

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO.

**ESTUDIO DE LA ADHERENCIA ENTRE BARRAS DE ACERO
CORRUGADO Y MORTERO DE SUELO-CEMENTO.**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar el Título
de Ingeniero Civil.
Por los Brs. Guédez, Yan
y Pita , Eugenio.

Caracas, noviembre de 2005.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO.

**ESTUDIO DE LA ADHERENCIA ENTRE BARRAS DE ACERO
CORRUGADO Y MORTERO DE SUELO-CEMENTO.**

Tutor Académico: Profesora María Eugenia Korody.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar el Título
de Ingeniero Civil.
Por los Brs. Guédez, Yan
y Pita , Eugenio.

Caracas, noviembre de 2005.

ACTA

El día _____ se reunió el jurado formado por _____

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado Titulado: **“ESTUDIO DE LA ADHERENCIA ENTRE BARRAS DE ACERO CORRUGADO Y MORTERO DE SUELO-CEMENTO”**. Presentado Ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al título de Ingeniero Civil.

Una vez oída la defensa oral que los bachilleres realizaron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió la siguiente calificación:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	NÚMERO	LETRAS
Guédez Sequera Yan Maoren		
Pita Marcano Eugenio		

Recomendaciones (si las hubiera):

Firmas del Jurado:

Caracas, Noviembre 2005

DEDICATORIA

A mis Padres, Eduardo y Nelly.

A mis Hermanos, Lenin y Esteban.

A mi Cuñada, Liney.

A mis Sobrinos, Francisco y Marcela.

A mi Amor, Roberto.

.... por quererlos tanto.

Yan Maoren.

Le dedico este trabajo a mi familia
y en especial a mi padre
por su esfuerzo incondicional
y apoyo en toda mi carrera como estudiante de Ingeniería,
gracias por creer y confiar en mí.

Eugenio Pita.

AGRADECIMIENTO

Todo nuestro agradecimiento a:

Ing. Duilio Marcial,
Ing. Ronald Torres,
Ing. Cesar Peñuela,
Ing. Maria Eugenia Korody,
Ing. Sergio Rodríguez,
Ing. Nelson Camacho,
Ing. German Isea,
Ing. Leonel Rodríguez,
a todo el personal técnico del IMME.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron en la elaboración de este trabajo.

Guédez S. Yan M.

Pita M. Eugenio

ESTUDIO DE LA ADHERENCIA ENTRE BARRAS DE ACERO CORRUGADO Y MORTERO DE SUELO-CEMENTO.

**Tutor Académico: Prof. Maria Korody. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2005, 119p.**

Palabras Claves: Suelo-cemento, Adherencia, Extracción.

Resumen. En el presente trabajo se estudió el comportamiento del fenómeno de adherencia entre barras de acero corrugado y mortero de suelo-cemento. Se hizo este análisis realizando el ensayo de extracción (Pull Out), tomando como referencia la norma COVENIN 1667-80. El estudio se realizó utilizando como variable dos diámetros diferentes de barras de acero corrugado (3/8" y 1/2") y para la elaboración del mortero de suelo-cemento se utilizó como referencia el Trabajo Especial de Grado "Diseño de mezcla para su uso en la elaboración de bloques aligerados de suelo-cemento", que consiste en el estudio de mezclas de suelo-cemento las cuales se usan en viviendas de interés social.

En principio se hizo una revisión bibliográfica y se recogió información acerca de los factores que influyen en la adherencia. Dichos factores corresponden a las características del mortero de suelo-cemento y del acero utilizado en este trabajo, las cuales se obtuvieron a través de ensayos y datos relacionados con dichos materiales. Finalmente los resultados obtenidos se mostraron en tablas y gráficos y comparados con los resultados obtenidos por Fernández Marylena y Otros en su Trabajo Especial de Grado titulado "Estudio sobre el esfuerzo de adherencia desarrollados entre el acero y el concreto".

	Pág
I. INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICO	17
II. MARCO TEÓRICO	18
1. SUELO-CEMENTO. DEFINICIÓN	19
2. APLICACIONES	19
2.1. Pavimentos	19
2.2. Protección de Taludes	20
2.3.Revestimiento	22
2.4. Estabilización de Fundaciones	23
2.5. Otras Aplicaciones de Suelo-Cemento	25
3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL SUELO-CEMENTO	26
4. SUELO-CEMENTO Y EL IMPACTO AMBIENTAL	27
5. DISEÑO DE MEZCLA	28
5.1. Efecto del Cemento Sobre la Mezcla	28
5.1.1. Resistencia a la compresión	28
5.1.2. Disminución de la resistencia en presencia del agua ..	28
5.1.3. Variaciones proporcionales en presencia de agua	28
5.1.4. Erosión	29
5.2. Componentes del Suelo-Cemento	29
5.2.1. Suelo	29
5.2.2. Cemento	31
5.2.3. Agua	32
6. LA ADHERENCIA. DEFINICIÓN	33
7. TIPOS DE ADHERENCIA	34
7.1. Adherencia por Adhesión	34
7.2. Adherencia por Fricción	35

	Pág
7.3. Adherencia por Interacción Mecánica	35
8. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADHERENCIA DESARROLLADA EN ENSAYOS DE EXTRACCIÓN	36
8.1. Características del Concreto	36
8.1.1. Resistencia	36
8.1.2. Relación agua-cemento	37
8.1.3. Cemento	37
8.1.4. Agregados	37
8.1.5. Recubrimiento	37
8.1.6. Forma de vaciado	38
8.1.7. Edad	38
8.2. Características del Acero	39
8.2.1. Forma de la barra	39
8.2.2. Corrugaciones o estrías de la barra	39
8.2.3. Perfiles de la barra y condición de su superficie	41
8.2.4. Posición de la barra durante el vaciado	41
8.2.5. Refuerzo transversal	42
8.2.6. Barra cortada-doblada	43
9. ENSAYO DE EXTRACCIÓN (ENSAYO PULL OUT)	43
III. MÉTODO	48
1. ESTUDIO DEL SUELO	50
1.1. Materiales y Equipos	50
1.2. Procedimiento	51
1.2.1. Procedimiento visual-manual.	51
1.2.2. Granulometría	56
1.2.3. Sedimentación	58
1.2.4. Límites de consistencia o de Atterberg	60
1.2.5. Compactación	64

	Pág
2. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE SUELO-CEMENTO ..	66
2.1. Materiales y Equipos	66
2.2. Procedimiento	67
2.2.1. Preparación del suelo	67
2.2.2. Proporción suelo-cemento	68
2.2.3. Mezclado	69
3. PROPIEDADES DE LA MEZCLA DE SUELO-CEMENTO ...	70
3.1. Materiales y Equipos	70
3.2. Procedimiento	71
3.2.1. Consistencia	71
3.2.2. Peso unitario	72
3.2.3. Resistencia a la compresión	75
4. PROPIEDADES DE LAS BARRAS DE REFUERZO	78
4.1. Materiales y Equipos	78
4.2. Procedimiento	78
5. ENSAYO DE EXTRACCIÓN (PULL OUT)	80
5.1. Materiales y Equipos	80
5.2. Procedimiento	80
IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS	85
1. ESTUDIO DEL SUELO	86
1.1. Procedimiento visual	86
1.2. Granulometría	88
1.3. Sedimentación	90
1.4. Límites de Consistencia o de Atterberg	92
1.5. Compactación	93
2. PROPIEDADES DE LA MEZCLA DE SUELO-CEMENTO ...	95
3. PROPIEDADES DE LAS BARRAS DE REFUERZO	97
4. ENSAYO DE EXTRACCIÓN	102

	Pág
V. CONCLUSIONES	111
VI. RECOMENDACIONES	114
VII. REFERENCIAS	116

	Pág
Gráfico 2.1. Curva óptima y curvas límites	31
Tabla 2.1. Porcentaje de cemento de acuerdo al tipo de suelo	32
Figura 2.1. Esfuerzo entre dos estrías de una barra corrugada	40
Figura 2.2. Probeta ensayo de extracción	44
Figura 2.3. Ensayo de extracción	45
Figura 2.4. Esfuerzos transversales y de adherencia en una barra sometida a un ensayo de extracción	47
Foto 3.1. Ensayo de granulometría. Lavado sobre el tamiz N° 200	57
Foto 3.2. Ensayo de granulometría. Tamizado	58
Foto 3.3. Ensayo de sedimentación	60
Tabla 3.1. Rangos de plasticidad del suelo	63
Tabla 3.2. Rangos de consistencia del suelo	64
Foto 3.4. Preparación del suelo	67
Foto 3.5. Tamizado del suelo a través del tamiz ¾”	68
Foto 3.6. Almacenaje de las bolsas con suelo	68
Foto 3.7. Mezclado del material seco	69
Foto 3.8. Cantidad de agua necesaria. La mezcla permite ser separada sin desintegrarse	70
Foto 3.9. Asentamiento. Llenado de la mezcla	71
Foto3.10. Medición del asentamiento	73
Foto 3.11. Peso unitario. Determinación del volumen del recipiente	73
Foto 3.12. Peso unitario. Llenado de la mezcla	74
Foto 3.13. Resistencia a la compresión. Preparación de las probetas	76
Foto 3.14. Resistencia a la compresión. Medición de las probetas	77
Foto 3.15. Ensayo resistencia a la compresión	77
Figura 3.1. Gráfico esfuerzo-deformación unitaria	79
Foto 3.16. Ensayo de extracción. Armado de las probetas	81

	Pág
Foto 3.17. Ensayo de extracción. Almacenamiento de las probetas durante el fraguado	82
Foto 3.18. Ensayo de extracción. Curado de las probetas	82
Foto 3.19. Ensayo de extracción. Almacenamiento de las probetas hasta el ensayo	83
Foto 3.20. Ensayo de extracción. Goma delgada para colocarlo en la superficie del cilindro en contacto con la plataforma de la máquina de ensayo	83
Foto 3.21. Ensayo de extracción. Alineamiento de la probeta en la máquina de ensayo	84
Tabla 4.1. Resultados del ensayo de granulometría	88
Gráfico 4.1. Curva granulométrica	88
Gráfico 4.2. Comparación entre la curva granulométrica obtenida y la curva óptima	89
Tabla 4.2. Resultados del ensayo del hidrómetro	90
Gráfico 4.3. Curva del hidrómetro	90
Gráfico 4.4. Curva granulométrica completa y curvas límites	91
Tabla 4.3. Resultados del ensayo de compactación	93
Gráfico 4.5. Curva de compactación	93
Tabla 4.4. Estabilización del suelo según el contenido de humedad óptima	94
Tabla 4.5. Resultados de la relación agua-cemento, peso unitario y asentamiento de las mezclas de suelo-cemento	95
Tabla 4.6. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión	95
Fotos 4.1. Probetas de la mezcla 1	96
Fotos 4.2. Probetas de la mezcla 2	96
Foto 4.3. Resultante del ensayo de compresión	97
Tabla 4.7. Características medidas de las estrías	97
Foto 4.4. Barras utilizadas	98

	Pág
Tabla 4.8. Resultados del ensayo de tracción de la barra 3/8"	99
Tabla 4.9. Resultados del ensayo de tracción de la barra 1/2"	100
Gráfico 4.6. Esfuerzo-deformación de la barra de 3/8"	101
Gráfico 4.7. Esfuerzo-deformación de la barra de 1/2"	101
Tabla 4.10. Resultados del ensayo de extracción con barra de 3/8"	102
Gráfico 4.8. Esfuerzo-deslizamiento de la probeta 1.1.	103
Gráfico 4.9. Esfuerzo-deslizamiento de la probeta 1.2.	103
Gráfico 4.10. Esfuerzo-deslizamiento de la probeta 1.3.	103
Tabla 4.11. Resultados del ensayo de extracción con barra de 1/2"	104
Gráfico 4.11. Esfuerzo-deslizamiento de la probeta 2.1.	105
Gráfico 4.12. Esfuerzo-deslizamiento de la probeta 2.2.	105
Gráfico 4.13. Esfuerzo-deslizamiento de la probeta 2.3.	105
Tabla 4.12. Esfuerzos de adherencia correspondiente al esfuerzo de la barra capaz de producir un deslizamiento de 0,1 mm	106
Tabla 4.13. Esfuerzos últimos de adherencia	106
Gráfico 4.14. Esfuerzo-deslizamiento con barra de 3/8"	107
Gráfico 4.15. Esfuerzo-deslizamiento con barra de 1/2"	107
Foto 4.5. Colocación vertical de la probeta de la mezcla 1	108
Foto 4.6. Probeta de la mezcla 1 caída	108
Foto 4.7. Falla por rotura del mortero	109
Foto 4.8. Espacios vacíos resultante de la compactación	109

I. INTRODUCCION.

La tierra como material de construcción ha sido usada en todos los lugares y en todos los tiempos. Los hombres se familiarizaron con sus características y aprendieron a mejorarlas agregándole algunas fibras vegetales o algunas ramas como refuerzo para consolidar su resistencia. Una variedad del uso de la tierra en combinación con otros materiales, principalmente de origen vegetal es el bahareque.

En los tiempos modernos se ha reemplazado la tierra por otros materiales, como el acero y el concreto. Sin embargo, la crisis ecológica, energética y económica a escala mundial, ha generado el resurgimiento de materiales y métodos alternativos que ofrecen mayores posibilidades de ahorro económico y protección del medio ambiente. Además, el gran crecimiento de la población trae como consecuencia un incremento en la demanda de viviendas; tal es el caso de Venezuela donde el 65% de la población vive en condiciones de pobreza¹ y la falta de las mismas es un flagelo que azota a los sectores más necesitados de la población, que las construyen sin ninguna normativa que garantice la seguridad de sus habitantes.

Por esta razón resurge el interés de utilizar la tierra como una alternativa para la construcción de viviendas por ser un recurso abundante, económico, de buenas referencias para la construcción, accesible para familias de pocos recursos ó cuya ubicación geográfica las hace de difícil acceso.

La tecnología de suelo-cemento está basada en la utilización de suelo (tierra) estabilizado con cemento, como materia prima para la elaboración de los bloques que conforman la mampostería estructural de las viviendas. De esta forma se obtiene una estructura sin pérdida de la capacidad resistente de la mampostería, disminuyendo los costos de transporte de material; logrando a la vez una construcción sólida y de gran calidad en su entorno ambiental.

¹ Instituto Nacional de Estadística (INE) línea de pobreza 2do semestre del 2003.
<http://www.mipagina.cantv.net/jbhuerta/pobreza.htm>

El suelo-cemento, conocido también como suelo estabilizado, se define como el material producto de mezclar, compactar y curar la unión de suelo, cemento y agua en proporciones adecuadas, para formar un material endurecido con las propiedades requeridas en ingeniería de construcción². El suelo junto al cemento mejora sus propiedades físicas, fortalece los enlaces existentes entre las partículas del suelo, reduce la porosidad y permeabilidad; mejora las características mecánicas del material y minimiza su sensibilidad a la acción del agua.

El estudio del suelo-cemento como material constructivo, específicamente en la fabricación de bloques aligerados para la construcción de viviendas es parte de una línea de investigación de nuevos materiales y técnicas de construcción desarrollada por el Departamento de Ingeniería Estructural de la Universidad Central de Venezuela. Como resultado de investigaciones anteriores, se dispone de un diseño de mezcla, metodología de fabricación y construcción de un muro confinado externamente de bloques aligerados de suelo-cemento como un sistema constructivo.

Como complemento a lo ya existente se propone en esta investigación evaluar la adherencia entre las barras de acero corrugado usado como refuerzo y el mortero de suelo-cemento. Se hará este análisis utilizando como variables dos diferentes diámetros de cabillas y para el mortero el mismo diseño de mezcla utilizado en la fabricación de bloques aligerados propuesto en trabajo anterior³; para ser utilizado como complemento en el estudio de factibilidad y ver si se puede construir un muro trabado con bloques aligerados de suelo-cemento confinado internamente donde se sustituirá la columna del muro confinado externamente por bloques trabando los mismos en conjunto con una barra de acero colocada verticalmente y vaciada con la misma mezcla de suelo-cemento.

² Instituto Colombiano del Cemento Pórtland. "Suelo-Cemento, un material con muchas aplicaciones". Boletín N° 139. Enero-Febrero/1991.

³ Rodríguez, L y Simonpietri, M. (2002). Diseño de mezcla para su uso en la fabricación de bloques aligerados de suelo-cemento. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.

Para evaluar la adherencia se realizará el ensayo de extracción o ensayo “Pull out” que consiste en la extracción de una barra de acero de un volumen de material de suelo-cemento que la contiene. Esto se logra por medio de la aplicación de una carga axial en la barra, a través de la prensa universal, la cual se valorará los esfuerzos de adherencia correspondientes al esfuerzo en el acero capaz de producir un deslizamiento. Dichos resultados serán comparados con otros materiales de construcción.

OBJETIVO GENERAL.

- Evaluar la adherencia entre barras de acero corrugado y mortero de suelo-cemento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Valorar el esfuerzo de adherencia existente entre barras de acero corrugado y mortero de suelo-cemento a través del ensayo de extracción.
- Comparar los resultados obtenidos en casos similares con otros tipos de materiales.

II. MARCO TEÓRICO.

1. SUELO-CEMENTO. DEFINICIÓN.

El suelo-cemento está definido por el American Concrete Institute, en sus publicaciones especiales sobre terminología del cemento y hormigón, como una mezcla de suelo y cantidades medidas de cemento Pórtland y agua, compactada a alta densidad. Puede ser definido en forma más amplia como el material producto de mezclar, compactar y curar una mezcla de suelo-agregado, cemento Pórtland y posibles ingredientes, incluyendo puzolanas, y agua para formar un material endurecido con específicas propiedades ingeniérriles. El suelo-cemento es algunas veces nombrado con otros términos, tales como estabilización de suelo, base de agregado tratado con cemento y tierra compactada.

2. APLICACIONES⁴.

2.1. Pavimentos.

El suelo-cemento tiene su aplicación más importante como sub-base y base de pavimentos de hormigón y bituminosos y en superficies de estacionamiento y caminos rurales y vecinales.

Desde 1930, en que fue empleado como un medio para estabilizar suelos locales y proveer caminos y material económico para bases de caminos, ha sido construido el equivalente de 161 000 km. de pavimentos de suelo cemento de 7,30 m de ancho (datos correspondientes a los EE.UU.).

Pavimentos flexibles fallidos han sido reciclados con cemento dando como resultado una nueva base de suelo cemento. El reciclado incrementa la resistencia de la base sin necesidad de reemplazar los materiales de base y súbbase por otros nuevos

⁴ Instituto Colombiano del Cemento Pórtland. "Suelo-Cemento, un material con muchas aplicaciones". Boletín N° 139. Enero-Febrero/1991.

a un costo elevado. Por otra parte los niveles del camino y de sus drenajes pueden ser mantenidos sin crear nuevos problemas. Si la vieja superficie bituminosa puede ser fácilmente pulverizada el material así obtenido puede considerarse satisfactorio para incluirlo en el nuevo suelo-cemento. Si por el contrario la superficie bituminosa conserva en gran parte su original flexibilidad, deberá ser removida más bien que incorporada al nuevo suelo-cemento.

2.2. Protección de taludes.

Una rápida expansión de los proyectos sobre recursos hídricos se experimentó en las regiones de Great Plains y South Central de los Estados Unidos de Norteamérica, después de la II Guerra Mundial. Revestimientos de fragmentos de roca sueltos (rip rap) de satisfactoria calidad no eran posibles en estos proyectos por la falta de rocas en la zona y el alto costo del transporte desde los lugares en los que era posible obtenerlas. El Bureau of Reclamation de los Estados Unidos (USBR) inició una investigación para estudiar la posibilidad del suelo-cemento como alternativa del rip rap convencional.

Basado en estudios de laboratorio que indicaban que el suelo-cemento elaborado que indicaban que el suelo-cemento elaborado con suelos arenosos podía dar lugar a un revestimiento resistente a la erosión de las aguas y durable, el USBR construyó en 1951 una sección de ensayo a escala natural. Esta sección fue ubicada en la playa sureste del lago de la presa Bonny en el este de Colorado, por las severas condiciones de servicio creadas por las olas y la nieve, con más de cien ciclos de congelación y deshielo a lo largo del año.

