallado y un análisis profundo del mercado de la construcción en Venezuela, sin embargo, es posible hacer algunas consideraciones acerca del posible resultado que tendrá la adopción de estos nuevos materiales para su uso en la construcción, sobretodo, para proyectos de interés social.

Por esta razón, al igual que en caso anterior al comparar el uso de cal o no en la mezcla, tomamos en consideración diversas variables que intervienen y, en consecuencia, cuáles son sus condiciones de producción:

- Si se trata de una producción de bloques de suelo-cemento o suelo-cemento-aditivo destinada a un grupo de constructores populares, apoyada por municipios, solamente incidirá el costo del cemento empleado, ya que la tierra deberá ser producto de la excavación del lugar, la mano de obra, aportada por el grupo y los gastos de infraestructura y equipos, solventados por la entidad patrocinadora. En estas condiciones el costo de la producción de una vivienda significará un ahorro considerable respecto a la producción de una vivienda de igual cantidad de ladrillos tradicionales.

- La relación de costos varía si la producción se debe a una cooperativa de trabajo formada para la construcción de las viviendas de sus integrantes. Donde el análisis dependerá de si los gastos de terreno forman parte del patrimonio del

grupo, amortizando el costo de las viviendas, por lo cual pueden no ser considerados como inversión a la hora de realizar el costeo de la unidad.

- Por otro lado, si la producción de ladrillos de suelo-cemento se orienta a una producción autosostenida, en el análisis de la composición de costos intervendrán todas las variables que involucra el proceso productivo: terreno, edificio, equipos y máquinas, materiales, mano de obra, gastos generales, entre otros, que se deberán medir por inversiones y costos de producción.

Por estas razones, dependiendo de la zona, magnitud y características del proyecto, la situación de los materiales de la construcción, la productividad de bloques de uno u otro material, con una u otra dosificación deberá ser seleccionada según el caso en estudio.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Para determinar la confiabilidad y utilidad de cualquier material en el área de la construcción son necesarias una serie de investigaciones con el objetivo de aportar resultados que permitan ampliar los conocimientos en cuanto a la aplicación de estos, como nuevos materiales constructivos.

Basados en los resultados obtenidos por los diferentes ensayos realizados, se puede concluir lo siguiente:

- El suelo seleccionado resultó ser una arena-limosa, con 20.1% de finos, condición que lo hace adecuado para la realización de mezclas de suelo-cemento.

- Según el ensayo de compactación, el porcentaje de agua necesaria para alcanzar la humedad óptima y la máxima compactación es de 9.5%, sin embargo, para las mezclas con cal, el valor se incrementó en un 2 %, ya que según la bibliografía revisada, el proceso de hidratación de la cal, demanda ese porcentaje adicional del contenido de agua en la mezcla.

- Se elaboró una metodología básica (diagrama de flujo) que facilite establecer el diseño de mezcla para la fabricación de bloques de suelo-cemento y aditivo según el caso.

- En la dosificación, al mantener constante la cantidad de cemento y aumentar la cantidad de cal, se produce un incremento en la resistencia de las probetas, lo mismo ocurre al aumentar el porcentaje de cemento. Sin embargo, el crecimiento es más notable en las mezclas elaboradas con 1% y 3 % de cal.
- La mezcla 5 presentó los mayores valores de resistencia, seguida por la mezcla 4, la cual se comportó como la mejor opción en los ensayos de durabilidad, sin embargo, la elección de la dosificación adecuada no corresponde sólo a valores de resistencia y durabilidad, sino también debe tomarse en cuenta el factor económico a la hora de realizar el diseño, por lo tanto, según sea el caso, será más recomendable la utilización de un aditivo o ninguno.
- La dosificación óptima seleccionada para ser utilizada en la fabricación de bloques de suelo-cemento y aditivo en función de la tierra seleccionada, tomando como criterio la resistencia y la durabilidad, es la correspondiente a la mezcla 4, Suelo-cemento en proporción 10:1 y humedad óptima 11.5% y cal 3%. Sin embargo, la dosificación de la mezcla 2 podría ser considerada según los costos y disponibilidad de los materiales a utilizar.
- El factor de compactación es determinante en la resistencia y durabilidad de las probetas de suelo-cemento, suelo-cemento-cal y suelo-cemento-aditivo Soil Plast.
- El coeficiente de absorción de las probetas ensayadas está entre 13.04 y 19.62%, observando mayores índices en las probetas con cal, debido a los requerimientos de hidratación de la misma.

- La resistencia alcanzada por las probetas ensayadas a los 7 días fue elevada si se compara con la resistencia alcanzada en experiencias anteriores y con otros materiales.
- A pesar de que el porcentaje incrementado de la cantidad de cal y/o cemento en las mezclas fue pequeño (2%), los resultados obtenidos en las pruebas de durabilidad fueron consistentes, indicando un buen comportamiento en la mezclas con cemento y cal, por la matriz formada entre estos materiales, así, se puede concluir que la dosificación más recomendable para soportar, la acción combinada de la lluvia y el viento es la mezcla 4.
- La adecuada elección del aditivo, o la combinación de aditivos, es un factor clave en el éxito de la estabilización de suelos. Para ello, deberán estudiarse todos los tipos de suelos y materiales disponibles para ver cuál es su susceptibilidad ante su posible estabilización con cal o con cemento. Hay que tener en cuenta que los suelos y materiales disponibles, en cada proyecto u obra, serán diversos. Por lo tanto, debe realizarse un estudio que analice todos los tipos de suelos y materiales susceptibles de ser estabilizados.
- Conocidos los cambios que puede generar la composición del suelo en las mezclas, se podría seleccionar la dosificación óptima de suelo, cemento y aditivos (Cal y Soil Plast), según los intereses de la obra, haciendo bloques de prueba por cada mezcla y someterlos a ensayos simples de resistencia a compresión y durabilidad e inmersión en agua, con el fin de encontrar la menor cantidad de estabilizador que satisfaga los requerimientos.

- Para utilizar la tierra como material de construcción, aparte de los respectivos ensayos de campo y laboratorio para determinar la posibilidad de utilización del material en mezclas de suelo-cemento, es necesario determinar el impacto ambiental que se podría causar, ya que a pesar de que se trata de un método constructivo de poco gasto energético, y poco contaminante, su aplicación indiscriminada y descontrolada podría revertir las ventajas ambientales de su aplicación.

RECOMENDACIONES

A fin de continuar con la línea de investigación establecida en este Trabajo Especial de Grado, se mencionan a continuación las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda no utilizar moldes metálicos fijos, ya que la probeta puede romperse en las esquinas.
- Es recomendable cumplir con el proceso de curado de las probetas para evitar que se produzca fisuras y/o microfisuras que puedan modificar la resistencia, y así evitar desviaciones en los resultados de los ensayos.
- Para trabajar con los materiales utilizados, suelo-cemento y en especial los aditivos Cal y Soil Plast se debe utilizar un equipo protector apropiado. Es decir, para la protección ocular se recomienda usar lentes de seguridad. Al tratar con los aditivos y para ingresar o retirar de los hornos las probetas u otros materiales usados en la elaboración de la parte experimental se debe utilizar guantes. Por último, se recomienda usar mascarillas antipolvo para evitar irritación en situaciones de alta exposición, en el caso de que se manipulen los aditivos.
- Se debe garantizar que los materiales utilizados (cemento y aditivos) se encuentren en condiciones de humedad y temperatura óptimas, evitando largas permanencia en lugares húmedos o muy secos que alteren las propiedades de los de los materiales.

- Se requiere de un mezclado eficiente al emplear el cemento y los aditivos en la mezcla, para alcanzar el contacto con cada partícula del suelo.
- Continuar con investigaciones en este campo que permitan ampliar y establecer un método y una normativa sobre la incorporación de aditivos en mezcla de suelo-cemento para ser utilizado como material de construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Azpúrua, F. (2009). Sigamos Construyendo. Órgano Divulgativo de la Cámara Venezolana de la Construcción. 2-3pp.
2. Adobe. Recuperado el 15 de enero de 2009 de <http://es.wikipedia.org/wiki/Adobe>.
3. Cal. Recuperado el 10 de febrero de 2009 de http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/CD3WD/CONSTRUC/SK01AE/ES/SK01MS08.HTM.
4. Doat, P. Hays, A, Houben, H. (1990). "Construir con Tierra". Fondo Rotatorio Editorial-FEDEVIVIENDA. Tomo I. Colombia. 221 pp.
5. Doat, P. Hays, A, Houben, H. (1990). "Construir con Tierra". Fondo Rotatorio Editorial-FEDEVIVIENDA. Tomo II. Colombia. 259 pp.
6. Estabilización de suelos. Recuperado el 10 de enero de 2009 de <http://ingenieracivil.blogspot.com/2008/04/estabilizacin-de-suelos.html>.
7. Estabilizadores. Recuperado el 10 de febrero de 2009 de http://www.cd3wd.com/cd3wd_40/CD3WD/CONSTRUC/SK01AE/ES/SK01MS06.HTM.