Después de diez años de observar el comportamiento de la sección de ensayo el USBR se convenció de su conveniencia y en 1961 especificó suelo-cemento para la protección de taludes en las presas de Merrit en Nebraska y luego en la de Cheney en Kansas. El suelo-cemento fue licitado por un importe inferior al 50% del costo del

rip rap tradicional y produjo una economía de más de u\$ un millón en los dos proyectos. Desde estos primeros proyectos, cientos de protecciones de taludes con suelo cemento fueron proyectadas y construidas, incluyendo 12 grandes proyectos para el USBR con casi 700 000 m³ de suelo cemento.

Para taludes expuestos a la acción de oleajes moderados a severos o de corrientes arrastrando materiales sólidos, el suelo cemento suele construirse en sucesivas capas horizontales superpuestas con un ancho de 1,80 m a 2,70 m y espesores de 15 cm. a 22,5 cm. Se le suele denominar protección escalonada.

Para aplicaciones con acciones menos severas en pequeños lagos, lagunas, acequias, la protección de taludes puede consistir en una capa de suelo-cemento con un espesor de 15 a 22,5 cm colocada como revestimiento superficial y así denominada.

El más grande proyecto de protección de taludes con suelo-cemento en el mundo fue realizado en un estanque de 2835 Ha. utilizado para el enfriamiento del agua en la planta de energía nuclear cerca de Houston en el sur de Texas. El proyecto involucró la utilización de 918 000 m³ de suelo cemento. Terminados en 1979, los terraplenes de 12 a 15 m de altura fueron diseñados para soportar la acción de un oleaje de una altura de 4,6 m provocado por vientos huracanados de hasta 250 Km/h. Además de 21 Km. de terraplenes exteriores, cerca de 11 Km. de diques interiores con una altura promedio de 8 m guían la recirculación del agua en el interior del reservorio.

Para dar una idea más acabada de la magnitud de este proyecto el volumen de suelo-cemento colocado en forma de capas escalonadas alcanzaría para la construir una base para caminos de 0,20 m de espesor y 7,20 m de ancho, de algo más de 600 km.

La construcción de revestimientos con suelo-cemento para evitar la erosión de taludes es actualmente una práctica muy generalizada.

2.3. Revestimientos.

El suelo-cemento se ha utilizado por más de 30 años como un material de revestimiento de baja permeabilidad. Durante la década de 1980 fueron revestidos con suelo-cemento estanques de hasta una hectárea, en el sur de California, con espesores de 10 a 15 cm.

Varias superficies para el almacenamiento de carbón fueron construidas con suelo-cemento. En 1983, 38 ha. para el acopio de carbón fueron estabilizadas con 300 mm de suelo-cemento construido en dos capas compactadas de 150 mm cada una. El trabajo fue realizado para la Independence Steam Electric Station, cerca de Newark, Arkansas.

Estabilizado esa superficie con suelo-cemento, el propietario podía eliminar el colchón de carbón en contacto con el suelo, con una economía resultante estimada de u\$ 3 millones. Entre otras ventajas estaban la reducción del peligro de incendios y acceso en cualquier época del año del equipo de operación.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha patrocinado ensayos de laboratorio para evaluar la compatibilidad de un número de materiales de revestimientos expuestos a la acción de varios desechos. Los ensayos indicaron que después de un año de exposición a las filtraciones de desechos municipales sólidos, el suelo-cemento había endurecido apreciablemente y podían cortarse cilindros como en el hormigón de cemento Portland. También disminuyó su permeabilidad durante el período de ensayo.

El suelo-cemento fue también expuesto a varios peligrosos desechos incluyendo pesticidas, tóxicos farmacéuticos, caucho y plásticos.

Los resultados indican que a pesar de la acción de estos peligrosos desechos no se han producido filtraciones en el suelo-cemento en los dos años y medio del ensayo. Después de 625 días de estar expuesto a la acción de estos desechos, la resistencia a la compresión del suelo-cemento excedía la obtenida en muestras que no habían sido sometidas a esa acción.

El suelo-cemento no fue expuesto a la acción de desechos ácidos. Su comportamiento fue registrado como regular sometido a la acción de barros plásticos de petróleo, indicando la necesidad de ensayos previos antes de someterlos a acciones de este tipo.

Para desechos peligrosos y otros imponderables donde se requiera la máxima protección contra las filtraciones, un revestimiento consistente en un suelo-cemento y una membrana sintética puede ser usado. Una sección de ensayo fue construida en 1983 cerca de Apalachín, Nueva York, para demostrar la posibilidad de construcción de esta solución. La sección consistía de un polietileno de alta densidad, colocado entre dos capas de suelo-cemento de 15 cm. de espesor cada una. Después que la capa superior de suelo-cemento fue compactado, la inspección de la membrana mostró que no había sufrido daños, aún considerando que el suelo empleado en la capa inferior tenía partículas de hasta 19 mm.

2.4. Estabilización de fundaciones.

El suelo-cemento ha sido usado como relleno masivo para constituir fundaciones resistentes y de soporte uniforme bajo grandes estructuras. Se ha empleado en lugar de pilotes o cajones de fundación para un edificio de 38 pisos terminado en 1980, en Tampa, Florida.

Un manto de roca calcárea conteniendo varias cavidades inmediatamente debajo del edificio hacía dificultosa la construcción de pilotes o cajones de fundación. La alternativa para construir la fundación fue excavar el suelo debajo del edificio a construir hasta la parte superior del manto calcáreo. Las cavidades del manto calcáreo fueron rellenas con hormigón pobre para proveer una superficie de soporte uniforme antes de colocar el suelo cemento. Las arenas finas excavadas se utilizaron para la elaboración del suelo cemento con el cual se relleno la excavación realizada. El relleno de suelo-cemento de 3,6 m permitió obtener una economía de u\$ 400 000 con respecto a la solución que contemplaba el uso de pilotes o cajones para la fundación.

Además de proveer el soporte necesario a la fundación del edificio facilitó las operaciones necesarias para la colocación de los encofrados necesarios para la construcción del edificio.

En la represa de Chochiti, situada en el centro norte del Estado de New México, una hondonada de 10, 7 m de profundidad con esquistos arenosos de baja resistencia ubicada debajo de los conductos de descarga a construir, fue reemplazada por 44 100 m³ de suelo cemento. Con la colocación de este masivo volumen de suelo-cemento se reemplazó un material poco resistente por otro de propiedades físicas similares a las de los esquistos arenosos circundantes, minimizando el riesgo de asentamientos diferenciales a lo largo de los conductos de descarga. La resistencia a la compresión del suelo cemento a los 28 días fue de 7 MPa, similar a la de los esquistos arenosos.

En 1984 el suelo-cemento fue usado, en lugar de hormigón masivo, para la fundación de un aliviadero de 385 m de ancho en la presa de Bichland Greek cerca de Forth Worth, Texas. Alrededor de 3 m de sobrecarga sobre un estrato de roca sólida fue removido y reemplazado por 80 890 m³ de suelo-cemento. Para satisfacer el requerimiento de resistencia a la compresión de 7 MPa el suelo-cemento llevó un

contenido de 10 % de cemento. La utilización de suelo cemento en cambio de hormigón masivo involucró una economía de u\$ 7,9 millones.

2.5. Otras aplicaciones del suelo cemento.

Tierra compactada es otro nombre con el cual se suele referir al suelo-cemento empleado en la construcción de paredes de edificios para viviendas. Las paredes de tierra compactada se construyen colocando suelo-cemento humedecido en encofrados comúnmente hechos con tablas de madera separadas, del espesor de la pared por grampas o separadores especiales. El suelo cemento es colocado dentro del cofre y compactado en capas horizontales de 10 a 15 cm de espesor. Una vez removido el encofrado el suelo cemento puede ser pintado o estucado. El suelo-cemento compactado tiene excelentes condiciones de aislamiento térmico. El contenido de cemento será fijado en cada caso con los ensayos correspondientes. El Instituto Provincial de Desarrollo Urbano y la Vivienda del Chaco conjuntamente con el Instituto del Cemento Pórtland Argentino han ideado el sistema constructivo denominado SU – MA que utiliza el suelo-cemento para la construcción de las paredes de viviendas de 0,20 m de espesor.

Entre otras aplicaciones no corrientes del suelo-cemento, se puede citar la construcción de muros de sostenimiento en las Lomas del Valle en México.

Estos muros alcanzaron alturas, en sus paramentos exteriores, de más de 17 m. En un primer análisis el costo del muro de suelo-cemento resultó un 40 % del correspondiente a un muro convencional de hormigón con contrafuertes.

Recientemente el Texas State Department of Highways and Public Transportation ha especificado que el relleno detrás de los muros de sostenimiento debe realizarse con suelo-cemento, como precaución contra una posible erosión por acción de las aguas.

Otras aplicaciones del suelo-cemento consisten en el revestimiento de taludes en silos subterráneos para el almacenamiento de cereales y aún en silos elevados.

Actualmente, el suelo-cemento es utilizado en la fabricación de ladrillos y bloques. Es una excelente alternativa para la construcción de viviendas de interés social. Este mismo, después de un pequeño periodo de cura, presenta una resistencia a la compresión similar a otros bloques.

3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL SUELO-CEMENTO⁵.

Las construcciones de suelo-cemento, así como las de cualquier otro material, presentan una serie de ventajas y desventajas. En función de ellas las características de la obra y su ubicación, resultara conveniente o no del uso de este tipo de técnica. Algunas de esta son:

Ventajas.

- Economía.
- Simplicidad en la construcción.
- Aislamiento térmico y acústico.
- Producción con poco o ningún consumo de energía eléctrica.

Desventajas.

- Durabilidad (erosión, humedecimiento).
- Poca resistencia frente a los desastres naturales como sismo e inundaciones
- Aceptación social.

⁵ Instituto Eduardo Torraja. La Tierra Material de Construcción. Monografía N° 385/386. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid. 1987.

La tecnología moderna ha estado desarrollando en las últimas décadas materiales nuevas, propias de países industrializados. Menos esfuerzo se ha invertido en la solución o control de las deficiencias de los materiales primitivos o naturales, más propios de los países del tercer mundo.

Una revisión del listado de ventajas y desventajas presentado, permite concluir que las primeras son cada vez mas importantes en el mundo de hoy y las segundas son superables con el auxilio de nuevos conocimientos técnicos y programas educativos de apoyos estatales.

4. SUELO-CEMENTO Y EL IMPACTO AMBIENTAL⁶.

Si bien el suelo-cemento puede llegar a ser una solución a los problemas de necesidad de vivienda de bajos costo en algunos países, no se debe descuidar el impacto que esto puede ocasionar sobre el medio ambiente, si no se hace de una forma controlada y supervisada.

Al hablar de construcciones masivas en suelo cemento, se esta hablando de grandes volúmenes de tierra que deben ser utilizados, movimientos que deben estar bien regulados para mantener un control y un desarrollo sustentable de nuestras tierras. Por ello, no es recomendable realizar este proceso sin un estudio de impacto ambiental, que determine la factibilidad o no de la obra, basado en los beneficios de la colectividad.

Es allí, donde el ingeniero juega un rol primordial, pues de su criterio y su conciencia depende que el resultado final del proceso sea el mejor, tanto en la calidad de la obra, como en los daños que este genere al ambiente sean los mínimos posibles,

⁶ Rodríguez, L y Simonpietri, M. (2002). Diseño de mezcla para su uso en la fabricación de bloques aligerados de suelo-cemento. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.

pues se debe recordar que el suelo se agota y somos nosotros los encargados de cuidarlo y darle el mejor uso.

5. DISEÑO DE MEZCLA.

5.1. Efectos del Cemento Sobre la Mezcla⁷.

5.1.1. Resistencia a la compresión.

Las mejoras en la resistencia a la compresión pueden, dependiendo del suelo tratado, evolucionar de manera diferente según el contenido de cemento. El aumento en la resistencia puede ser rápido con bajos contenidos de cemento, o puede ser proporcional al contenido de cemento o puede ser que para bajos contenidos de cemento se presente disminución de la resistencia.

5.1.2. Disminución de la resistencia en presencia del agua.

El principal propósito de la estabilización de la mezcla con el cemento es lograr una neutralización a la acción de agua. Esto es logrado si se obtiene una disminución de la resistencia mecánica la cual sea aceptable, luego de sumergir el bloque en el agua.

La sensibilidad al agua del material tratado aumenta con el índice plástico de la tierra, mientras que una compactación adecuada y un contenido de cemento moderado, logra disminuir notablemente la sensibilidad al agua.

5.1.3. Variaciones proporcionales en presencia de agua.

La estabilización con el cemento disminuye la contracción en el secado y el crecimiento de la humedad de las unidades. Con tan solo un 5% del contenido de

⁷ Gasparini G, Margolies L. "Arquitectura de Tierra Cruda en Venezuela". Armitano Editores, C.A. 1998.

cemento se logra una contracción lineal inferior al 1% por lo tanto este efecto reduce los riesgo de fisura que se produce en la unidad. Un contenido superior a este no aporta una disminución sustancial a la contracción. Es por esta razón que los bloques de suelo-cemento adquieren una buena resistencia a la acción de la alternancia cíclica del contenido de agua.

5.1.4. Erosión.

El uso del cemento como elemento estabilizante mejora la resistencia de la tierra a la erosión, la cual es producida por la acción de las lluvias. La erosión no se encuentra ligada directamente a la resistencia mecánica, un bloque de tierra resistente a la compresión puede desagregarse rápidamente o a la inversa. Un elemento estabilizado con cemento o no, resiste mas a la acción de la lluvia cuando este contiene granos mas gruesos en su composición es por esto que la granulometría representa un papel importante dentro de la estabilización frete a la acción de la lluvia. Este efecto ha sido estudiado por J.M. Gresillon en una publicación del ITBTP en el año de 1976 (Nº 339).

5.2. Componentes del Suelo-Cemento⁸

5.2.1. Suelo.

Debe ser seleccionado “in situ” para no incrementar los costos de transporte en la elaboración del suelo-cemento.

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, limo y arcilla y deberá tener buenas aptitudes para ser compactado.

⁸ Rodríguez, L y Simonpietri, M. (2002). Diseño de mezcla para su uso en la fabricación de bloques aligerados de suelo-cemento. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.

La composición y las propiedades mecánicas del suelo varían según su ubicación, por lo tanto es necesario hacer los siguientes estudios para seleccionar adecuadamente el material:

- Pruebas de campo.
- Ensayo de Granulometría.
- Ensayo de Sedimentación.
- Límites de Atterberg.
- Pruebas Proctor.

En general, se consideran suelos adecuados para construcciones en suelo-cemento, aquellos que contienen como mínimo 45% de arena y 55% de limo y arcilla y como máximo 80% de arena con 20 % de limo y arcilla.

En caso de poder contar con suelos arenosos se los escogerá por ser los que producen mejor resultados al ser estabilizados, siendo la proporción óptima un 75% de arena y 25% de limo y arcilla, donde el porcentaje de arcilla sea inferior al 10%.

Ciertos componentes pueden tener una acción física química perjudiciales sobre la acción del cemento, como por ejemplo las materias orgánicas, los sulfatos, los óxidos e hidróxidos metálicos.

De acuerdo al autor Hays Dota, en su libro “Construir con Tierra”, publicado en Colombia en 1990, el suelo óptimo a ser utilizado en la fabricación de suelo-cemento debe estar comprendido entre dos curvas límites, acercarse a la curva ideal y ser más o menos paralelas a ella, especialmente en la zona de los limos. Curva que se presenta a continuación:

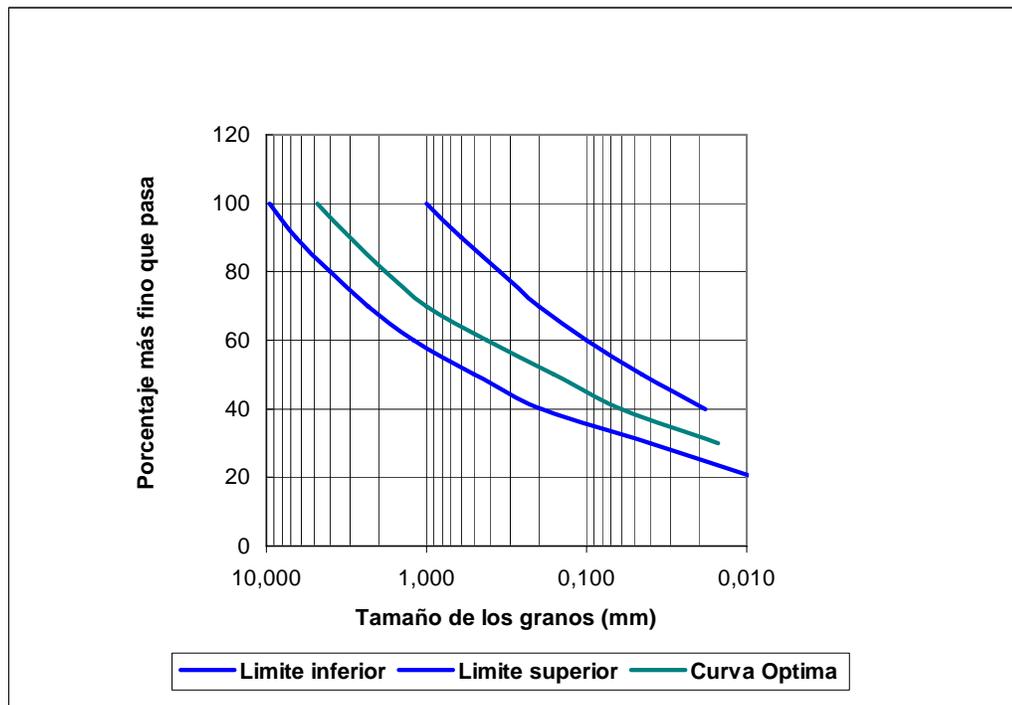


Gráfico 2.1. Curva óptima y curvas límites.

5.2.2. Cemento.

Para mejorar la propiedad física de la tierra es necesario agregar un estabilizante que permita al suelo responder satisfactoriamente a las exigencias impuestas por la obra.

Con este proceso se mejora los enlaces existentes entre las partículas del suelo y se reduce la porosidad y permeabilidad del suelo. También mejoran las características mecánicas del material y reduce su sensibilidad a la acción del agua: crecimiento y contracción, reducción de las cualidades de cohesión rigidez y erosión.

La presencia del cemento crea entre las partículas mas gruesas de los suelos (arena y limos) enlaces mecánicamente resistentes aun cuando el material se encuentre posteriormente en presencia de agua, de esta forma es como conserva las características aportadas por la compactación. Sin embargo, una compactación o una

granulometría inadecuada pueden volver totalmente ineficaz la acción del cemento; la estabilización en este caso habrá sido totalmente inútil con la consiguiente degradación del material.

El cemento utilizado es el Pórtland Tipo I. Utilizar cemento de alta resistencia es contra indicado, debido a que es mas costosos y su empleo en la estabilización no representa mejoras considerables, además, en su gran mayoría son altamente sensibles a la acción del aire, dificultando su empleo. Los cementos con altos contenido secundarios (cemento: Pórtland de hierro, altos hornos y metalúrgicos mixtos) son muy delicados en cuanto al curado se refieren.

Los valores usuales del contenido de cemento vienen expresados en porcentaje de peso de suelo. Estos oscilan entre el 5% y 15%

Los porcentajes antes mencionados, deben ajustarse según sea la clase de suelo que se emplee, siendo una referencia para ello el siguiente cuadro⁹:

Clase de suelo	Porcentaje de cemento
Arenoso	4.75 – 9.10
Limoso	8.35 – 12.50
Arcilloso	12.50 – 15.40

Tabla 2.1. Porcentaje de cemento de acuerdo al tipo de suelo.