8. Formas de falla características. Ensaye a Compresión. Cilindros de concreto. Material suministrado por el Prof. Cesar Peñuela.
9. Impactos Ambientales y Actividades Productivas (Cemento, Cal y Yeso). Recuperado el 15 de enero de 2009 de <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=258>.
10. Korody, M.E. (1998). "Estudio de la factibilidad de Utilización del ripio de Cantera como material estructural para viviendas de bajo costo". Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
11. Luis, A., Rendón, N. (2005). "Diseños de mezcla de Polietilen Tereftalato (PET)-Cemento". Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
12. Llamozas, A., Granados, T., Lopez, B. (1958). "Estabilización suelo-cemento". Trabajo de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas. 96pp.
13. Material inédito- Ing. Hernández, Rhenzel-Aditivo SCM-C - 2008.
14. Morteros cal. Recuperado el 15 de enero de 2009 de <http://www.arqhys.com/arquitectura/morteros-cal.html>.
15. Norma ASTM 1557-02: "*Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56000 ft-lbf/ft³ (2700 kN-m/m³))*".
16. Norma Venezolana COVENIN 255:1998. "Determinación de la composición granulométrica".

17. Norma Venezolana COVENIN 1303. "Método de preparación de muestras para los análisis granulométricos y para la determinación de los límites de consistencia".

18. Norma Venezolana COVENIN 1125-77. "Suelos. Método para la determinación de los límites líquido y plástico".

19. Norma Venezolana COVENIN 255-77 – CCCA. Ag 2: "Método de ensayo para determinar la composición granulométrica de agregados finos y gruesos".

20. Norma Venezolana COVENIN 338-2002. "Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto".

21. Norma Venezolana COVENIN 340. "Concreto. Elaboración y curado de probetas en laboratorio para ensayos a flexión".

22. Norma Venezolana COVENIN 343 "Método de ensayo para determinar la resistencia a tracción por flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con carga en el centro del tramo".

23. PORRERO J, J. Grases y Otros. (1996) "Manual de Concreto". Ediciones Sidetur. Caracas. 391 pp.

24. Rodríguez, L., Simonpietri, M. (2002). "Diseños de mezcla para su uso en la fabricación de bloques aligerados de suelo-cemento". Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

25. Sánchez, J., Moreno, R. (2002). "Fabricación y caracterización de bloques aligerados de suelo-cemento". Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

26. Soto, M., Guardia, R. (2008). "Utilización de residuos pétreos de materiales de construcción procesados como agregados en mezclas de concreto".

27. Tapial. Recuperado el 5 de marzo de 2009 de <http://es.wikipedia.org/wiki/Tapial>.

28. Tierra y cal. Recuperado el 1 de marzo de 2009 de <http://www.tierraycal.com/galeria.htm>.

29. Ugas, C. (1985). "Guía de Ensayos de Laboratorio en Mecánica de Suelos, Discusión-Evaluación y Procedimientos" Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas Mayo .285 pp.

30. Vethencourt, E. (1960). "Apuntes de suelo-cemento". Caracas. 79 pp.

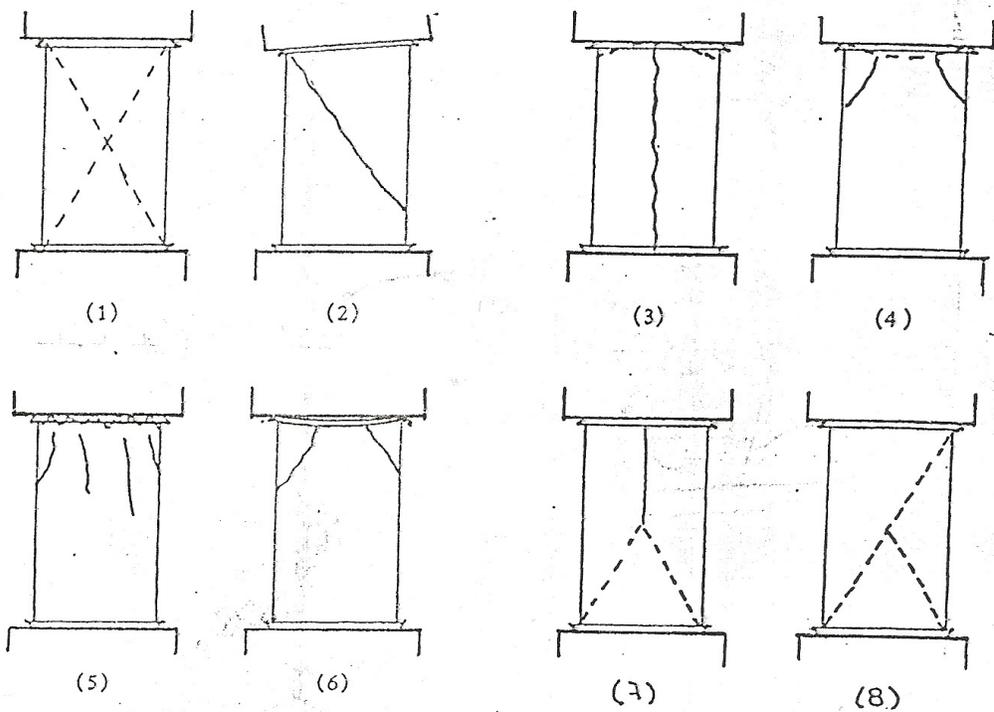
31. Williams, J., Herrera, G. (2006). "Análisis del comportamiento del Lodo-Cemento como material de construcción". Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

ANEXOS

FORMAS DE FALLA CARACTERÍSTICAS

ENSAYE A COMPRESION

CILINDROS DE CONCRETO



- (1) Falla deseable en compresión.
- (2) Falla por inclinación en una de las caras de carga.
- (3) a (5) falla por deficiencia en el enrase de las muestras moldeadas.
- (6) Falla por deformación del plato de cabeceo.
- (7) combinación de (1) y (3)
- (8) combinación de (1) y (2)

Aditivo SUELO CEM M®

El sistema de estabilización de suelos mediante la adición de cemento, ahora aditivaza con la presencia de las formulaciones químicas denominadas SUELO CEM M® está orientada de manera específica para suelos granulares y como un segundo caso, los suelos de matriz cohesiva.

Una vez que este aditivo haya realizado su acción, se puede pasar a la siguiente fase que consiste en modificar el cemento respecto a la fase acuosa. Preferiblemente este aditivo debe aplicarse, en cualquier caso, en el agua, diluido, de forma tal que si la mezcla suelo-cemento en campo se realiza aplicando el cemento en polvo sobre el suelo, el agua de mezclado ya esté cargada de los radicales aniónicos para facilitar la dispersión del cemento. Ahora, el mejor método es hacer una lechada ((Agua + aditivo) + Cemento) y luego vaciarla para su mezclado en el suelo.

Para compactar el suelo es requerido un porcentaje de agua respecto a su peso, este valor debe respetarse para un suelo sin modificar; pero una vez transformadas sus características mediante la presencia de un agente químico, estos valores cambian.

El segundo aditivo cumple la función de facilitar e incrementar la hidratación del cemento, por lo que al ocurrir esto la resistencia de la mezcla se ve incrementada tanto a edad temprana como a largo plazo. Pero para que esto ocurra debe reducirse el monto de agua estimada para la mezcla de suelo y cemento sin aditivo en un 25% hasta un 35%, siendo el porcentaje de agua resultante suficiente para preparar la lechada.

Suelo Cemento Modificado o Técnica Híbrida

Productos coadyuvantes en la estabilización de suelos y reciclaje de pavimentos asfálticos mediante la técnica suelo-cemento

Existe un SISTEMA SUELO CEM M® para cada aplicación, tales como:

- a. Estabilización de arcillas y reciclaje de granzón contaminado (SCM-C) (Solo para la Fase 1)
- b. Reciclaje de pavimentos asfálticos y estabilización de suelos (SCM-G) (Solo Fase 1)

Es útil en aquellos casos donde la dosificación de cemento resulta elevada y costosa, tal es el caso en suelos arcillosos y cuando se necesita de mayor resistencia a compresión; muy útil en carreteras y autopistas de base reciclada con cemento.

Según el caso y las características del terreno, se aplicaran alguno de los dos tipos: SCM-C para material cohesivo y SCM-G para granulares.

Ambos tipos se aplican en varias fases, pero a criterio del Proyectista, Inspector o Residente puede aplicarse sólo aquella que se considere justificable, indistintamente si no se cumplió con la fase previa. Es decir cada fase puede ser aplicada de forma independiente.

SUELO CEM M® TIPO SCM-C para suelos cohesivos y reciclaje de granzón contaminado.