5.2.3. Agua.

El agua de mezclado cumple dos funciones: hidratar el cemento y proporcionar fluidez a la mezcla. El agua es uno de los componentes más importantes ya que define la trabajabilidad y el grado de compactación de la mezcla.

⁹ Dota, P., Hays y otros. Construir con Tierra. Fondo Rotatorio Editorial FEDEVIVIENDA. Tomo I y II. Colombia 1990.

La cantidad de agua necesaria viene dada por el ensayo de compactación en donde la humedad óptima es la indicada para obtener la mejor compactación posible. Este valor es variable para cada tipo de suelo por eso es necesario realizar un estudio completo del suelo antes de elaborar el suelo-cemento

. Se descartara en principio ciertas impurezas en el agua que pueden causar alteraciones en las propiedades de la mezcla. Estas impurezas pueden estar en forma de solución (azúcares, sales como carbonatos, cloruros y sulfatos, ácidos) o de suspensión (aceite, material vegetal, limos arcillas). En general el agua de mezclado debe estar libre de contaminantes que puedan reaccionar negativamente con el cemento.

6. LA ADHERENCIA. DEFINICIÓN.

La adherencia, en su forma más general es la unión de dos cuerpos cualesquiera. Para que esta unión sea efectiva, es necesario que entre los dos cuerpos se desarrollen fuerzas de cohesión, que actúen entre las moléculas de uno y de otro y que se encuentren situadas en la superficie de contacto.

Sin embargo, quizás la definición más conocida de adherencia y con la que estamos más familiarizados, no es la definición del fenómeno como tal sino la de los esfuerzos que origina y que hemos denominado esfuerzo de adherencia. En este sentido, recordemos que al aplicar este concepto en el estudio de la adherencia entre la barra de acero corrugado y el suelo-cemento, entendemos por esfuerzo de adherencia, los esfuerzos que se desarrollan entre ellos y que se oponen al deslizamiento relativo de ambos materiales; o también, llamamos esfuerzo de adherencia, las fuerzas unitarias de corte que actúan en dirección paralela a la barra de acero y la superficie de contacto entre esta y el suelo-cemento.

7. TIPOS DE ADHERENCIA.

7.1. Adherencia por Adhesión.

La adherencia por adhesión se conoce relativamente poco; sin embargo, quizás encontremos al menos una explicación lógica si analizamos en el concreto la estructura interna de cada uno de los componentes, en particular la de la pasta de cemento que los une.

El agregado, tanto grueso como fino, tiene generalmente una estructura a base de enlaces covalentes que desarrollan una gran atracción entre los átomos que unen, y son, por lo tanto, difíciles de romper. El acero posee una estructura constituida por enlaces metálicos que permiten grandes deformaciones sin romperse, ya que la fuerza de atracción que este tipo de enlace es capaz de desarrollar, no depende de la orientación relativa de los átomos que lo integran. El tercer componente, la pasta de cemento cuya estructura interna se admite que está constituida a base de enlaces terciarios o fuerzas de Van der. Waals, es el más débil de los enlaces pero tiene las características de no ser un enlace discriminante. Es fundamentalmente esta última característica, la que permite la unión de materiales tan distintos como son los agregados y el acero, cualquiera que sea su forma y condición superficial, dando lugar a que se desarrollen fuerzas de adhesión entre ambos.

Este rápido análisis permite dar una explicación del por qué este tipo de adherencia por adhesión es tan débil e incapaz y según algunos autores se desarrollan esfuerzos inferiores a los 10kg/cm^2 .

7.2. Adherencia por Fricción.

La adherencia debida a la fuerza de fricción, incrementadas por fuerzas laterales internas y que ha sido ampliamente estudiado por el profesor Leonhardt¹⁰, quien considera que esta compresión lateral puede incrementarse en primer término, por la retracción del concreto, posteriormente al someter el elemento de concreto armado a sollicitaciones de flexión mediante la aplicación de una sobrecarga, en la zona del elemento sometido a tracción, se producirán fuerzas de compresión lateral entre el concreto y el acero aún en el estado I (prefisuración). Estas fuerzas de compresión desaparecen al aparecer la primera grieta, ya que en este momento los esfuerzos longitudinales del concreto en la sección de la grieta, se anulan. Simultáneamente aumentan los esfuerzos de tracción en el acero y se produce una contracción lateral de la barra que da origen a esfuerzos laterales de tracción que disminuyen, tanto la adherencia por adhesión como la adherencia por fricción. Al aumentar la carga, aumenta la deformación del elemento y por lo tanto aparecen en la sección agrietada, nuevas fuerzas verticales de compresión entre el concreto y la parte superior de la barra en contacto con él. Esta compresión que será mayor a medida que aumenta la deformación, da origen a un incremento notable de lo que hemos llamado adherencia por fricción.

7.3. Adherencia por Interacción Mecánica.

La interacción mecánica es el tipo de adherencia más importante en barras corrugadas y es producto del esfuerzo cortante generado por las nervaduras tanto transversales como longitudinales sobre el concreto. Este tipo de adherencia se ha mejorado en los últimos años por la inminente necesidad de aumentar la adherencia acero-concreto para aprovechar al máximo la capacidad resistente de los aceros especiales, sin que origine excesivos agrietamientos.

¹⁰ F. Leonhardt. On the need to consider the influence of lateral stresses on bond. Symposium on bond and crack formation in reinforced concrete. RILEM-1957.

8. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADHERENCIA DESARROLLADA EN ENSAYOS DE EXTRACCIÓN.^{11,12}

8.1. Características del Concreto.

8.1.1. Resistencia.

La gran mayoría de los autores coinciden en afirmar que a medida que se aumenta la resistencia del concreto, se produce un incremento en los esfuerzos de adherencia que es capaz de desarrollar una barra que está embebida en él. Sin embargo, como veremos a continuación, no existe una expresión única que establezca la relación que existe entre ambos factores.

El profesor Ferguson (1962) expresa que la resistencia por adherencia aumenta al aumentar la resistencia del concreto, aproximadamente en una proporción igual a $\sqrt{\gamma'br}$. Esta relación es similar a la obtenida al estudiar la influencia de la resistencia del concreto sobre la resistencia a esfuerzo cortante. Sin embargo, el profesor Baus (1965) en base a ensayos realizados en vigas, establece que la ley que define las variaciones de los esfuerzos de adherencia “u” en función de la resistencia del concreto, es de la forma:

$$u = a(\gamma br - 250) + \mu 250$$

donde: “a” es un coeficiente experimental cuyo valor es 0,2; $\mu 250$ el esfuerzo límite de adherencia de la barra, determinado con un concreto cuya resistencia a compresión en probeta cúbica es de 250kg/cm².

¹¹ Ramos, Carlos. Algunas consideraciones acerca de la adherencia acero-concreto. Trabajo de Ascenso. Universidad Central de Venezuela. 1967.

¹² Fernández, Marylena. Estudio sobre los esfuerzos de adherencia desarrolladas entre el acero y el concreto con cabillas de diámetro 3/8”, 1/2”, 5/8”, 3/4” y 1”. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. 1991.

8.1.2. Relación agua-cemento.

Debido a la influencia que tiene la resistencia del concreto en el desarrollo de los esfuerzos de adherencia y por consiguiente el papel primordial que juega la relación agua/cemento en la obtención de determinadas resistencias, se hace indispensables tener un control estricto en dicha relación, para lograr el máximo de esfuerzos de adherencia.

8.1.3. Cemento.

Los esfuerzos de adherencia en un determinado concreto constituido por cemento Pórtland de escoria o cemento punzolánico es de un 25% a un 75% más débil que un concreto a base de cemento Pórtland normal. Por otro lado, un cemento en exceso conduce a una disminución en los esfuerzos de adherencia, debido a que la retracción del concreto aumente, produciéndose por ende agrietamiento interno de la pasta.

8.1.4. Agregados.

Una acertada proporción granulométrica permitirá un incremento en los esfuerzos de adherencia por fricción.

8.1.5. Recubrimiento.

A mayor espesor entre el eje de la cabilla y la superficie del elemento, mayor será la adherencia cabilla-concreto, ya que disminuye la tendencia a que se produzca agrietamiento longitudinal del concreto.

En pruebas realizadas Ferguson (1962 y 1965), señalan que aunque es imposible generalizar conclusiones se ha observado, que un aumento del recubrimiento tiene una considerable influencia en la resistencia por adherencia, ya

que disminuye la posibilidad de una falla por hendimiento longitudinal del concreto. Se observa un incremento de 3 Kg/cm² por cada centímetro de incremento en el recubrimiento para barras de 3/8" y 7/8", este aumento no es tan grande para barras de mayor diámetro, pero sin embargo, para espesores de hasta 8 centímetros se observa un incremento en la resistencia última por adherencia.

8.1.6. Forma de vaciado.

La forma como se lleva a cabo el vaciado de las probetas de extracción tiene una influencia muy marcada sobre los esfuerzos de adherencia. Es así, que en los casos donde las probetas se vacían verticalmente y en sentido contrario al de la aplicación de la carga, se pudo observar en investigaciones anteriores, que los esfuerzos de adherencia son mayores que los obtenidos en el caso cuando se vacían en forma vertical, pero en el mismo sentido en que se aplique la carga. Esto ocurre debido a que en el primer caso la interacción entre las estrías y el concreto se sucede inmediatamente aplicada la carga; sin embargo, en el otro caso no lo es puesto que la barra desliza antes de producirse la interacción a que las caras de choque de las estrías con el concreto se encuentran frente a las cavidades que tienden a formarse bajo las mismas, al vaciar en dirección vertical.

8.1.7. Edad.

La adherencia aumenta con la edad casi en la misma proporción que la resistencia a la compresión.

8.2. Características del Acero.

8.2.1. Forma de la barra.

Desde un principio se observó que las barras de sección circular son más eficaces que cualquier otra forma de refuerzo y en cuanto a los deslizamientos son las que más tardan en comenzar a hacerlo. Además los esfuerzos máximos de adherencia que es capaz de desarrollar una barra, disminuyen al aumentar al diámetro.

8.2.2. Corrugaciones o estrías de la barra.

La adherencia aumenta al aumentar el número de corrugaciones en las barras y además, las corrugaciones transversales resultan mucho más eficaces que las longitudinales.

Las barras corrugadas o estriadas tienen una capacidad muy grande de adherencia, debido a la conexión que ocurre entre las estrías y el concreto que las rodea. La resistencia por adherencia que se desarrolla entre dos estrías de una barra está asociada con los siguientes esfuerzos:

- Esfuerzos cortantes V_a , desarrollados por medio de adhesión a lo largo de la superficie de la barra.
- Esfuerzos de apoyo f_b , contra la cara de la estría.
- Esfuerzos cortantes V_c , que actúan en la superficie cilíndrica de concreto entre las estrías adyacentes.

Se puede obtener la relación entre estos esfuerzos y la fuerza por transmitir al concreto por adherencia en una longitud corta de barra entre los centros de las estrías de un recubrimiento simple de equilibrio, en la forma siguiente:

$$\Delta T = \pi \times db' (b + c) + \pi((db''^2 - db'^2)/4)f_b \approx \pi \times db \times c \times V_c.$$

En donde los términos están identificados en la figura 2.1.:

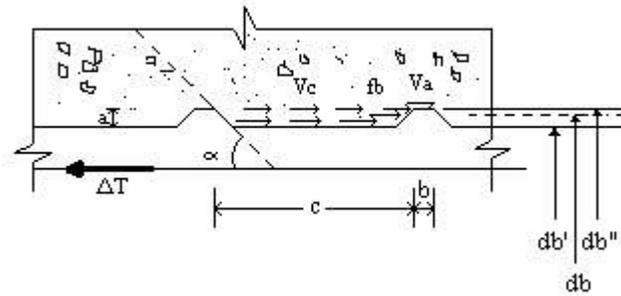


Figura 2.1. Esfuerzos entre dos estrías de una barra corrugada.

Cuando la carga aumenta, automáticamente la adhesión a todo lo largo de la superficie de la barra se pierde. La resistencia sobrante por contacto friccional resulta muy pequeña si se compara con la resistencia por apoyo desarrollada alrededor de las estrías; por consiguiente, se puede suponer para fines prácticos que el esfuerzo cortante $V_a = 0$. Es posible simplificar la relación entre las dos importantes componentes restantes del desarrollo de la fuerza de adherencia, f_b y V_c , como se muestra:

- Ya que $b \approx 0,1c$, el espacio de las estrías es aproximadamente c .
- Ya que $a \approx 0,05db'$ el área de apoyo de una estría es:

$$\pi(db''^2 - db'^2)/4 \approx \pi \times db \times a$$

en que db es el diámetro nominal de la cabilla en consecuencia se tiene que:

$$\Delta T = \pi \times db \times a \times fb \approx \pi \times db \times c \times Vc$$

por lo tanto,

$$Vc \approx (a/c)fb.$$

8.2.3. Perfiles de la barra y condición de su superficie.

La resistencia por fricción depende de las condiciones superficiales del acero. Así se desprende que la variación en la aspereza de la superficie es significativa, y no es de extrañas que en su mayoría muchos de los diseñadores y calculista prefieren utilizar acero en condiciones ligeramente oxidadas, tal como lo señalan Barrientos y Gómez en su trabajo: “Influencia del acero de refuerzo preoxidado en la durabilidad del concreto”(1989).

La variación en el ángulo α entre la cara de la estría y el eje de la barra al parecer no afecta la resistencia por adherencia cuando este ángulo es mayor de 70° (ver figura 2.1.). En los casos en que el ángulo α esta entre 45° y 70° , las corrugaciones deben invertirse en direcciones a cada lado o en los lados opuestos de la barra, según norma CCCA AC-103.

8.2.4. Posición de la barra durante el vaciado.

Cuando se vacían muestras de concreto armado, se ha determinado, la formación bajo las estrías de una capa esponjosa de concreto, por efecto de la ganancia de agua y sedimentación. Una vez que el concreto armado es cargado se producen mayores deslizamientos en esta zona ya que no opone la misma resistencia, sin embargo, habrá una tendencia al desarrollo de la misma carga última, así lo señala REM (1968).

La disposición de las barras es una de las variables que influye en los esfuerzos de adherencia que es capaz de desarrollar un elemento de concreto armado, por ejemplo, en las vigas, se espera tengan menor adherencia las barras superiores que las barras inferiores, ya que la ganancia de agua y aire es mayor bajo estas últimas.. por otro lado, el asentamiento de la mezcla fresca provoca un movimiento descendente relativo del concreto que rodea el cual puede ser grande. La cantidad de

asentamiento que se suceda dependerá del grado de segregación del concreto fresco lo cual conduce a que en la parte inferior se acumule el agregado grueso y la pasta se acumule en la parte superior. Las normas alemanas consideran esta disminución de adherencia, y exigen que los aceros corrugados colocados en la parte superior deben ser andados en una longitud doble de la utilizada para las cabillas horizontales situadas en la parte inferior del molde. REM (1965) verificó experimentalmente las exigencias de la norma añadiendo que la necesidad de una longitud de anclaje doble es independiente de la capacidad del concreto.

Los ensayos de Ferguson (1961) corroboraron lo anteriormente dicho, por medio de pruebas realizadas con vigas de pequeña altura, donde la profundidad máxima por debajo de la barra era del orden de 40 cms. y usando mezclas de concreto con asentamientos variables de 3 a 8 cms. Se pudo llegar a la conclusión que el factor de reducción de 0,7 propuesto por las normas del American Concrete Institute para las barras situadas en la parte superior es un valor aceptable.

8.2.5. Refuerzo transversal.

Es un factor que aumenta la resistencia de adherencia ya que actúa como confinamiento lateral en el concreto sometido a compresión. El acero transversal colocado a través de toda la estructura es óptimo para resistir tensiones diagonales, ya que el concreto por si sólo no es capaz de soportar fuerzas cortantes de magnitud considerable.

Es bueno mencionar que el refuerzo transversal incrementa la ductilidad, y su colocación en toda la estructura perpendicular al refuerzo principal tomando en cuenta las separaciones normalizadas, permiten cubrir posibles grietas que se formen en el elemento.

La colocación de los estribos adicionales, pueden conducir a un incremento en la resistencia por adherencia, los ensayos de Ferguson (1962 - 65) llevan a las siguientes conclusiones con respecto al refuerzo transversal:

- El esfuerzo límite de adherencia que es capaz de desarrollar una barra aumenta linealmente con el porcentaje de armadura transversal, este aumento puede llegar al 50% cuando se utiliza un porcentaje igual a 0,2% de armadura transversal.
- Resulta improbable que en una viga armada con estribos calculados para un esfuerzo cortante teórico se desarrollen esfuerzos de adherencia superiores a aquellos que se desarrollan en vigas sin estribos.

8.2.6. Barra cortada-doblada.

En general, interrumpir las barras en una zona de tracción produce una reducción en un 28% de la resistencia por adherencia, según lo expresa Ferguson (1962 – 65). En aceros con mayor límite elástico, el corte de los mismos disminuye la resistencia a corte, sin embargo; el doblado de la barra conlleva a un incremento adicional de la resistencia a corte. Es inconveniente que las barras que actúan a tracción sean cortadas, a menos que se utilicen abundantes estribos o que el esfuerzo unitario de corte calculado sea del orden de $0,01\gamma'b$ a $0,015\gamma'b$.

9. ENSAYO DE EXTRACCIÓN (ENSAYO PULL OUT).

El ensayo consiste en la extracción de una barra de acero de un volumen de material que la contiene (Figura 2.2.). Esto se logra por medio de la aplicación de una carga axial en la barra, la cual le produce esfuerzo de tracción y hace que el concreto que la rodea tome esfuerzos de compresión (Figura 2.3.).

Mientras que la barra es halada por un extremo la probeta se encuentra sostenida en la base del lado de la carga por un efecto de reacción distribuido

uniformemente. Estas diferencias de tensión en la barra y compresión en el concreto producen un deslizamiento relativo que representa la pérdida local de la adhesión. A medida que la carga aumenta, la longitud de barra sometida a esfuerzo aumenta, disminuyendo la adherencia por adhesión.

Estos esfuerzos de compresión alrededor de la barra proporcionan esfuerzos de adherencia superiores y que no son típicos en situaciones encontradas en estructuras. El efecto del concreto a compresión elimina las grietas por tensión transversal que son comunes en elementos sometidos a flexión y que son adversos en cuanto a adherencia se refiere.

Siguiendo con la hipótesis donde se asume una distribución uniforme de los esfuerzos de adherencia a lo largo de la interfase, es de hacer que mientras menor es la longitud de desarrollo de la barra, mayores aproximaciones se obtendrán con respecto a la adherencia en los ensayos de extracción.

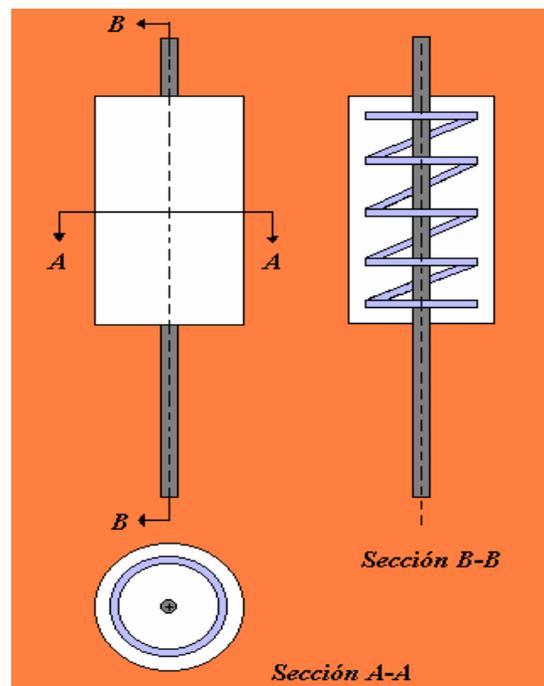


Figura 2.2. Probeta de ensayo de extracción.

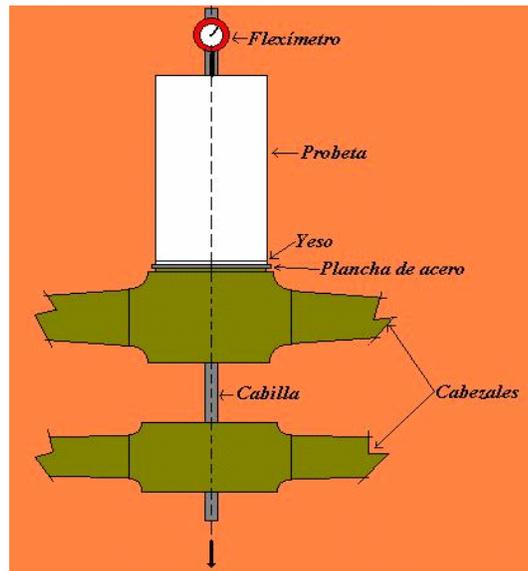


Figura 2.3. Ensayo de extracción.

El esfuerzo de adherencia es medido generalmente en Kg/cm². Los esfuerzos de adherencia se miden por la razón de cambio en la fuerza en las barras de refuerzo. El esfuerzo de adherencia no existe, a menos que los esfuerzos del acero cambien entre dos secciones cualesquiera. El esfuerzo de adherencia “u”, que se acostumbra a definir como una fuerza cortante por área unitaria de superficie de barra, esta dado por: vendrá dado por:

$$u = q / \Sigma o = (\Delta f_s \times A_b) / \Sigma o = (\Delta f_s \times d_b) / 4$$

en donde, q = Cambio de la fuerza de la barra en la longitud unitaria.

Σo = Área superficial nominal de una barra de longitud unitaria.

d_b = Diámetro nominal de la barra.

Δf_s = Cambio del esfuerzo del acero en la longitud unitaria.

A_b = Área de la barra.

Para longitudes de adherencias cortas, la aproximación del valor del esfuerzo medio al valor de adherencia último es mejor que para longitudes grandes, donde se obtiene un valor generalmente menor.

El ensayo de extracción es atípico de situaciones reales en vigas, donde los parámetros mas influyentes sobre los esfuerzos de adherencia son: el recubrimiento, la fuerza cortante que trae como consecuencia grietas diagonales y el efecto combinado de corte-momento o fuerzas “dowel” que produce resquebrajamiento del concreto.

Este modelo de ensayo ha sido ampliamente discutido y estudiado pero según el profesor Ferguson, presenta las siguientes cualidades:

1. Con los valores obtenidos en este ensayo es posible obtener valores de longitud de anclaje en una medida razonable y practica.
2. Se aclara el concepto de longitud de anclaje que es la longitud de la barra a partir de la cual los esfuerzos en el acero son máximos y que evitan un deslizamiento relativo entre los dos materiales.
3. Representa en forma aproximada lo que sucede en los alrededores de cualquier grieta, donde la barra absorbe esfuerzos mayores que en zonas alejadas.
4. En el caso que se desee, colocando la barra en una posición excéntrica, puede obtenerse el efecto del espesor de recubrimiento.

Las probetas sometidas a ensayos de extracción (Pull-out) generan esfuerzos de adherencia cuyos diagramas se muestran en la figura 2.4., en ellos se puede observar como en el extremo inferior o de apoyo de la probeta, los esfuerzos son más grandes disminuyendo estos a medida que se aleja del extremo cargado; sin embargo, el momento de definir las expresiones que involucran el cálculo de esfuerzos de adherencia la distribución es tomada en forma uniforme ya que esta resulta del promedio de la curva real, dando como resultado valores con un margen mínimo de error.

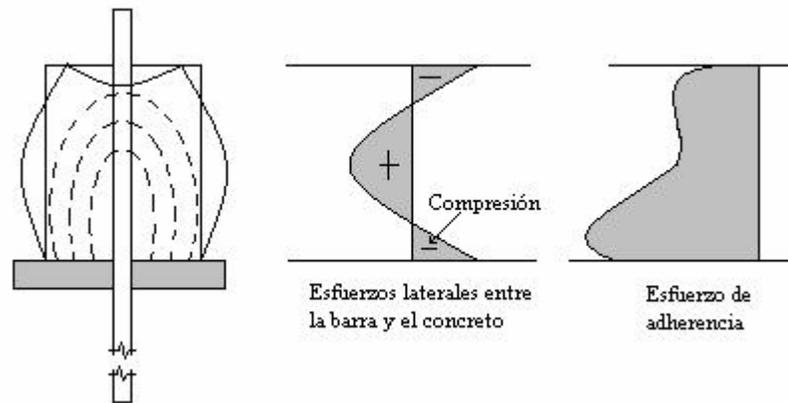


Figura 2.4. Esfuerzos transversales y de adherencia en una barra sometida a un ensayo de extracción.

Este ensayo tiene numerosas variantes en cuanto a forma y tamaños de cilindros o primas se refiere, por lo que no se ha llegado a tener un modelo internacionalmente aceptado que facilite la comparación de resultados, a pesar de lo cual se sigue usando por ser un tipo de ensayo de fácil ejecución, bajo costo y representa una baja dispersión de resultados.

Es de suma importancia en este ensayo el poder medir deslizamiento relativo entre el acero de refuerzo y el concreto, con los valores de esfuerzo de adherencia-deslizamiento, obtener las longitudes prácticas de desarrollo para cada tipo de barra utilizada.

III. MÉTODO.

Para evaluar el comportamiento del fenómeno de adherencia entre el acero corrugado de refuerzo y el mortero de suelo-cemento se realizará el ensayo de extracción, para valorar el esfuerzo de adherencia de la barra de refuerzo con el material producto de la mezcla de suelo-cemento.

El suelo a ser utilizado en la elaboración del suelo-cemento se le realizará estudios que permitan conocer detalladamente sus características y propiedades mecánicas, a través de ensayos simples de laboratorio, normalizados, para definir la dosificación tanto de agua y cemento que debe llevar la mezcla.

Adicionalmente incluirá aquellos datos como son las propiedades de la mezcla de suelo-cemento y las propiedades de las barras de refuerzo, que son pertinentes a las variables ó combinaciones de las variables estudiadas en el ensayo de extracción.

Aunque la naturaleza del trabajo es experimental, la obtención de información fue necesaria para definir en lo posible las acciones que servirán de base en el proyecto, como la escogencia de las normas y parámetros aplicables, tomando en cuenta los requisitos funcionales planteados y las experiencias obtenidas en casos similares.

Todos los ensayos serán realizados en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela, bajo la supervisión del personal técnico calificado.

1. ESTUDIO DEL SUELO.^{13,14}

El suelo utilizado en el desarrollo de la presente investigación proviene de las excavaciones ejecutadas en la urbanización Monte Claro, vía autopista Caracas-Valencia a una profundidad superficial de 2,00 m.

1.1. Materiales y Equipos.

- Muestra de suelo (suficiente y representativa).
- Balanza marca (precisión 0.1gr).
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Balanza de unos 15 Kg. de capacidad (sensibilidad 1gr.).
- Tamices normalizados.
- Horno capaz de mantener una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Vaso de precipitados.
- Picnómetro calibrado.
- Bomba de vacío.
- Cilindros de sedimentación.
- Termómetro (precisión 0.5°C).
- Hidrómetro normalizado tipo 152-H.
- Cronómetro.
- Defloculante.
- Aparato de A. Casagrande.
- Espátula.
- Ranuradora.
- Superficie lisa..
- Equipo de compactación para Proctor Normal variante “C”.

¹³ Rodríguez, L. y Simonpietri, M. Diseños de Mezcla para su uso en la elaboración de Bloques Aligerados de Suelo-Cemento. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas. Abril 2002.

¹⁴ Ugas, C. Guía de Ensayos de Laboratorio en Mecánica de Suelos. Discusión-Evaluación y procedimiento. Facultad de Ingeniería. Universidad central de Venezuela. Caracas. Mayo 1985

- Extractor de muestra.
- Guantes de goma.
- Probeta graduada de unos 1000 ml de capacidad.
- Envases apropiados para el manejo y secado de la muestra.
- Agua destilada.

1.2. Procedimiento.

1.2.1. Procedimiento visual-manual.

El procedimiento visual-manual resulta de mucha utilidad en los trabajos de campo y no requiere la utilización de equipos y procedimientos especializados, proporcionando información sobre la calidad del suelo, sus posibilidades de utilización y si la información es suficiente y está basada en criterios de experiencias, es posible obtener una clasificación acertada del material.

Prueba del olor.

Un suelo húmedo que contiene materia orgánica despide un olor característico a “moho”, que tiende a intensificarse con el calor. Si el suelo es inorgánico en estado seco no posee ningún olor y en estado húmedo tiene un olor terroso.

Prueba del tacto.

Se toma una muestra de suelo seco a la que se le han retirado las partículas gruesas de tamaño mayor a 5mm y se frota entre los dedos y la palma de la mano. Las arenas producen una sensación rugosa y granular al tacto; los limos también producen una sensación rugosa pero menos acentuadas que las arenas, su textura es harinosa; y las arcillas son suaves y grasosas al tacto.

Si la muestra de suelo es humedecida es posible determinar la consistencia. Los limos se secan rápidamente y presentan una mediana plasticidad. Las arcillas por su parte se secan lentamente, son plásticas y se pegan a los dedos.

Prueba de la vista.

Esta prueba permite obtener información sobre la base de los siguientes parámetros:

- Color: Esta característica es observada en estado seco, las tierras más adecuadas son las de color pardo, amarillo, marrón y rojo. No deben usarse las tierras color verde oliva, marrón oscuro o negro porque contienen materia orgánica no deseable. Las de color blanco o gris pueden contener calizas o yeso, lo cual es inconveniente porque los hace erosionable. Los tonos grises claros indican la presencia de limos y carbonatos de calcio, no tienen consistencia y son deleznable con facilidad.

- Forma: Permite diferenciar los granos gruesos (gravas y arenas) de acuerdo a la siguiente descripción: angular, subangular, redondeada o subredondeada.

- Tamaño: La prueba permite tener una idea del tamaño de las partículas, pudiendo distinguir gruesos de finos. Debido a su tamaño, los gruesos se diferencian a simple vista, pero los finos, como los limos y las arcillas, no son visibles. Para conocer las proporciones en que se encuentran las partículas de los componentes del suelo, se puede hacer una prueba de sedimentación simplificada.

La prueba de sedimentación simplificada consiste en tomar un frasco de vidrio transparente de medio litro de capacidad y forma cilíndrica, se llena con una muestra de tierra hasta la cuarta parte de su altura y el resto se llena con agua. Tapando la boca del frasco con la mano, se agita y se deja en reposo. Al cabo de una hora, se

vuelve a agitar y se deja en reposo nuevamente. Pasadas 8 horas, se miden las alturas de las diferentes capas teniendo una idea de las proporciones de cada uno de los componentes. El material más grueso será el depositado en el fondo del recipiente (arenas). Sobre este se encuentra la capa de limo y más arriba la de arcilla. Si la parte de arena queda comprendida entre el 50% y el 75% de la muestra, la tierra es buena para la elaboración de los bloques.

Prueba del lavado de las manos.

Se lavan las manos con un poco de tierra como si fuera jabón. Si el enjuague se realiza fácilmente se trata de un suelo arenoso, pero si el mismo se dificulta se trata posiblemente de un suelo arcilloso. Los suelos limosos son polvorientos, y no presentan dificultad en el enjuague.

Prueba del brillo.

Se toma una bolita de suelo ligeramente húmedo y se corta por la mitad con una espátula. Si la superficie de corte es opaca, el material es arenoso; si es brillante se trata de una arcilla de alta plasticidad y si es poco brillante o casi mate se trata, probablemente de un material limoso o de una arcilla de baja plasticidad.

Prueba de la sacudida o reacción al agitado.

Esta prueba llamada también de la dilatancia, se realiza para los componentes finos. Se toma una muestra de suelo y se forma con ella una bolita de 2 ó 3 cm de diámetro. Luego se aplasta en la palma de la mano hasta formar una pastilla de tierra, que debe estar blanda para que no se pegue a los dedos y se agita o se golpea vigorosamente el costado de la mano con la otra. Las sacudidas permiten que el agua contenida en la muestra salga y que la superficie se vuelva brillante o lustrosa según sea el caso. En seguida la muestra se estrecha y desaparece el agua y el brillo. La

rapidez con que aparece o desaparece el agua en la superficie al sacudir y apretar, determina la clase de finos que componen el suelo.

a. Reacción rápida: El agua aparece aproximadamente entre los 5 y 10 golpes y desaparece rápidamente. Si se presiona con mayor fuerza la muestra se pulveriza. Se trata de una arena muy fina o de limos gruesos sin materia orgánica.

b. Reacción lenta: El agua aparece aproximadamente entre 20 y 30 golpes y desaparece lentamente. Cuando se presiona con mayor fuerza se aplasta como una bola de plastilina sin pulverizarse. Se trata de un limo ligeramente plástico o una arcilla limosa.

c. Ausencia de reacción: Cuando el agua no aparece o lo hace muy lentamente y al presionar la muestra la superficie permanece brillante, se esta en presencia de un suelo arcilloso.

Prueba del cordón.

Esta prueba es un complemento de la prueba de la sacudida y permite apreciar la cohesión del suelo a seleccionar. Se toma una pequeña porción de suelo pulverizado y se humedece con agua para hacerlo moldeable y sin que se adhiera a los dedos. La pelota de tierra húmeda se hace rodar por una superficie plana y limpia, de vidrio o metal para que no pierda humedad, hasta formar un cordón que debe ser adelgazado progresivamente hasta que se rompa en pequeños trozos, poniendo atención al amasar se siente duro, blando o frágil. Si el contenido de humedad es el correcto el cordón se rompe cuando su diámetro es 3 mm. Luego los trozos se amasan nuevamente sin agregar mas agua, para rehacer la pelota. La cohesividad del suelo se mide según el esfuerzo requerido para romper esta otra pelota apretándola entre los dedos pulgar e índice.

a. Cordón duro: El contenido de arcilla en el suelo es elevado. La pelota se aplasta con dificultad y no se fragmenta al amasarla. La cohesividad es elevada y para ser utilizado en construcción debe ser mezclado con otros materiales.

b. Cordón semiduro o blando: Se hace poco esfuerzo para romper la pelota, la cohesividad es media, el suelo es limo arcilloso y apto para la construcción.

c. Cordón frágil: Al amasar la pelota, ésta se rompe y fragmenta con facilidad, la cohesión es baja y su contenido es básicamente arena y algunos limos.

Prueba de la cinta.

Este ensayo sirve para estimar la plasticidad del material que pudiera usarse en la fabricación de bloques de suelo-cemento. Se toma una muestra de suelo bien molido y se amasa con agua hasta hacerla lo suficientemente húmeda para enrollarla y formar un cilindro de 12mm de diámetro y aproximadamente 20 cm de largo. Se coloca el rollo en la palma de la mano y comenzando por un extremo se va aplastando por presión del pulgar y el índice hasta obtener una cinta de 3 a 6 mm de espesor. Luego se mide la longitud en la cual la cinta se rompe.

a. Cinta larga: La cinta llega a romperse cuando la longitud que cuelga alcanza más de 15 centímetros. El suelo posee un alto contenido de arcilla y para ser utilizado requiere una mezcla con estabilizante.

b. Cinta media: La cinta que cuelga alcanza con dificultad de 5 a 15 cm sin romperse. El suelo es arcilloso.

c. Cinta corta: La cinta se rompe antes que sobre salga 5 centímetros. El suelo es arenoso.

d. No hay cinta: No se logra formar la cinta. Estos suelos son aptos para la construcción de adobe.

1.2.2. Granulometría.

El análisis granulométrico consiste en separar y clasificar por tamaño las partículas que lo componen determinando en porcentaje, del peso total, la cantidad de granos de distintos tamaños que contiene el suelo. Se hará de acuerdo a lo especificado en la Norma COVENIN 255-77 – CCCA: Ag 2: “Método de ensayo para determinar la composición granulométrica de agregados finos y gruesos”. El resultado del análisis se representa gráficamente en escala semilogarítmica bajo la forma de una “curva granulométrica”, con los valores del tamaño de las partículas en el eje de las abscisas y los valores de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices en el eje de las ordenadas.

Los cálculos incluirán: el porcentaje retenido en cada cedazo, el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje pasante, todos ellos respecto de la muestra total.

El análisis granulométrico se realizará con la muestra pasante por el tamiz $\frac{3}{4}$ ”, porque las partículas más grandes no son representativas y no resulta de interés ya que la mezcla para la elaboración del suelo-cemento está conformada por material cernido por el tamiz N° 4.

Análisis de la fracción gruesa.

Se seca la muestra al horno. De la muestra seca se toman 500 gr. Que corresponde a la cantidad necesaria para un tamaño máximo de grano de $3/8$ ”¹⁵.

¹⁵ Ugas, C. Guía de Ensayos de Laboratorio en Mecánica de Suelos. Discusión-Evaluación y procedimiento. Facultad de Ingeniería. Universidad central de Venezuela. Caracas. Mayo 1985. (p 43).

Se tamiza la muestra por los tamices 3/8", N° 4 y N° 10, durante unos 15 minutos efectuando principalmente movimiento horizontal. Se pesa la fracción retenida en cada tamiz.

Análisis de la fracción fina.

Se toma 200 gr. del material seco pasante por el tamiz N° 10, (peso inicial).

Se coloca el material en un vaso de precipitados y se cubre con agua para dejar en remojo hasta que todos los terrones se ablanden, unas 24 horas aproximadamente.

Se lava todo el contenido del vaso de precipitados sobre el tamiz N° 200 hasta que pase el agua limpia. (Ver Foto 3.1.)



Foto 3.1. Ensayo de granulometría. Lavado sobre el tamiz N° 200.

El material retenido en el tamiz N° 200 se seca en una cápsula al horno, se tamiza en seco por los tamices N° 20, N° 40, N° 100 y N° 200 y se pesa lo retenido en cada uno. (Ver Foto 3.2.)



Foto 3.2. Ensayo de granulometría. Tamizado.

1.2.3. Sedimentación.

Para realizar el ensayo de sedimentación se utilizará el método del hidrómetro. Este ensayo permitirá determinar la distribución por tamaño de las partículas finas, que corresponden al material pasante del tamiz N° 200 y que está constituido por limos y/o arcillas. El procedimiento se basa en el principio de la variación de densidad que experimenta un suelo puesto en suspensión donde las partículas más gruesas se depositan primero, seguidas de las más finas.

Por medio del hidrómetro es posible conocer la variación de la densidad que experimenta la suspensión, a medida que las partículas sedimentan la densidad decrece y el hidrómetro se hunde cada vez más. Las lecturas del hidrómetro, simultáneas con las del tiempo y temperatura, referidos al instante inicial y el peso seco inicial de las partículas, son los datos que permiten la determinación del diámetro y peso de las partículas que quedan en suspensión en un momento dado. Los valores deben incluir las respectivas correcciones de las lecturas del hidrómetro por menisco, temperatura, defloculante y desplazamiento del punto cero.

Los resultados del ensayo de sedimentación se representan gráficamente en escala semilogarítmica. Se registran los valores de tamaño de las partículas en el eje de las abscisas y los porcentajes en el eje de las ordenadas.

Se toma una muestra de 50 gr. del material seco pasante por el tamiz N° 200.

Se coloca la muestra en un vaso de precipitados, se cubre con agua destilada y se añade un agente defloculante, dejándose luego en remojo durante un día.

Pasado el tiempo de inmersión se coloca el contenido del vaso de precipitados en el vaso de una agitadora eléctrica, evitando cualquier pérdida del material y se agita el material durante 15 minutos aproximadamente.

Se vierte la suspensión en un cilindro de sedimentación, enjuagando bien el vaso de la agitadora, completando el volumen a 1000 ml con agua destilada. Se tapa la boca del cilindro con la palma de la mano y se agita la suspensión invirtiendo el cilindro varias veces durante un minuto.

Inmediatamente se coloca el cilindro, rápida y cuidadosamente sobre una superficie horizontal, se pone en marcha el cronómetro y se sumerge el hidrómetro poco a poco, sin producir turbulencia en el fluido, hasta que comience a flotar. Se toma lecturas a los 0.5, 1 y 2 minutos después de los cuales se retira el hidrómetro y con un termómetro se determina la temperatura de la suspensión.

Se vuelven a hacer lecturas a los 5, 10, 15, 20, 25, 30 minutos, 1, 2, 4 y 24 horas, sumergiéndolo en la suspensión unos 20 seg. antes de cada lectura y registrando la temperatura de ésta después de cada operación. Se enjuaga, entre lectura, el hidrómetro en un cilindro similar al del ensayo lleno con agua destilada. (Ver Foto 3.3)



Foto 3.3. Ensayo de sedimentación

1.2.4. Límites de consistencia o de Atterberg.

La consistencia es el grado de cohesión o de humedad de las partículas de un suelo y su resistencia a aquellas fuerzas exteriores que tiendan a deformar o destruir su estructura. La consistencia depende del grado de humedad de los suelos.

Un suelo de grano fino puede existir un estado cualquiera de consistencia, dicho estado depende de la cantidad de agua en el sistema trifásico: suelo, agua y aire. En 1911 A. Atterberg definió las fronteras de cuatro estados de consistencia en términos de “límites”: Límite líquido, es la frontera entre los estados líquido y plástico; Límite plástico, la frontera entre los estados plásticos y semisólido y Límite de contracción, la frontera entre los estados semisólido y sólido.

El Límite líquido es el contenido de humedad de un suelo para el cual, dos secciones de una muestra moldeada del mismo separadas por una ranura de dimensiones standard, alcanzan apenas a tocarse, sin unirse, al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos en el aparato de A. Casa grande.

Los materiales granulares tienen límites líquidos bajos o pueden no presentarlo. Los suelos de límite líquido elevado son siempre de grano fino y

contienen muchos minerales absorbentes de agua. Estos suelos no son favorables para la construcción, porque generalmente son muy compresibles.

El límite plástico es el mínimo contenido de humedad que permite amasarlo en cilindros de 3 mm de diámetro sin que se rompa o desmoronen. En el caso de suelos arenosos, el diámetro del rollo, puede o no ser de 3 mm; usualmente será mayor. La plasticidad es una característica de los suelos cohesivos que les permite sufrir deformaciones considerables de corte sin romperse, presentar agrietamiento en su superficie, sin rebote elástico y sufrir cambios de volumen apreciables.. Si el límite plástico no puede ser determinado, entonces se dice que el suelo es no plástico (NP).

El límite de contracción es el contenido de humedad para el cual cesa la disminución del volumen de la masa de suelo, aun cuando el contenido de agua continúe disminuyendo.

Límite Líquido (ω).

Se toma 200 gr. de material seco pasante por el tamiz N° 40. Se le agrega agua y con una espátula se mezcla hasta obtener una pasta uniforme, suave y espesa. Se guarda la muestra humedecida en un frasco durante unas 12 horas aproximadamente, para que la humedad se distribuya uniformemente en todos los granos del suelo.

Se ajusta la altura de caída de la cápsula de latón del aparato de A. Casagrande para que sea exactamente de 1 cm, esa distancia se logra con el extremo de la ranuradora que tiene 1 cm. por lado y los tornillos de ajuste del aparato.

Se coloca por partes en la cápsula la muestra preparada, apisonándola contra el fondo con movimientos circulares mediante la espátula evitando así que el suelo

atrape burbujas de aire. Finalmente, se nivela y alisa horizontalmente la superficie con la espátula procurando obtener 1 cm de profundidad en el punto de espesor máximo.

Se separa la muestra por el centro con la ranuradora desde el interior hasta el borde libre de la cápsula dejando un canal limpio y claro.

Se gira la manivela del aparato con una velocidad en la caída de la cápsula de dos golpes por segundo, contando el número de golpes requeridos para que los labios de la ranura se unan en una longitud de 1 cm aproximadamente.

Se anota el número de golpes y se toma una muestra del suelo próximo a los labios de la ranura en la parte donde se cerró. Se pesa y se seca al horno para determinar su contenido de humedad.

Se repite el procedimiento 2 veces más, limpiando y secando previamente la cápsula, disminuyendo el contenido de humedad de la muestra, hasta obtener 3 ensayos en los cuales el número de golpes necesarios para el cierre de la ranura esté en los rangos de 10 a 20 a 30 y 30 a 40.

En un gráfico, que tenga en abscisas el número de golpes en escala logarítmica y en ordenadas los porcentajes de humedad del suelo en escala aritmética, se dibuja los valores obtenidos en el ensayo. Se traza la recta media entre los tres puntos y se reporta como límite líquido, el contenido de humedad, leído sobre la recta, que corresponda a 25 golpes.

Límite plástico (ω_p).

Se toma una pequeña cantidad de suelo preparado como se describió en el ensayo anterior. Se amasa y se rueda sobre una superficie lisa con la mano hasta

formar cilindros de 3 mm de diámetro aproximadamente, se comprime y se repite el amasado. Se repite la operación hasta que el cilindro se agriete durante el proceso de amasado.

Se reúne los trozos del suelo en un envase, se pesa y determina su contenido de humedad secándolo al horno.

Se repite el procedimiento una vez más como mínimo. El límite plástico será el promedio de los valores de humedad antes determinados.

Índice de plasticidad (Ip).

El índice de plasticidad de un suelo es una medida de su capacidad de desarrollar cohesión. Aquellos suelos que no poseen límite plástico no tienen plasticidad (NP), como por ejemplo la arena. El índice de plasticidad se determina como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico con la fórmula siguiente:

$$I_p = \omega_l - \omega_p \quad (3.3)$$

De acuerdo con los valores que este índice tome, la plasticidad del suelo podrá ubicarse en los siguientes rangos¹⁶:

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

Tabla 3.1: Rangos de plasticidad del suelo.

Índice de consistencia (Ic).

Se define como la consistencia de un suelo en su estado natural y es función de su contenido natural de humedad (ω), de su límite líquido (ω_l) y su límite plástico (ω_p). Se calcula con la formula:

$$Ic = (\omega_l - \omega) / Ip \quad (3.5)$$

De acuerdo a los valores que tome este índice, la consistencia del suelo se podrá definir dentro de los rangos especificados en la siguiente tabla:

Ic	ω	Consistencia
0 ó menor	$\omega \geq \omega_l$	Fluida
0 a 0.50	$\omega_l > \omega \geq \omega_p$	Muy blanda
0.50 a 0.75		Blanda
0.75 a 1.00		Semi dura
> 1.00	$\omega_p > \omega \geq \omega_s$	dura
	$\omega < \omega_s$	Muy dura

Tabla 3.2: Rangos de Consistencia del suelo.

1.2.5. Compactación.

Se entiende por compactación todo proceso que aumente la densidad seca de un suelo por medios mecánicos, este proceso está acompañado sólo por la expulsión de aire al aplicar la carga dinámica.

Mediante el ensayo de compactación se determina el contenido de agua óptimo (humedad óptima) que debe tener un suelo para que la lubricación entre los

¹⁶ Dota, P., Hays y otros. Construir con Tierra. Fondo Rotatorio Editorial FEDEVIVIENDA. Tomo I y II. Colombia 1990.

granos sea suficiente, permitiendo que se acomoden y ocupen el menor espacio posible. De esta manera al compactarlo, disminuye el porcentaje de vacíos y se alcanza el mayor peso unitario posible, es decir, el peso unitario máximo.

Al realizar la compactación del suelo, se aumenta la resistencia al corte, disminuye la permeabilidad, la compresibilidad y el asentamiento bajo cargas. Además da durabilidad a las obras haciéndolas menos erosionables.

Se realiza la compactación de forma dinámica utilizando cargas aplicadas mediante un martillo según el método Proctor Normal variante “C”, especificado en la Norma ASTM 698.

Se toma una muestra de suelo de 15 Kg. pasante del tamiz $\frac{3}{4}$ ” y se divide en 5 porciones de 3 Kg. cada una. Se pesa el molde vacío para compactación de diámetro 4”, con la base y sin el collar.

Se toma una de las porciones de suelo y se mezcla con agua suficiente hasta un valor 4% o 5% por debajo del correspondiente al límite plástico. Luego se llena el molde en 3 capas, cada una de ellas con un espesor compactado igual a $\frac{1}{3}$ de la profundidad del molde. Se coloca el molde sobre una superficie rígida y se compacta cada capa con 25 golpes, del martillo de 2,5 Kg de peso, distribuidos uniformemente y con una altura de caída de 30,5 cm.

Después de la compactación 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. Con la ayuda de un gato hidráulico se saca la muestra del molde y se toma dos porciones de suelo, una de la parte superior y otra de la parte inferior de la muestra, para determinar la humedad del material. La operación se repite con las otras porciones de suelo y con contenidos de

humedad crecientes que varíen entre 1.5% y 3% de contenido de agua, obteniendo los respectivos pesos unitarios.

Luego se relacionan los porcentajes de humedad con los pesos unitarios, obteniendo valores que se representan gráficamente mediante la curva de compactación. De esta curva se toma el peso unitario máximo y se halla la correspondiente humedad óptima.

2. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE SUELO-CEMENTO¹⁷.

Una vez determinada la caracterización y calidad aceptable de la muestra de suelo y definido en consecuencia el sitio de extracción del material se procede a establecer la dosificación de los componentes que integran la mezcla del suelo-cemento. La buena calidad del material de construcción depende de las proporciones adecuadas tanto de los materiales sólidos, suelo y cemento, como del elemento líquido, el agua.

2.1. Materiales y Equipos.

- Suelo.
- Cemento gris Pórtland tipo I.
- Agua.
- Tamiz de 3/4”.
- Balanza con capacidad de 30 Kg.
- Bolsas plásticas resistentes para el almacenamiento del suelo.
- Mezcladora mecánica de eje vertical de 60 lts.
- Plástico para extender el suelo.
- Carretilla.

¹⁷ Rodríguez, L. y Simonpietri, M. Diseños de Mezcla para su uso en la elaboración de Bloques Aligerados de Suelo-Cemento. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas. Abril 2002.

- Cucharas de albañilería, pala, pico.

2.2. Procedimiento.

2.2.1. Preparación del suelo.

Se extiende el material en una capa no mayor de 15 cm, sobre un plástico, en un área protegida de la lluvia, con el fin de que el suelo libere gran parte de su humedad. Para este fin, el suelo debe pasar al menos 7 días extendido. (Ver Foto 3.4.)



Foto 3.4. Preparación del suelo.

El suelo utilizado como agregado de la mezcla se tamiza por el cedazo N° 3/4", lo cual garantiza que el material este libre de granos muy gruesos que puedan dificultar el proceso de mezclado, vaciado y compactación de las probetas. (Ver Foto 3.5.)

Luego se almacena el suelo en bolsas plásticas resistentes que serán debidamente selladas para que el material no se humedezca nuevamente. (Ver Foto 3.6)



Foto 3.5. Tamizado del suelo a través del tamiz $\frac{3}{4}$ "



Foto 3.6. Almacenaje de las bolsas con suelo.

2.2.2. Proporción de suelo-cemento.

Para la preparación de la mezcla de suelo-cemento, se utilizará el diseño de mezcla propuesto en el Trabajo Especial de Grado “Fabricación y Caracterización de Bloques Aligerados de Suelo-cemento”¹⁸. Dicho trabajo propone para la elaboración de la mezcla de suelo-cemento, las siguientes proporciones: 10% en peso de cemento Pórtland tipo I y la proporción de agua corresponde a la humedad óptima resultante del ensayo de compactación del suelo utilizado. Sin embargo, como la humedad del

¹⁸ Moreno R. y Sánchez J. *Fabricación y Caracterización de Bloques Aligerados de Suelo-cemento*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. 2002.

suelo no es igual a cero, la dosis de agua a agregar en la mezcla puede variar en pequeñas proporciones.

2.2.3.Mezclado.

Se pesa las cantidades de los componentes en una balanza de acuerdo a las proporciones establecidas en el diseño de mezcla.

Se ajusta las paletas de la mezcladora para luego encenderla y colocar los materiales previamente pesados. Se procede a realizar el mezclado en seco; para ello se coloca el suelo en la mezcladora y se va incorporando el cemento de manera que este se distribuya lo más uniformemente posible (Ver Foto 3.7.). Una vez lograda la mezcla íntima del suelo y cemento en seco, se le adiciona el agua en forma de lluvia hasta conseguir que la humedad al igual que el cemento se distribuya uniformemente en la mezcla y evitar la formación de grumos que dificulta el proceso de compactación al momento de la elaboración de las probetas.



Foto 3.7. Mezclado del material seco

El mezclado se considera terminado cuando todo el material tenga un color uniforme y cuando se verifique que la cantidad de agua agregada haya sido la necesaria.

Para verificar esta última condición se toma un puñado de la mezcla humedecida y se aprieta con la mano. Si la mezcla conserva la forma de la mano sin ensuciarla, permite ser partida en dos sin desintegrarse y al dejarla caer desde 1.10 m de altura sobre una superficie dura se disgrega en un material suelto semejante a la mezcla original, la mezcla tendrá la cantidad de agua necesaria. (Ver Foto 3.8.)



Foto 3.8. Cantidad de agua necesaria. La mezcla permite ser partida sin desintegrarse.

3. PROPIEDADES DE LA MEZCLA DE SUELO-CEMENTO.

Para conocer las propiedades de la mezcla de suelo-cemento se debe incluir en el informe tipo y proporción del cemento, tamaño máximo de los granos, granulometría y relación agua-cemento. Se incluirá también la resistencia a la compresión de los cilindros de control, peso unitario y consistencia del suelo-cemento, cuyo procedimiento se detalla a continuación.

3.1. Materiales y Equipos.

- Muestra de suelo-cemento fresco.
- Cono de Abrams.
- Barra compactadora.

- Balanza. Apreciación 50 g.
- Recipiente cilíndrico de metal de 10” de diámetro y 11” de altura.
- Máquina de ensayo.
- Moldes metálicos cilíndricos con su base, diámetro 152,5±2.5 mm y altura 305,0 ±6,0 mm.
- Herramientas tales como palas, baldes, cucharas de albañil.

3.2. Procedimiento.

3.2.1. Consistencia.

Para determinar la consistencia de la mezcla de suelo-cemento, se realizará el estudio tomando como referencia la Norma COVENIN 339:2003 (2ª revisión) cuya norma contempla el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto fresco, mediante el uso del Cono de Abrams.

Se humedece el interior del molde y se coloca sobre una superficie horizontal rígida, plana y no absorbente. El molde se sujeta firmemente por las aletas con los pies y se llena con la muestra de suelo-cemento, vaciando ésta en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde. (Ver Foto 3.9.)



Foto 3.9. Asentamiento. Llenado de la mezcla

Cada capa se compacta con 25 golpes de la barra compactadora, distribuidos uniformemente en toda la sección transversal. Para la capa inferior es necesario inclinar ligeramente la barra y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, acercándose progresivamente en espiral hacia el centro de la sección. Esta capa debe compactarse en todo su espesor, las capas siguientes se compactan, en su espesor respectivo de modo que la barra penetre ligeramente en la capa inmediatamente inferior.

El molde se llena por exceso antes de compactar la última capa. Si después, el concreto se asiente por debajo del borde superior, se agrega material hasta lograr un exceso sobre el molde. Luego se enrasa mediante la barra compactadora o una cuchara de albañilería. Inmediatamente se retira el molde alzándolo cuidadosamente en dirección vertical. Debe evitarse los movimientos laterales o de torsión. Esta operación debe realizarse en un tiempo aproximado de 5 a 10 segundos. La operación completa desde que se comienza a llenar el molde hasta que se retira, debe hacerse sin interrupción y en un tiempo máximo de 1 min. 30 s.

El asentamiento se mide inmediatamente después de alzar el molde y se determina por la diferencia entre la altura del molde y la altura promedio de la base superior del cono deformado (Ver Foto 3.10.). En caso de que se presente una falla o corte, donde se aprecia separación de una parte de la masa, debe rechazarse el ensayo, y se hace nuevamente la determinación con otra parte de mezcla. Si dos ensayos consecutivos sobre una misma mezcla arrojan el mismo resultado, la mezcla de suelo-cemento carece de la plasticidad y cohesión necesaria para la validez del ensayo.

3.2.2. Peso unitario.

Para determinar peso unitario de la mezcla de suelo-cemento, se realizará el estudio tomando como referencia la Norma COVENIN 349 – 79, cuya norma contempla el método de ensayo para determinar el peso por metro cúbico del concreto

fresco, mediante el uso de un recipiente para tamaño máximo nominal del agregado grueso menor a 2”.



Foto 3.10. Medición del asentamiento.

Se calibra el recipiente determinando con precisión el peso de agua que se requiere para llenarlo, mediante el uso de una lámina de vidrio (Ver Foto 3.11). El factor para cualquier recipiente se obtiene dividiendo el peso unitario del agua, a 21°C, tomado como 1000 kg/m³, entre el peso del agua que se requiere para llenar el recipiente, a la misma temperatura.



Foto 3.11. Peso unitario. Determinación del volumen del recipiente.

El recipiente se llena hasta un tercio de su capacidad y la masa de suelo-cemento se compacta con 25 golpes, distribuidos uniformemente sobre la sección, evitando golpear con fuerza el fondo del recipiente. Se golpea la superficie exterior del recipiente ligeramente de 10 a 15 veces.

Se llena hasta 2 tercios de su capacidad, se compacta y se golpea nuevamente, pero se aplica la fuerza necesaria para que la barra penetre en la superficie de la capa anterior. Finalmente se llena con un ligero exceso y se compacta y golpea en la forma ya descrita. (Ver Foto 3.12.)



Foto 3.12. Peso unitario. Llenado de la mezcla.

Después de la consolidación del concreto, la superficie se alisa y termina con una placa de cubierta, plana, teniendo mucho cuidado de dejar el recipiente lleno justo hasta su nivel superior. Se limpiará el material excedente del exterior y el recipiente lleno se pesará con una aproximación de 50 g.

El peso unitario por Kg/m^3 se calcula con la formula.

$$\text{PU} = \text{W}/\text{V}.$$

Donde, W = Peso total de los ingredientes componentes de la mezcla.

V = Volumen total de los ingredientes componentes de la mezcla.

3.2.3. Resistencia a la compresión.

Para determinar la resistencia a la compresión de los cilindros de control de la mezcla de suelo-cemento, se realizará el estudio tomando como referencia la Norma COVENIN 338:2002 (2ª revisión) cuya norma contempla el método de ensayo para la elaboración, curado y ensayo a compresión de probetas cilíndricas de concreto.

Se limpia y se aceita la superficie interior del molde así como su base. La mezcla se coloca en el molde en tres capas de igual volumen aproximadamente. Cada capa debe compactarse con 25 golpes, para el cual se utiliza la barra compactadora. Los golpes deben distribuirse uniformemente en toda la sección transversal del molde. La capa del fondo debe compactarse en toda su profundidad. Cuando se compacta la capa inmediatamente superior, la barra debe penetrar aproximadamente de 20 a 30 mm en la capa inmediatamente inferior. Si al retirar la barra quedan huecos en el cilindro, estos se deben cerrar golpeando suavemente las paredes del molde. Se enrasa la probeta con la barra, de manera que la superficie quede perfectamente lisa y al ras con el borde del molde.

Una vez elaboradas las probetas, se almacenan a una temperatura ambiente a la sombra sobre una superficie horizontal rígida en un lapso de tiempo comprendido entre 20 y 48 horas, se realizará el curado durante 7 días directamente bajo agua saturada de cal y se almacenarán a la sombra hasta el momento del ensayo

Para el momento del ensayo, las probetas deben ser rematadas en las caras de compresión de tal forma que se logre un paralelismo entre ellas. El remate debe tener una resistencia superior a la del suelo-cemento, pudiéndose emplear cualquier material capaz de proporcionar en el momento del ensayo, la resistencia y la adherencia necesaria. El espesor de la capa de remate debe estar entre 2 y 3% de la dimensión de la cara de la probeta. (Ver Foto 3.13)



Foto 3.13. Resistencia a la compresión. Preparación de las probetas.

La sección del cilindro se determina en su zona central y el diámetro de cálculo es el promedio de los diámetros ortogonales aproximados. (ver Foto 3.14) La altura del cilindro se determina después de ser rematadas sus caras. El diámetro y la altura se aproxima al milímetro más cercano.

Los cilindros se colocan en la máquina de ensayo, se centran cuidadosamente y se comprime. Tanto las superficies rematadas de los cilindros y los platos de la máquina deben estar exentos de polvo, grasa y de cualquier otro material extraño. (Ver Foto 3.15) Se aplicará una presión a una tasa constante del rango de 1,4 kg/cm²/seg a 3.5 kg/cm²/seg. Durante la aplicación de la primera mitad de la presión, se permite incrementar dicha tasa.

La resistencia a compresión de cada cilindro se calcula por la siguiente formula:

$$R_c = P/A$$

Donde, R_c = Resistencia a compresión, kgf/cm².

P = Carga máxima aplicada, kgf.

A = Área de la sección transversal del cilindro, cm².



Foto 3.14. Resistencia a la compresión. Medición de las probetas.



Foto 3.15. Resistencia a la compresión. Ensayo.

La resistencia a compresión de cada cilindro es el cociente entre la carga máxima y el área de la sección media del cilindro. El resultado del ensayo es el promedio de las resistencias de los cilindros por cada condición de ensayo. La desviación estándar máxima en los ensayos de resistencia de una muestra, debe ser 8 kg/cm^2 para considerar la precisión la dispersión máxima entre dos laboratorios, debe ser de 16 kg/cm^2 (dos veces la desviación estándar). Esto es la expresión de la exactitud.

4. PROPIEDADES DE LAS BARRAS DE REFUERZOS.

Para conocer las propiedades de las barras de refuerzos se debe incluir en el informe diámetro o designación de las barras; características medidas de las estrías, incluyendo el espaciamiento, la altura, la inclinación y el espesor; se incluirá una fotografía que muestra las corrugaciones de la barra.. Se incluirá también el límite elástico convencional de las barras, cuyo procedimiento se detalla a continuación.

4.1. Materiales y Equipos.

- Barras corrugadas de diámetro 3/8" y 1/2"
- Máquina para el ensayo a tracción.
- Extensómetro. Apreciación 0.01 mm.
- Vernier. Apreciación 0.02 mm.

4.2. Procedimiento.

Para determinar el límite elástico convencional de las barras, se realizará el estudio tomando como referencia la Norma CCCA: AC A-64, cuya norma contempla el método para el ensayo a tracción de barras de acero ordinario para usarse como refuerzo en el concreto armado (con gráfico).

Las barras a someterse al ensayo, conservarán su sección transversal tal como sale en la fábrica y el largo necesario para el ensayo será de 1 m o más. La probeta se fijará entre las mordazas de la máquina de ensayo dejando una longitud libre aproximadamente 40 centímetros. El extensómetro se adosará a la probeta antes de que ésta reciba la más leve aplicación de carga. A tal efecto el extensómetro se fijará a la probeta con anterioridad a la sujeción de ésta en la mordaza interior. Se tomará como base de medida la necesaria para que se pueda alcanzar una deformación unitaria de 0,05 sin agotar la capacidad máxima de alargamiento del extensómetro.

La velocidad de aplicación de cargas deberá ser tal, que permita registrar con precisión las lecturas tanto de cargas como de alargamientos. En cualquier caso, se regulará la máquina de forma que la velocidad de aplicación de cargas no sea superior a 100 kg/cm²/seg. Una vez fijada la abertura del paso de aceite necesario para lograr la velocidad de carga deseada, ésta no deberá modificarse hasta lograr la franca rotura de la probeta. El ensayo no se considerará representativo si su duración es superior a 15 minutos. Con los datos obtenidos, se procederá a dibujar los puntos de la curva empleando las escalas convenientes.

Una vez dibujada el diagrama esfuerzo-deformación unitaria, se lleva sobre el eje de las abscisas el valor $\epsilon = 0,2\%$ igual a OM (Ver figura 3.1.), trazando por M una paralela a la recta inicial OA se determina R por la intersección de dicha recta con la poligonal definida por los puntos obtenidos. El límite elástico convencional, $\gamma_{0,2}$, queda determinada por el valor de la ordenada en dicho punto.

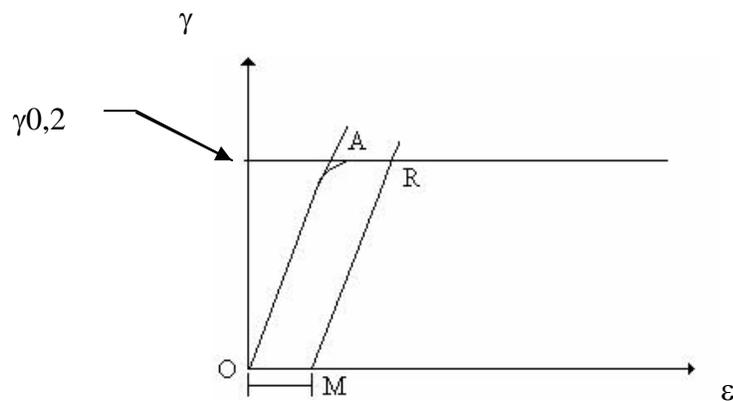


Figura 3.1. Gráfico Esfuerzo-deformación unitaria.

5. ENSAYO DE EXTRACCIÓN (PULL OUT).

5.1. Materiales y Equipos.

- Muestra de suelo-cemento fresco.
- Barra compactadora.
- Máquina de ensayo.
- Moldes metálicos cilíndricos con su base, diámetro $152,5 \pm 2.5$ mm y altura $305,0 \pm 6,0$ mm.
- Barras corrugadas de diámetro 1/4", 3/8" y 1/2"
- Máquina para el ensayo a tracción.
- Extensómetro. Apreciación 0.01 mm.
- Herramientas tales como palas, baldes, cucharas de albañil, cepillo de alambre.

5.2. Procedimiento.

Para determinar los efectos que las variaciones en las propiedades del mortero de suelo-cemento, producen sobre la adherencia entre el suelo-cemento y el acero de refuerzo, se realizará el estudio tomando como referencia la Norma COVENIN1667-80, cuya norma contempla el método de ensayo para la determinación de valores comparativos de la adherencia desarrollada entre el concreto y el acero usado como refuerzo.

El material a ensayar consiste en probetas cilíndricas de suelo-cemento, con una barra de refuerzo colocada verticalmente a lo largo del eje central de la probeta. Se utilizará como variable, dos diámetros de cabillas (3/8", 1/2") por tres probetas como mínimo para su análisis. Se cortarán las cabillas a un metro de longitud, garantizando así no solo la completa penetración en el molde, sino también un pedazo adicional en la parte superior para la colocación cómoda del reloj en las mediciones y otra en la parte inferior (mucho más larga) para el agarre por las mordazas de la

prensa en el momento del ensayo. Se limpian las barras de refuerzo del óxido suelto, con un cepillo de alambre.

Para fijar la longitud de adherencia se coloca mangueras plásticas que impidan la adherencia en el resto de la barra. La relación entre la longitud de adherencia de la barra y su diámetro, debe ser igual a 15.

A los moldes se le adaptará una base de madera que tiene en el centro un orificio por donde pasa la barra y se cubre la superficie interior de los moldes con una delgada capa de aceite mineral antes del moldear las probetas. . Lleva un refuerzo transversal en forma de espiral hecho con cabilla de 1/4" con un diámetro de 12 cm. y altura 28 cm. y con un paso aproximadamente de 6 cm. (Ver Foto 3.16.)



Foto 3.16. Ensayo de extracción. Armado de las probetas.

Una vez que está preparada la mezcla se procede a llenar los moldes por capas. La calidad de las probetas se incrementa con el grado compactación, garantizando que la mezcla se distribuya uniformemente.

Una vez elaboradas las probetas, se almacenan a una temperatura ambiente a la sombra sobre una superficie horizontal rígida en un lapso de tiempo comprendido entre 20 y 48 horas, se realizará el curado durante 7 días directamente bajo agua

saturada de cal y se almacenarán a la sombra hasta el momento del ensayo (Ver Fotos 3.17-3.18-3.19).



Foto 3.17. Ensayo de extracción. Almacenamiento de las probetas durante el fraguado

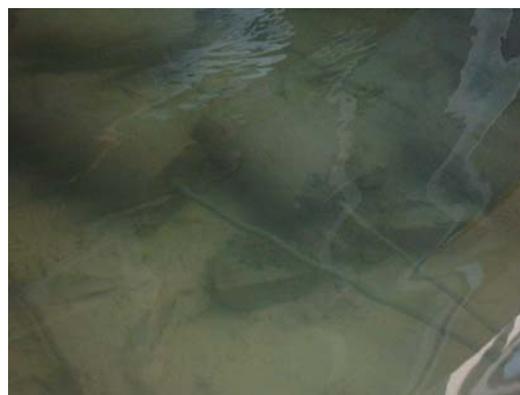


Foto 3.18. Ensayo de extracción. Curado de las probetas.

Se coloca la probeta en la máquina de ensayo, de manera que la superficie del cilindro de la cual sobresale el extremo más largo de la barra esté en contacto con la plataforma de apoyo del cabezal superior de la máquina. Entre la plataforma y la superficie del cilindro en contacto con ella, se coloca una delgada goma de “tripa de caucho” (ver Foto 3.20) antes del ensayo y durante esta operación se procede al alineamiento definitivo de la probeta (ver Foto 3.21).



Foto 3.19. Ensayo de extracción. Almacenamiento hasta el ensayo.



Foto 3.20. Ensayo de extracción. Goma delgada para colocarlo en la superficie del cilindro en contacto con la plataforma de la máquina de ensayo.

Se coloca el aparato de medición cuidando que la superficie donde apoya el vástago del extensómetro esté perfectamente lisa y horizontal. Se aplica la carga a la barra de refuerzo a una velocidad no mayor de 2.250 Kg/minuto. Se lee el deslizamiento entre la barra de refuerzo y el concreto en el indicador del extensómetro a intervalos suficientes para proporcionar por lo menos 10 lecturas antes de alcanzar un deslizamiento de 0,10 mm en el extremo libre de la barra. Se continúa el proceso de aplicación de la carga y se toma lectura a intervalos apropiados hasta: a) que se alcance el límite elástico de la barra de refuerzo, b) cuanto el mortero se rompa, c) cuando ocurra un deslizamiento de 2,5 mm en el extremo libre.



Foto 3.21. Ensayo de extracción. Alineamiento de la probeta en la máquina de ensayo.

Se traza curvas de esfuerzo en el acero contra deslizamiento, colocando los deslizamientos en abscisas y los esfuerzos en ordenadas. A partir de los gráficos se obtienen los esfuerzos en el acero correspondiente a un deslizamiento de 0,1 mm. Se calcula los esfuerzos de adherencia correspondientes a un esfuerzo en el acero capaz de producir un deslizamiento de 0,1 mm en el extremo libre de la barra, como sigue:

$$U_{0,1} = \frac{\phi \cdot \gamma_{0,1}}{4 \cdot L_e}$$

Donde, ϕ = diámetro de la barra usada.

$\gamma_{0,1}$ = esfuerzo en el acero capaz de producir un deslizamiento de 0,1 mm en el extremo libre de la barra.

L_e = Longitud de adherencia.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

Los resultados serán presentados manteniendo el mismo orden en que fue desarrollado el método. Basados en los resultados del estudio experimental, se procede al análisis de los mismos mediante la interpretación de las tablas y gráficos que se presentan a continuación:

1. ESTUDIO DEL SUELO.

1.1. Procedimiento Visual-Manual.

Prueba del olor.

El suelo resultó ser de carácter inorgánico, pues no presentó ningún olor en estado seco, mientras que en estado húmedo su olor fue terroso.

Prueba del tacto.

Al tomar una muestra de suelo seco con las manos este produce una sensación granular al tacto, su textura es harinosa. Al humedecerse, se seca rápidamente entre los dedos y se puede reducir a polvo, dejando solo una mancha.

Prueba de la vista.

- Color: Se observó que el material era de color marrón, lo que entra dentro del rango teórico de tierras adecuadas para el uso en suelo-cemento.

- Forma: Sub-angular.

- Tamaño: En general, del material grueso predomina el contenido de arena: Se procedió a realizar la prueba de sedimentación simplificada y se observó que más de la mitad del material depositado en el fondo es arena.

Prueba del lavado de las manos.

Al realizar esta prueba, se encontró que al lavar las manos se observó que el enjuague se realiza fácilmente.

Prueba del brillo.

En esta prueba se observó una superficie muy poco brillante, que nos indica que tenemos un material arenoso, con presencia de micas (esquistos descompuestos).

Prueba de la sacudida o reacción al agitado.

La reacción obtenida en este ensayo se puede clasificar rápida. El agua aparece aproximadamente entre los 5 y 7 golpes y desaparece rápidamente. Si se presiona con mayor fuerza la muestra se pulveriza. Se trata de una arena muy fina o de limos gruesos sin materia orgánica.

Prueba del cordón.

En este ensayo, se obtuvieron cordones que se pueden clasificar como frágiles: Al amasar la pelota, ésta se rompe y fragmenta con facilidad, lo que indica una mezcla de arena y algunos limos, con baja cohesión.

Prueba de la cinta.

Al realizar esta prueba no se logró formar la cinta, por lo que hablamos de un suelo arenoso, aptos para la construcción de adobes.

1.2. Granulometría.

TAMIZ		Peso retenido (grs)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
Pulgada	mm				
3/8"	9,52	11,3	3,5	3,5	96,5
Nº 4	4,76	21,0	6,6	10,1	89,9
Nº 10	2,00	17,0	5,3	15,4	84,6
Nº 20	0,84	24,7	7,7	23,1	76,8
Nº 40	0,42	16,2	5,1	28,2	71,8
Nº 100	0,149	83,0	26,0	54,2	45,8
Nº 200	0,075	50,2	15,7	69,9	30,1
Pasa Nº 200		96,1			
Ws =		319,5			

Tabla 4.1. Resultados del Ensayo de Granulometría.

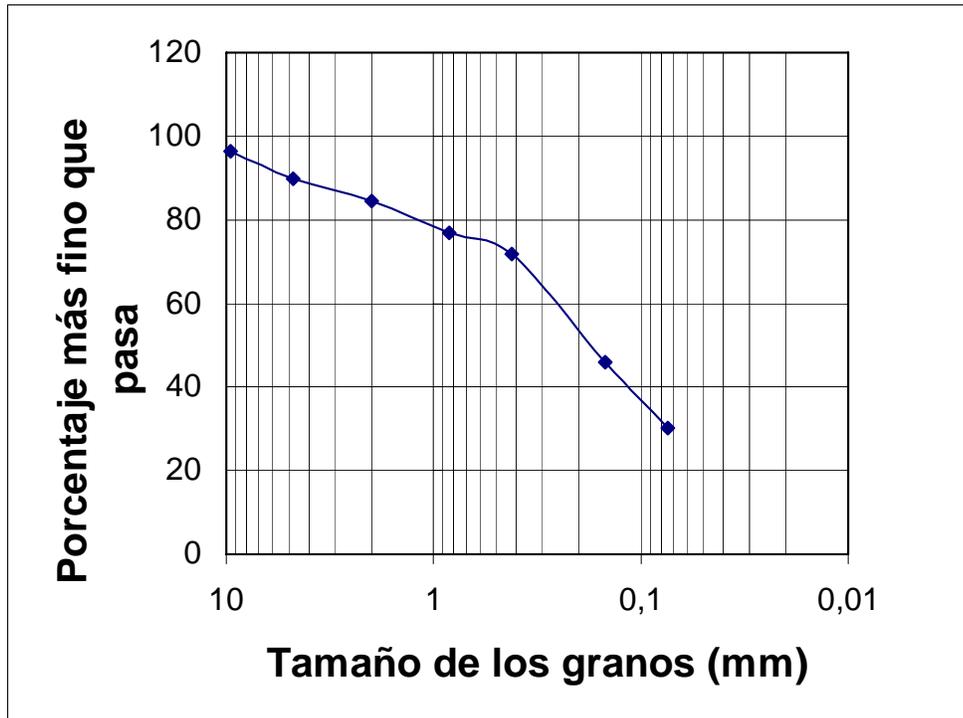


Gráfico 4.1. Curva Granulométrica.

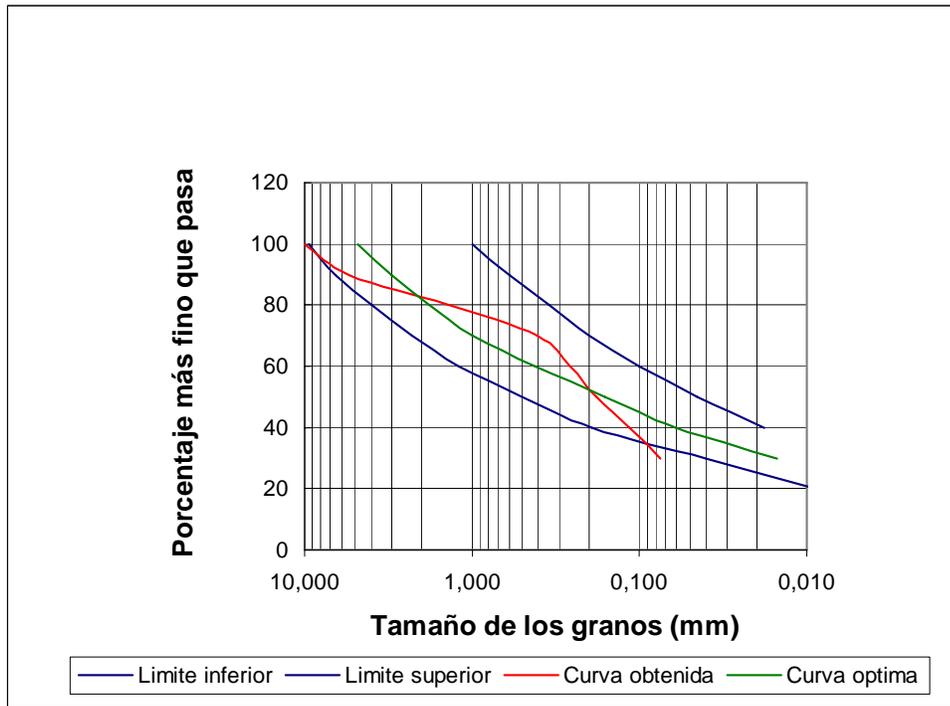


Gráfico 4.2. Comparación entre la curva granulométrica obtenida y la curva óptima.

1.3. Sedimentación.

Tiempo		Temp (°C)	Lectura Hidrómetro " Z "	Lectura Corregida menisco " Z' "	Profundidad Efectiva " Zr " (cm)	Diámetro partícula " D " (mm)	Lectura Corregida Hidrómetro " r "	% más fino	
Horas	Min							Parcial	Total
	0,5	27	40	41	9,6	0,05512	43,44	86,88	26,2
	1	27	32	33	10,9	0,04153	35,44	70,88	21,3
	2	27	23	24	12,4	0,03132	26,44	52,88	15,9
	5	27	15	16	13,7	0,02082	18,44	36,88	11,1
	10	27	11	12	14,3	0,01504	14,44	28,88	8,7
	15	27	9	10	14,7	0,01245	12,44	24,88	7,5
	20	27	8	9	14,8	0,01082	11,44	22,88	6,9
	25	27	8	9	14,8	0,00968	11,44	22,88	6,9
	30	27	8	9	14,8	0,00884	11,44	22,88	6,9
1		27	7	8	15,0	0,00629	10,44	20,88	6,3
2		27	6	7	15,2	0,00448	9,44	18,88	5,7
4		27	6	7	15,2	0,00317	9,44	18,88	5,7
24		27	6	7	15,2	0,00129	9,44	18,88	5,7

Tabla 4.2. Resultados del Ensayo del Hidrómetro.

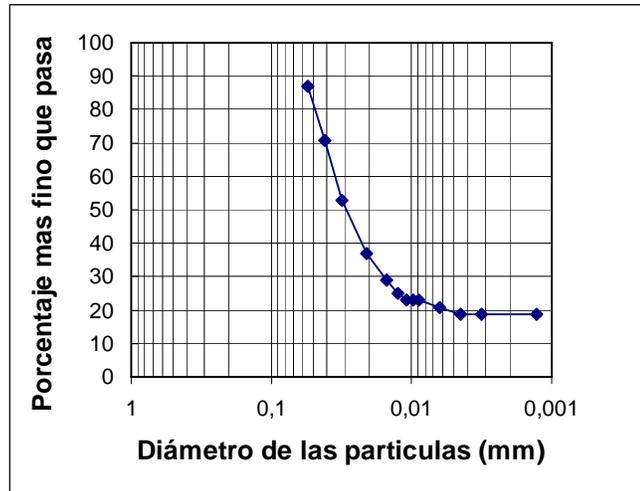


Gráfico 4.3. Curva de hidrómetro

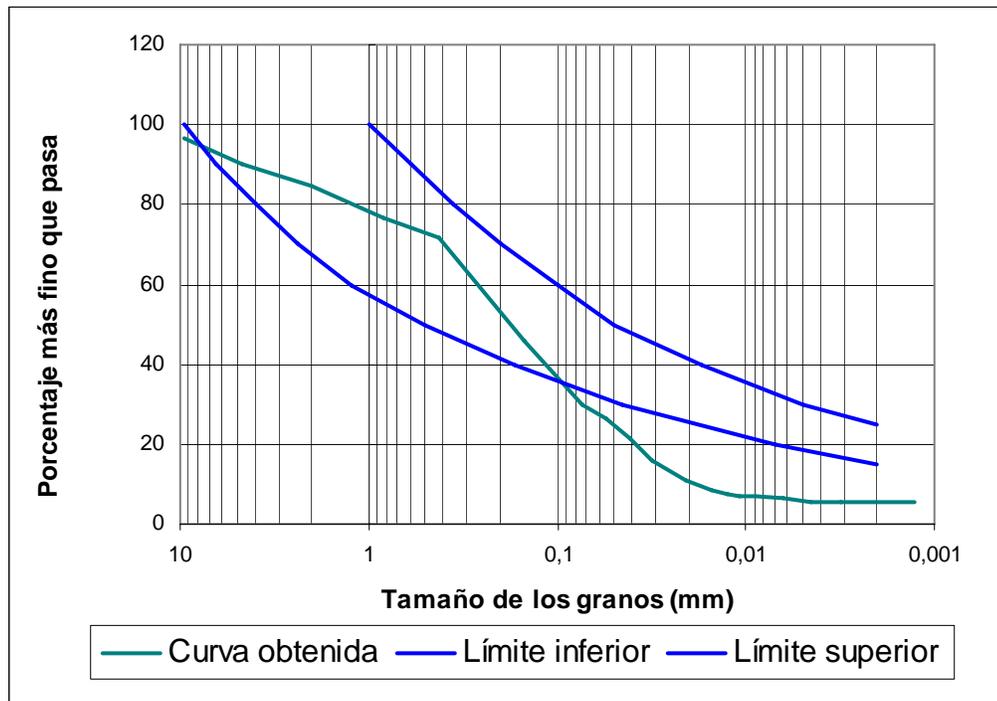


Gráfico 4.4. Curva granulométrica completa y curvas límites.

La resultante de la curva granulométrica, aunque esta mas o menos dentro de las curvas límites, se observa una mala gradación en el tamaño de las partículas, por lo que se esta en presencia de un suelo que podría tener limitaciones a ser utilizado para la elaboración de suelo-cemento.

El suelo presenta un 69.9% de contenido de arena y un 30.1% de finos. El suelo se considera adecuado por estar dentro de los límites especificado previamente, 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.

En el ensayo de sedimentación se presenta una proporción de limo-arcilla de aproximadamente 4:1, es decir, un porcentaje de arcilla de cerca del 20% (diámetro menor a 0,002mm) y un porcentaje de limo del 80% (diámetro entre 0,074mm y 0,002mm).

En cuanto al contenido de arcilla, se puede observar que esta representa cerca de un 6% de la muestra total de suelo, muy por debajo a los valores dentro de los límites establecidos en la curva ideal (mayor a 15% y menor de 25%),

1.4. Límites de Consistencia o de Atterberg.

No se pudo determinar el límite plástico del material, entonces se dice que el suelo es no plástico (NP). Esto se puede apreciar también en la granulometría donde la cantidad de partículas de arcillas en el total de la muestra es baja, por ende un suelo no cohesivo; y la plasticidad es una característica de los suelos cohesivos que les permite sufrir deformaciones considerables de corte sin romperse, sin presentar agrietamiento en su superficie, sin rebote elástico y sin sufrir cambios de volumen, todo lo contrario al material en estudio cuando se realizó el ensayo. También como el material es granular tiene límite líquido bajo.

Por otra parte los suelos con bajos contenidos en arcillas, se pueden estabilizar con conglomerantes como el cemento, en proporciones del 4% al 10%¹⁹, lo que viene a afirmar la factibilidad del uso del material en la elaboración de suelo-cemento.

En base a los resultados obtenidos en los ensayos de granulometría, de sedimentación y de límites de consistencia, se puede decir que el suelo resultó ser de grano grueso porque más de la mitad del material quedó retenido sobre el tamiz N° 200; es una arena porque 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, pues pasó más del 12% de material por el tamiz N° 200, a partir del cual se diferencian los finos de las arenas. El tamaño máximo de sus partículas es 3/8” En resumen el suelo es una arena fina mal gradada no plástica.

¹⁹ La Tierra Material de Construcción. Monografía N° 385/386. Instituto Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científica. Madrid. 1987. pp 126.

1.5. Compactación.

Método: Proctor Normal AASHO T99 – Variante C. Diámetro molde: 4 pulgadas.
 Peso molde: 4012 g. Volumen molde: 958.8 cm³.

ENSAYO	1	2	3	4	5
Peso suelo + molde (g)	5868	5990	6098	6097	6039
Peso suelo húmedo (g)	1856	1978	2086	2085	2027
P. unit. húmedo (g/cm ³)	1.936	2.063	2.176	2.175	2.114
Tara N° / Peso tara (g)	1 71.7	2 69.9	3 84.6	4 70.4	5 70.5
Muestra húmeda (g)	479.7	327.5	456.9	411.9	356.7
Muestra seca (g)	461.1	309.0	422.5	370.0	315.8
Humedad ω (%)	4.8	7.7	10.2	14.0	16.7
P. unit. seco γ _d (g/cm ³)	1.847	1.916	1.975	1.908	1.811

Tabla 4.3. Resultados del Ensayo de Compactación.

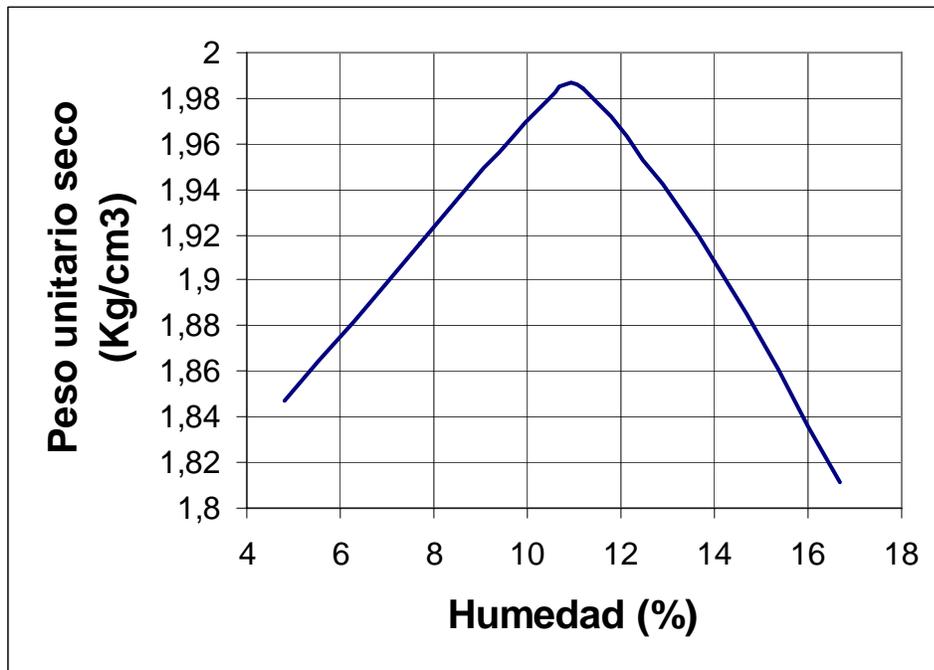


Gráfico 4.5. Curva de Compactación.

Dicha curva presenta un punto para el cual el peso unitario seco máximo es igual a 1.984 g/cm³ y la humedad correspondiente es la óptima igual a 11.2%.

Si el peso unitario seco máximo obtenido está contenido entre 1.650 y 1.760 g/cm³, es regular el resultado, entre 1.760 y 2.100 g/cm³ el resultado es muy bueno, entre 2.100 y 2.200 g/cm³ es excelente y entre 2.200 y 2.400 el resultado es excepcional²⁰. En base a esto se observa que el suelo utilizado es muy bueno ya que su peso unitario seco máximo es de 1.984 g/cm³.

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, tal y como se muestra a continuación, donde se puede apreciar que se está frente a un suelo excelente en cuanto al contenido de humedad óptima, de fácil estabilización y que requiere como estabilizante convencional el cemento.

ω_{opt} (%)	Observación	Posibilidad de estabilización	Estabilizante convencional	
de 7 a 9	Bien	Fácil	Cemento	
de 9 a 17	Excelente			
de 17 a 22	Aceptable	Difícil		Cal
de 22 a 25	Eventualmente aceptable			

Tabla 4.4. Estabilización del suelo según el contenido de humedad óptima.

²⁰ Dota, P., Hays y otros. Construir con Tierra. Fondo Rotatorio Editorial FEDEVIVIENDA. Tomo I y II. Colombia. 1990.

2. PROPIEDADES DE LA MEZCLA DE SUELO-CEMENTO.

Mezcla	a/c	Peso unitario			Asentamiento (pulg.)
		P (Kg.)	V (m ³)	PU (kg/m ³)	
1	1.12	4.800	0.0002	24000	0
2	0.75	4.650	0.0002	23250	0

Tabla 4.5. Resultados de la relación agua-cemento, peso unitario y asentamiento de las mezclas de suelo-cemento.

Mezcla	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (kg)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Densidad (kg/m ³)	Carga máx (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Edad (días)
1.1	15.035	30.835	9.8	177.54	5474.45	1740	300	1.690	21
1.2 *									21
1.3*									21
2.1	15.035	31.110	10.7	177.54	5523.27	1937	2520	14.194	21
2.2**	15.015	31.095	9.5	177.07	5505.99	1725			21
2.3	14.995	31.030	9.4	176.60	5474.90	1717	750	4.247	21

Tabla 4.6. Resultados del Ensayo de Resistencia a la compresión.

*Se dañaron, por disgregación.

**Se dañó en el momento de aplicarse la carga.

Se realizó dos tipos de mezcla. En el primero utilizando el diseño de mezcla propuesto en el Trabajo Especial de Grado “Fabricación y Caracterización de Bloques Aligerados de Suelo-cemento” que corresponde a un 10% de cemento y un 11.2% de agua que es la humedad óptima resultante del ensayo de compactación; y en la segunda mezcla se agregó un 15% de cemento con el mismo contenido de humedad, cuyos valores usuales del contenido del cemento para mezclas de suelo-cemento oscilan entre el 5% y 15%²¹, tomando el máximo valor para evitar la retracción del material, y realizando una mayor compactación. Esta decisión se tomó al observar

²¹ Dota, P., Hays y otros. Construir con Tierra. Fondo Rotatorio Editorial FEDEVIVIENDA. Tomo I y II. Colombia. 1990.

que el curado de las probetas de la primera mezcla se desintegraba en el momento de la manipulación (ver Fotos 4.1.-4.2.)

Los resultados en el ensayo de compresión en probetas de suelo-cemento se observó que aumenta con la cantidad de cemento que contiene la muestra. Es así como al ensayar las probetas elaboradas con la mezcla 2 son las que presentan una mayor resistencia.



Foto 4.1. Probetas de la mezcla 1.



Foto 4.2. Probetas de la mezcla 2.

Se observó que existe una gran variación en los resultados de la resistencia a la compresión entre las probetas, debido a la técnica de compactación inadecuada,

ocasionando espacios vacíos en la mezcla que pueden ocasionar una disminución y variación en la resistencia, porque se esta en presencia de una consistencia dura del material.(Ver Foto 4.3.)



Foto 4.3. Resultante del ensayo de compresión.

En los resultados de la resistencia a la compresión obtenidos con el Trabajo Especial de Grado “Diseño de mezcla para su uso en la elaboración de bloques aligerados de suelo-cemento”, el crecimiento en los valores de la resistencia entre la edad de 7 días y 28 días no era muy significativo, esta referencia se tomó ya que los ensayos se realizaron a los 21 días al observar el gran deterioro de las probetas.

3. PROPIEDADES DE LAS BARRAS DE REFUERZOS.

Barra	Diámetro (pulg.)	Designación	Características medidas de las estrías (cm)			
			Espaciamiento (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)	Inclinación “ α ”
1	3/8	3	1.148	0.048	0.188	80°
2	1/2	4	1.520	0.060	0.254	77°

Tabla 4.7. Características medidas de las estrías.



Foto 4.4. Barras utilizadas de 3/8"



Foto 4.4. Barras utilizadas de 3/8"

LÍMITE ELÁSTICO CONVENCIONAL DE LAS BARRAS.

- Barra de 3/8”.

Área (cm)	0.71
Carga máxima (kg.)	4380
Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	6169
% Alargamiento. En 20% incluyendo las estrías	22.8

Carga (kg)	Deformación (0,01)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria (10 ⁻⁴ cm/cm)
0	0,0	0,0	0,0
300	1,0	422,5	2,0
600	1,9	845,1	3,8
900	3,1	1267,6	6,2
1200	4,5	1690,1	9,0
1500	5,8	2112,7	11,6
1800	7,0	2535,2	14,0
2100	8,3	2957,7	16,6
2400	9,5	3380,3	19,0
2500	10,0	3521,1	20,0
2500	15,0	3521,1	30,0
2500	20,0	3521,1	40,0
2800	25,0	3943,7	50,0
2800	50,0	3943,7	100,0
2890	75,0	4070,4	150,0
3100	100,0	4366,2	200,0
3450	150,0	4859,2	300,0
3720	200,0	5239,4	400,0
3930	250,0	5535,2	500,0

Tabla 4.8. Resultados del ensayo de tracción de la barra de 3/8”.

- Barra de 1/2".

Área (cm)	1.267
Carga máxima (kg.)	8750
Esfuerzo máximo (kg/cm ²)	6906
% Alargamiento. En 20% incluyendo las estrías	23.3

Carga (kg)	Deformación (0,01)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación Unitaria 10 ⁻⁴ cm/cm
0	0,0	0,0	0,0
400	0,3	315,7	0,6
800	1,2	631,4	2,4
1200	2,0	947,1	4,0
1600	3,0	1262,8	6,0
2000	3,9	1578,5	7,8
2400	4,6	1894,2	9,2
2800	5,5	2209,9	11,0
3200	6,2	2525,7	12,4
3600	7,1	2841,4	14,2
4000	8,1	3157,1	16,2
4400	9,0	3472,8	18,0
4800	9,8	3788,5	19,6
4900	10,0	3867,4	20,0
5550	15,0	4380,4	30,0
5550	20,0	4380,4	40,0
5550	25,0	4380,4	50,0
5560	50,0	4388,3	100,0
5560	75,0	4388,3	150,0
6380	100,0	5035,5	200,0
7000	150,0	5524,9	300,0
7580	200,0	5982,6	400,0
8010	250,0	6322,0	500,0

Tabla 4.9. Resultados del ensayo de tracción de la barra 1/2".

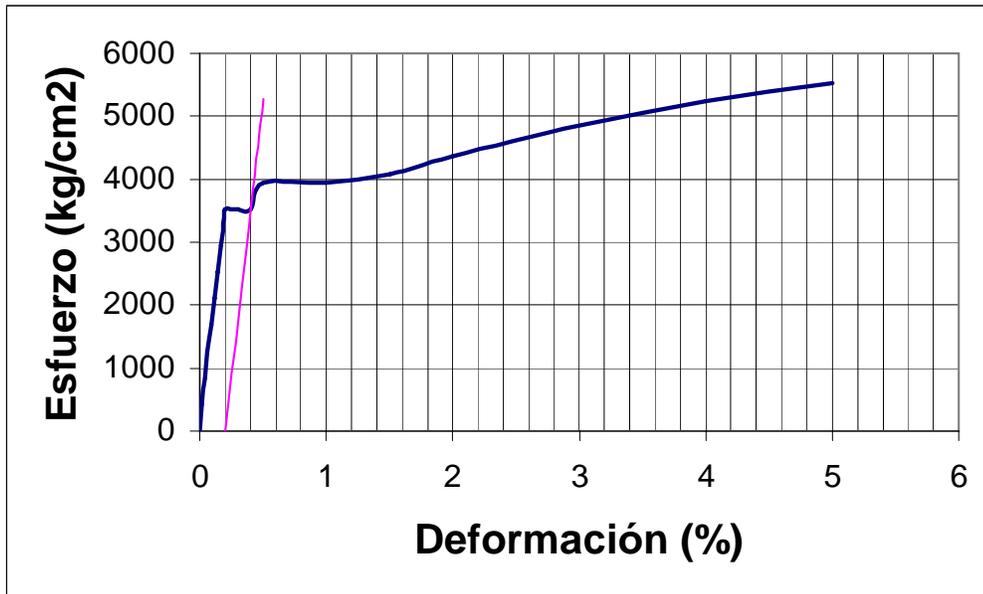


Gráfico 4.6. Esfuerzo-Deformación de la barra de 3/8".

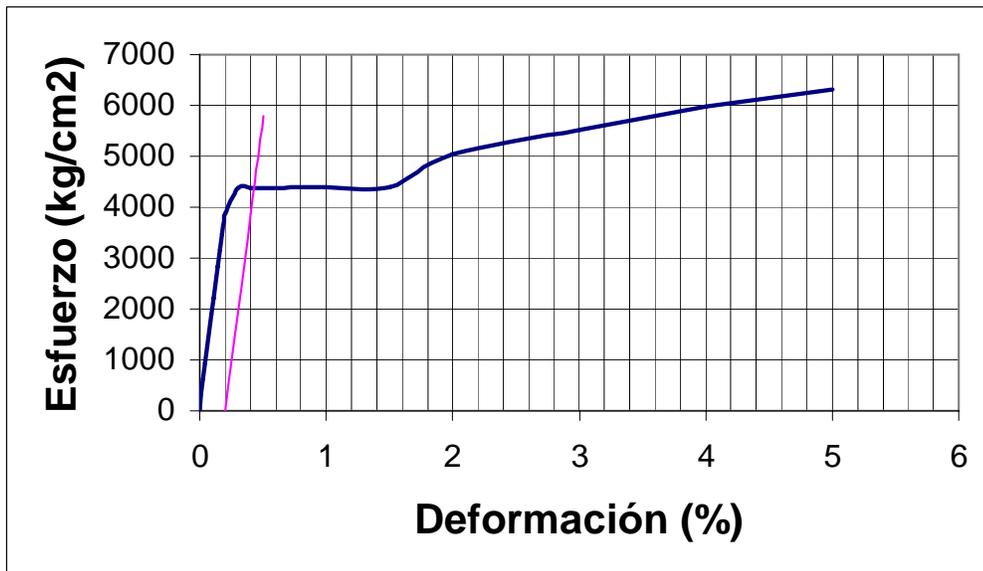


Gráfico 4.7. Esfuerzo-Deformación de la barra de 1/2".

El límite elástico convencional para la barra de 3/8" arrojó un valor de 3520 kg/cm² y para la barra de 1/2" arrojó un valor de 4380 kg/cm².

5. ENSAYO DE EXTRACCIÓN (PULL OUT).

Barra diámetro 3/8”.

Probeta 1.1.		Probeta 1. 2.		Probeta 1.3.	
Esfuerzo (kg/cm ²)	Deslizamiento (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deslizamiento (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deslizamiento (mm)
0	0	0	0	0	0
70.4	0.05	70.4	0.05	70.4	0
140.8	0.12	140.8	0.08	140.8	0
211.3	0.21	211.3	0.14	211.3	0.02
281.7	0.35	281.7	0.18	281.7	0.03
352.1	0.51	352.1	0.24	352.1	0.05
422.5	0.64	422.5	0.30	422.5	0.07
493.0	0.74	493.0	0.41	493.0	0.09
563.4	0.93	563.4	0.53	563.4	0.13
633.8	1.31	633.8	0.65	633.8	0.18
704.2	1.65	704.2	0.70	704.2	0.24
746.5		774.6	1.01	774.6	0.35
		845.1	1.45	845.1	0.50
		884.5		915.5	0.65
				985.9	0.85
				1056.3	1.30
				1087.3	

Tabla 4.10. Resultados del Ensayo de Extracción con barra de 3/8”.

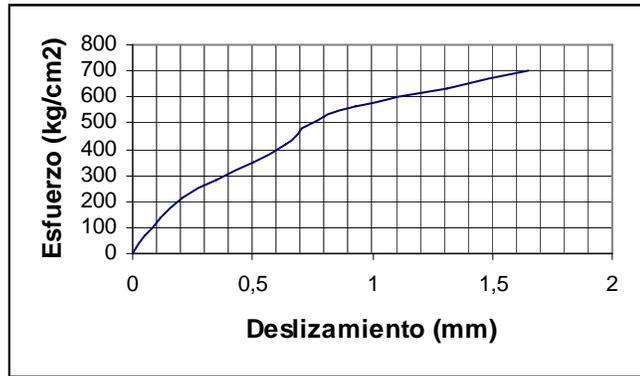


Gráfico 4.8. Esfuerzo-Deslizamiento de la probeta 1.1.

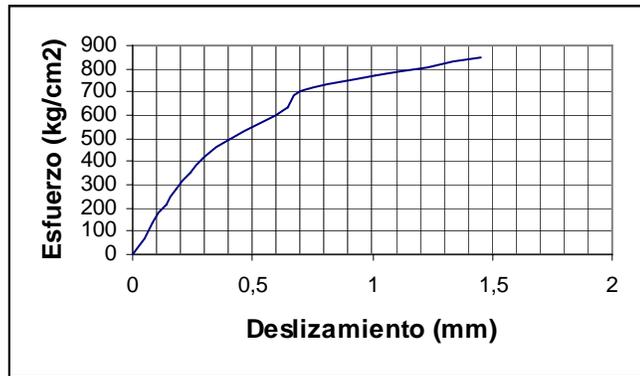


Gráfico 4.9. Esfuerzo-Deslizamiento de la probeta 1.2.

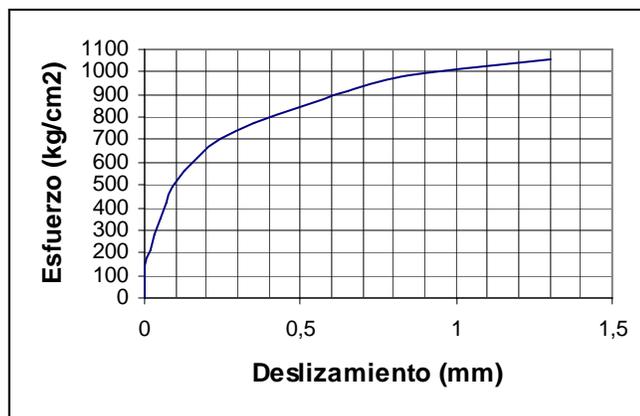


Gráfico 4.10. Esfuerzo-Deslizamiento de la probeta 1.3.

Barra diámetro 1/2".

Probeta 2.1.		Probeta 2. 2.		Probeta 2.3.	
Esfuerzo (kg/cm ²)	Deslizamiento (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deslizamiento (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deslizamiento (mm)
0	0	0	0	0	0
39.5	0.14	39.5	0.44	39.5	0
78.9	0.16	78.9	0.53	78.9	0
118.4	0.17	118.4	0.60	118.4	0.08
157.9	0.18	157.9	0.68	157.9	0.08
197.3	0.19	197.3	0.71	197.3	0.08
236.8	0.20	236.8	0.72	236.8	0.23
276.2	0.22	276.2	0.79	276.2	0.26
315.7	0.23	315.7	0.91	315.7	0.28
355.2	0.25	355.2	1.13	355.2	0.33
394.6	0.25	394.6	1.21	394.6	0.37
434.1	0.25	434.1	1.31	434.1	0.42
473.6	0.25	473.6	1.46	473.6	0.47
513.0	0.25	513.0	1.68	513.0	0.52
552.5	0.25	552.5	2.07	552.5	0.60
591.9	0.25	571.4	2.5	591.9	0.68
631.4	0.34			631.4	0.81
670.9	0.51			670.9	0.91
710.3	0.68			710.3	1.00
749.8	0.90			749.8	1.18
789.3	1.17			789.3	1.53
820.8				828.7	1.88
				868.2	2.18
				895.8	

Tabla 4.11. Resultados del Ensayo de Extracción con barra 1/2".

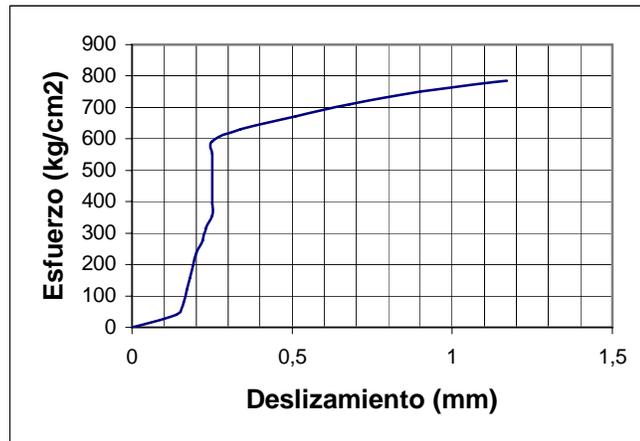


Gráfico 4.11. Esfuerzo-Deslizamiento de la probeta 2.1.

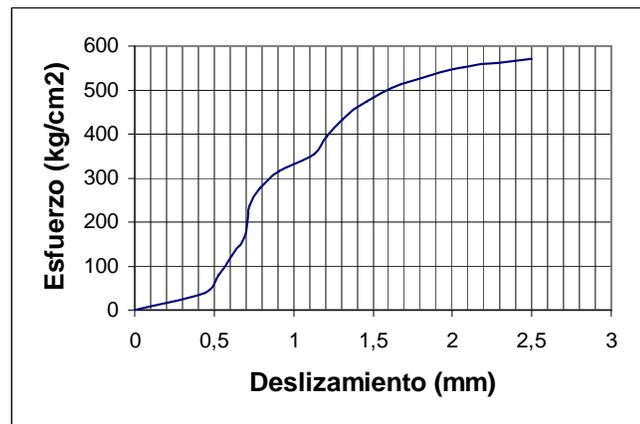


Gráfico 4.12. Esfuerzo-Deslizamiento de la probeta 2.2.

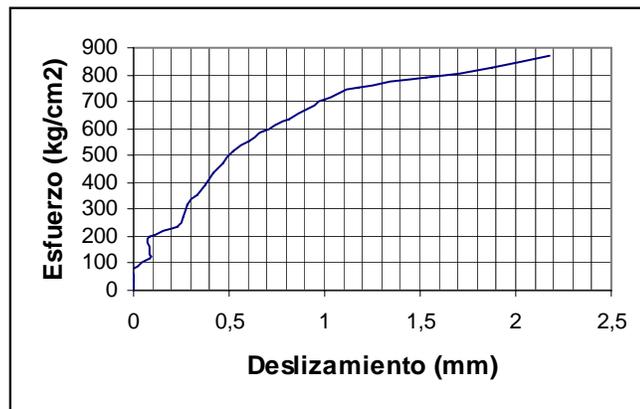


Gráfico 4.13. Esfuerzo-Deslizamiento de la probeta 2.3.

Probetas	Diámetro (mm)	Longitud de Adherencia (mm)	$\gamma_{0,1}$ (kg/cm ²)	U _{0,1} (kg/cm ²)
1.1	9.525	143	120.7	2.01
1.2			164.3	2.74
1.3			510.6	8.50
2.1	12.750	190	28.2	0.47
2.2			9.0	0.15
2.3			202.6	3.40

Tabla 4.12. Esfuerzo de adherencia correspondiente al esfuerzo de la barra capaz de producir un deslizamiento de 0,1 mm.

Probetas	Diámetro (mm)	Longitud de Adherencia (mm)	$\gamma_{\text{máx.}}$ (kg/cm ²)	U último (kg/cm ²)
1.1	9.525	143	746.5	12.43
1.2			884.5	14.73
1.3			1087.3	18.11
2.1	12.750	190	820.8	13.77
2.2			571.4	9.59
2.3			895.8	15.03

Tabla 4.13. Esfuerzo último de adherencia

COMPARACION GRAFICOS ESFUERZO DESLIZAMIENTO DEL ACERO-
CONCRETO²². Vs SUELO CEMENTO.

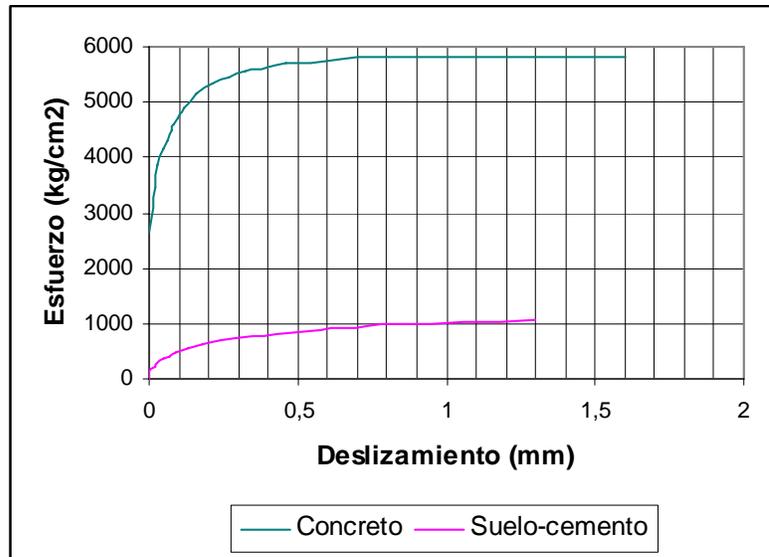


Gráfico 4.14. Esfuerzo-Deslizamiento con barra de 3/8".

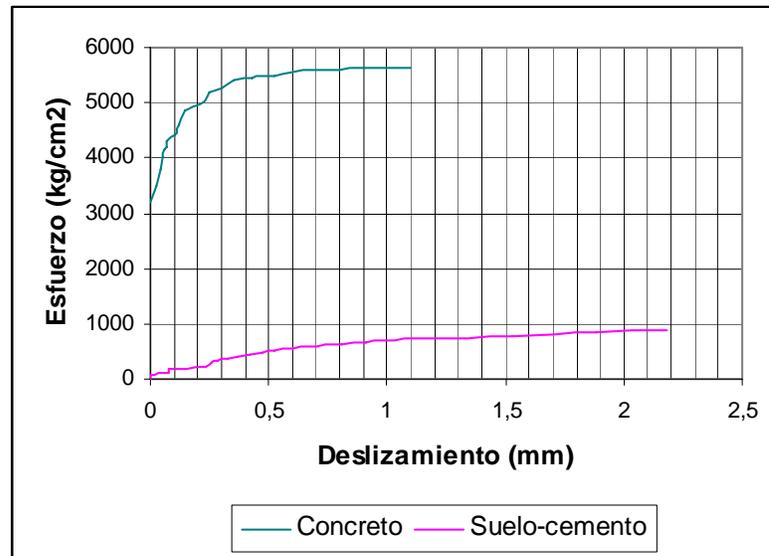


Gráfico 4.15. Esfuerzo-Deslizamiento con barra de 1/2".

²² Fernandes Marylena. Estudio sobre los esfuerzos de adherencia desarrollados entre el acero y el concreto". Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. 1991.

Se realizó el ensayo de extracción con las probetas que contienen 15% de cemento (mezcla 2) Los resultados de la resistencia a la compresión de la mezcla 1 (con 10% de cemento) fueron muy bajos, además se colocó una de las probetas de extracción de la mezcla 1 en posición vertical que con el tiempo se deslizó a través de la barra con su propio peso. (Ver Fotos 4.5.-4.6.)



Foto 4.5. Colocación vertical de la probeta de la mezcla 1



Foto 4.6. Probeta de la mezcla 1 caída.

Las mediciones de los esfuerzos correspondientes a la barra de cada probeta se realizaron hasta que el mortero falló; la barra de refuerzo no alcanzó el límite elástico ni ocurrió un deslizamiento de 2,5 mm en el extremo libre. (Ver Foto 4.7.)



Foto 4.7. Falla por rotura del mortero.

El esfuerzo de adherencia a los 0,1 mm de deslizamiento resultó mayor en las barras de 3/8” que en las barras de 1/2”. Cuando aumenta el diámetro de la barra disminuye el esfuerzo para que ocurra ese deslizamiento, debido a los espaciamientos entre estrías de las barras.

Existió variación en los resultados de los esfuerzos de adherencia entre las probetas de extracción, como ocurrió en el ensayo de la resistencia a la compresión debido a la compactación inadecuada, ocasionando espacios vacíos en la probeta que pudieron ocasionar una disminución y variación en la adherencia. (Ver Foto 4.8.)



Foto 4.8. Espacios vacíos resultantes de la compactación

Las experiencias que existen en ensayos de extracción son muy limitadas ya que se ha aplicado en concreto solamente. En morteros no se halló ninguna referencia con respecto a este tema, por lo que se hizo la comparación con gráficos esfuerzo-deslizamiento con el concreto.

Como se puede observar los esfuerzos de adherencia con el mortero de suelo-cemento resultaron muy bajo en comparación con la del concreto. La resistencia del concreto es aproximadamente 10 veces superior a la del mortero. A mayor resistencia, se produce un incremento en los esfuerzos de adherencia que es capaz de desarrollar la barra.

V. CONCLUSIONES.

De acuerdo al estudio realizado se pudo concluir lo siguiente:

- El suelo utilizado resultó ser una arena no plástica y se encontró dentro de los límites óptimos, pero mal gradada, por lo que pudo influir en la mezcla de suelo-cemento, ocasionando la disgregación del material y disminuyéndole la resistencia.
- El factor de compactación es determinante en la resistencia y durabilidad de las probetas de suelo-cemento.
- Los esfuerzos últimos de adherencia resultó por rotura del mortero, la barra de refuerzo no alcanzó el límite elástico.
- Los esfuerzos de adherencia entre el acero y el suelo-cemento aumentan a medida que disminuye el diámetro de la barra.
- La resistencia es el factor principal en el comportamiento de la adherencia. Este mortero que se utiliza para la elaboración de bloques tiene como característica poseer una resistencia muy baja en comparación con la del concreto.
- El esfuerzo de adherencia, así como depende del diámetro de la barra, también depende de la longitud de adherencia. A mayor longitud de adherencia, mayor es el esfuerzo de la barra que es capaz de producir un deslizamiento.
- El mortero tiene características muy diferentes a la del concreto para hacer una comparación de los esfuerzos de adherencia, ya que no hay experiencias de estudio de adherencia con este material.

- Se hace indispensable tener un control estricto con la relación agua-cemento para lograr una buena consistencia del material y alcanzar la máxima resistencia.
- Cada suelo tiene un comportamiento mecánico distinto, por ende los resultados obtenidos solo deberán tomarse como marco de referencia para el estudio de futuros trabajos.

VI. RECOMENDACIONES.

- Realizar el ensayo con el diseño de mezcla establecido en este trabajo, pero utilizando un método de compactación por apisonamiento o por vibrado que permita reducir los espacios vacíos y determinar su influencia en los resultados.
- Realizar el ensayo variando la longitud de adherencia, que permitan determinar valores mas amplios de esfuerzo de adherencia y obtener los efectos de la misma con el comportamiento del material.
- Continuar con el estudio que permita establecer una metodología y una normativa sobre la adherencia entre el acero utilizado como refuerzo y el mortero de suelo-cemento.
- Construir el muro confinado internamente con bloques aligerados de suelo-cemento y evaluar el comportamiento estructural del mismo.

VII. REFERENCIAS.

Instituto Nacional de Estadística (INE) línea de pobreza 2do semestre del 2003.
<http://www.mipagina.cantv.net/jbhuerta/pobreza.htm>

Instituto Colombiano del Cemento Pórtland. “Suelo-Cemento, un material con muchas aplicaciones”. Boletín N° 139. Enero-Febrero/1991.

Rodríguez, L y Simonpietri, M.. Diseño de mezcla para su uso en la fabricación de bloques aligerados de suelo-cemento. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. 2002.

Gasparini G, Margolies L. Arquitectura de Tierra Cruda en Venezuela. Armitano Editores, C.A. 1998.

F. Leonhardt. On the need to consider the influence of lateral stresses on bond. Symposium on bond and crack formation in reinforced concrete. RILEM-1957.

Ramos, Carlos. Algunas consideraciones acerca de la adherencia acero-concreto. Trabajo de Ascenso. Universidad Central de Venezuela. 1967.

Fernández, Marylena. Estudio sobre los esfuerzos de adherencia desarrolladas entre el acero y el concreto con cabillas de diámetro 3/8”, 1/2”, 5/8”, 3/4” y 1”. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. 1991.

Ugas, C. Guía de Ensayos de Laboratorio en Mecánica de Suelos. Discusión-Evaluación y procedimiento. Facultad de Ingeniería. Universidad central de Venezuela. Caracas. Mayo 1985

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

Dota, P., Hays y otros. Construir con Tierra. Fondo Rotatorio Editorial FEDEVIVIENDA. Tomo I y II. Colombia 1990.

Moreno R. y Sánchez J. Fabricación y Caracterización de Bloques Aligerados de Suelo-cemento. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. 2002.

Norma COVENIN 339:2003 (2ª revisión). Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto fresco, mediante el uso del Cono de Abrams.

Norma COVENIN 349 – 79. Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire en el concreto.

Norma COVENIN 338:2002 (2ª revisión). Método de ensayo para la elaboración, curado y ensayo a compresión de probetas cilíndricas de concreto.

Norma CCCA: AC A-64. Método para el ensayo a tracción de barras de acero ordinario para usarse como refuerzo en el concreto armado (con gráfico).

Norma COVENIN1667-80. Método de ensayo para la determinación de valores comparativos de la adherencia desarrollada entre el concreto y el acero usado como refuerzo.

Instituto Eduardo Torraja. La tierra material de construcción. Monografía N° 385/386. Concejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid 1987.

[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo % 203/](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo%203/). Mampostería 20 % Estructural.

Grisantic, A y Monteverde, J (1983). Adherencia entre la armadura de refuerzo y el concreto liviano. Trabajo Especial de Grado. Universidad Metropolitana.

Gallegos Hector. (1989). Albañilería Estructural. Segunda Edición. Pontificia Universidad Católica de Perú.

Fernández V. y Valera E. Diseño y construcción de un muro confinado de bloques de suelo-cemento. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. 2003.