Los Suelos Cohesivos (plásticos), no son los más adecuados para ser estabilizados mediante la adición de cemento, ya que estos requieren de muy elevados porcentajes de este material y por las dificultades que implica mezclar dos partículas en estado coloidal, como bien son la arcilla y el cemento, y lo difícil que resulta desterronar la matriz arcillosa, por lo que en la mezcla se forman betas y se obtiene un dudoso nivel de estabilización

Fase 1. Aditivo C-1, se aplica en una fase anterior al cemento, previamente diluido en agua.

Su función es: disminuir el IP, flocular el suelo para generar una modificación granulométrica y de este modo poder mezclar con mayor facilidad el cemento, facilitar la compactación de la mezcla suelo-cemento y reducir el volumen de cemento. (No contiene sulfatos; pH neutro)

Beneficios

- Mayor resistencia a cargas y ciclos.
- Incrementa la compactación.
- Mantiene la base densa y compactada.
- Mayor durabilidad.
- Menor costo y mayor vida útil.
- Reduce el agrietamiento por retracción.
- Ayuda a mezclar el cemento con la arcilla.
- Aumenta la reactividad del cemento con el suelo arcilloso.
- Mayor resistencia al agua.
- Mayor aglutinamiento de la mezcla.

- Resistencias más altas a edades tempranas.
- Ahorro en costos de cemento.

SUELO CEM M® TIPO SCM-G para suelos no cohesivos y reciclaje de pavimento asfáltico (fase 1)

Producto basado en una dispersión aniónica polimérica, la cual es adicionada a la lechada o al agua de mezclado si el cemento se distribuye en polvo

Beneficios:

- Mayor ductilidad.
- Proporciona más flexibilidad.
- Reducción del agrietamiento por retracción.
- Menor permeabilidad.
- Superior adhesión y aglutinamiento.
- Incremento en la resistencia mecánica.
- Mayor resistencia a la fatiga

SISTEMA SUELO CEM fases 2 y 3 SCM-C y SCM-G

A partir de la segunda Fase en las Técnicas SCM-C y SCM-G se aplican los mismos aditivos al suelo-cemento o REPACE. La diferencia consiste en la Fase 1, debido a las características granulométricas con comportamientos disímiles entre sí.

Fase 2: Emulsógeno basado en un aceite de petróleo que permite dispersar las partículas del cemento en la mezcla mientras hidrata mejor y de forma más

rápida a toda la matriz del cemento, proporcionando un incremento drástico en la resistencia a compresión del suelo – cemento ó REPACE, según el caso.

Permite reducir el volumen de agua en un 20~30% y en lograr resistencias muy elevadas en los primeros 3 y 7 días. Si se desea, puede reducirse el porcentaje de cemento. Se aplica al agua de amasado ó a la lechada, según el proceso de ejecución adoptado. (Estado líquido, pH neutro)

Beneficios Asociados:

- Facilita la dispersión del cemento en la mezcla.
- Mejora la trabajabilidad.
- Aumenta la resistencia tanto a edad temprana como a al plazo final.
- Incrementa la permeabilidad.
- Reduce la segregación de los agregados.
- Mitiga la formación de grietas de retracción.
- Maximiza la eficiencia del cemento.
- Mayor durabilidad.
- Cuerpo de mayor rigidez.

Fase 3: Aplicación del Polímero Auto-reticulante SOILPLAST®, es un polímero sellador de superficies que se aplica por aspersion sobre el terreno.

Una vez seco, forma una membrana sobre la superficie, la cual es impermeable al agua, y permeable a los vapores de agua. Se puede circular sobre la membrana caminando ó con vehículo de ruedas de goma.

Beneficios asociados:

- Impide una elevada tasa de evaporación del agua de la mezcla.
- Reduce la formación de grietas por retracción de la masa de suelo-cemento.
- Permite el paso de vapores de agua para una disminución controlada de la humedad.
- Impide el paso de agua de lluvia mientras la mezcla fragua.
- Reduce los tiempos de laboreo, ya que no es necesario el riego repetido.
- Puede verse a través de ella, para facilitar la observación de la superficie de la mezcla.
- Permite controlar el polvo.

ACTA

El día **8 de mayo de 2009** se reunió el jurado formado por los profesores:

Mania E. Korody
Duilio MARCIAL
CESAR PEÑUELA

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: **"FACTIBILIDAD DE UTILIZACIÓN DE UN ADITIVO EN LOS DISEÑOS DE MEZCLA DE SUELO-CEMENTO PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES"**.

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Rondón Abraham	20	VEINTE
Sánchez Carolina	20	VEINTE

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO

Mania E. Korody
Duilio MARCIAL
CESAR PEÑUELA

Caracas, 08 de mayo de 2009

Aprobado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Civil en la Sesión del 13/02/2006

