

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MURO CONFINADO DE BLOQUES ALIGERADOS DE SUELO-CEMENTO

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

Para optar al Título de Ingeniero Civil

Por los Brs. Fernández Martínez Victoria Julia

Y Varela Cáceres Edward Alfonso

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MURO CONFINADO DE BLOQUES ALIGERADOS DE SUELO-CEMENTO

TUTOR ACADÉMICO: Profesor Rodolfo Osers

Profesora María Eugenia Korody

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

Para optar al Título de Ingeniero Civil

Por los Brs. Fernández Martínez Victoria Julia

Y Varela Cáceres Edward Alfonso

A mis amados padres....

Victoria J. Fernández M.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo no habría sido posible sin la colaboración y valiosa ayuda de

Los profesores: Rodolfo Osers
María E. Korody
Ricardo Bonilla
Sergio Rodríguez
Angelo Marinilli
Norberto Fernández
Marco Polo

El personal Técnico y Administrativo del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales

Mi compañero de Tesis

Edward Varela

Mis amistades

Elymer Zavala
Miguel A Zavala
Irama Martínez

Mis padres

Marco Fernández
Nancy Martínez de Fernández

Mi novio

Keiver Chávez

Debo también agradecer al jurado integrado por los profesores Rodolfo Osers, Juan J. Tejón y Gilberto Velazco quienes otorgaron audiencia y dieron positiva valoración académica a la exposición y defensa de nuestra investigación.

Victoria J. Fernández M.

FERNÁNDEZ M. VICTORIA J.
VARELA C. EDWARD A.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MURO CONFINADO DE BLOQUES ALIGERADOS DE SUELO-CEMENTO

**Tutor Académico: Prof. Rodolfo Osers, Prof. María E Korody, Tesis. Caracas, UCV.
Facultad de Ingeniería.
Escuela de Ingeniería Civil**

Palabras Claves: Suelo-Cemento, Mampostería, Viviendas

Resumen

La presente investigación consistió en el diseño y construcción de un muro confinado de bloques aligerados de suelo-cemento de dimensiones 2.10x2.70 metros.

Para la elaboración de los bloques aligerados que constituyeron el paño de mampostería se utilizó el diseño de mezcla y la metodología de fabricación de bloques propuestos en trabajos de grado anteriores.

La metodología de construcción del muro consistió en armar la viga de fundación, amarrarle la armadura de los machones, vaciarla y sobre ésta levantar el paño de mampostería. Posteriormente se ubicó, en el tope del paño, la armadura de la viga de corona. Por último se vaciaron los elementos de confinamiento con concreto de 210 Kg/cm²

Los bloques fueron elaborados en la máquina artesanal del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales. Dicha máquina genera bloques de elevado peso, lo cual dificulta su manipulabilidad. Se recomienda por lo tanto hacer las modificaciones correspondientes en la máquina para que se puedan fabricar bloques de menores dimensiones e incluso medios bloques.

Las unidades de mampostería se unieron entre si con mortero de cemento, cal y arena en proporciones 1:1:4.

Se construyeron también pilas de tres bloques y muretes casi cuadrados que servirán de testigos en pruebas cuyo fin será determinar las propiedades mecánicas del muro construido.

El muro será sometido a un ensayo bajo cargas alternantes como parte de trabajos de investigaciones posteriores al que se presenta.

El sistema constructivo con suelo-cemento es sencillo abriendo la posibilidad para que comunidades de bajos recurso o de ubicación geográfica aislada, fabriquen sus propias viviendas en procesos de autogestión.

TABLA DE CONTENIDO

I. OBJETIVOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
1 OBJETIVO GENERAL	12
2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
II. MARCO TEÓRICO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
1 DEFINICIÓN DE SUELO-CEMENTO	14
2 ANTECEDENTES DEL USO DE SUELO-CEMENTO	14
3 APLICACIONES	15
3.1 PAVIMENTOS	15
3.2 PROTECCIÓN DE TALUDES	16
3.3 REVESTIMIENTOS	16
3.4 ESTABILIZACIÓN DE FUNDACIONES	17
3.5 OTRAS APLICACIONES DEL SUELO-CEMENTO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS	18
4 MAMPOSTERÍA	19
4.1 COMPONENTES DE LA MAMPOSTERÍA	19
4.1.1 BLOQUE	19
Fabricación de bloques	21
Características de los bloques	26
4.1.2 MORTERO DE PEGA	28
Materiales	29
5 PROPIEDADES DE LA ALBAÑILERÍA CONFINADA ⁸	34
6 ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESION ⁸	36
6.1 MECANISMO DE FALLAS	37
7 ENSAYO DE CORTE	39
7.1 TESTIGO, ENSAYO Y EVALUACIÓN	39

 TABLA DE CONTENIDO

8 ENSAYO BAJO CARGA ALTERNANTE	40
III. METODOLOGÍA DE DISEÑO _____ ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
1 VIGA DE FUNDACIÓN	44
1.1 REVISIÓN VIGA DE FUNDACIÓN	44
1.2 DISEÑO DE COLUMNAS	44
1.3 DISEÑO DE VIGA DE CORONA	47
IV. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN _____ ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
1 FABRICACIÓN DE BLOQUES ALIGERADOS DE SUELO-CEMENTO	52
1.1 MATERIALES Y EQUIPOS NECESARIOS PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS BLOQUES ALIGERADOS DE SUELO-CEMENTO	52
1.2 METODOLOGÍA PARA LA FABRICACIÓN DE LOS BLOQUES	52
1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	52
1.2.2 PREPARACIÓN DEL SUELO	54
1.2.3 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA DE SUELO-CEMENTO	54
1.2.4 MEZCLADO	54
1.2.5 FABRICACIÓN DEL BLOQUE CON LA MÁQUINA ARTESANAL	55
1.2.6 VACIADO DE LA MEZCLA EN LA FORMALETA	56
1.2.7 PROCESO DE DESENCOFRADO Y ALMACENAMIENTO DE LA UNIDAD DE MAMPOSTERÍA.	57
1.2.8 CURADO	58
2 CONSTRUCCIÓN DEL MURO	58
2.1 METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN	58
V. METODOLOGÍA DE ENSAYO _____ ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
1.2. ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN	66
2.2 ENSAYO DE CORTE	66
2.3 ENSAYO BAJO CARGA ALTERNANTE	67
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS _____ ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
VII. CONCLUSIONES _____ ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
VIII .RECOMENDACIONES _____ ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
IX BIBLIOGRAFÍA _____ ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes de una Unidad de Mampostería _____	20
Figura 2 Partes de un bloque aligerado _____	21
Figura 3 Mecánica de la adhesión _____	29
Figura 5 Sistema de Registro de Datos para Ensayo de Carga Alternante ² _____	42
Figura 6 Diagrama de Carga Viga de Fundación _____	45
Figura 7 Despiece Viga de Fundación _____	46
Figura 8 Despiece de Columna _____	48
Figura 9 Muro _____	49
Figura 10 Despiece Viga de Corona _____	50
Figura 11 Máquina artesanal para fabricación de bloques _____	56
Figura 12 Palanca de compactación _____	56
Figura 13 Plancha de compactación _____	56
Figura 14 Palanca de desencofrado _____	57
Figura 15 Depósito de Bloques de Suelo-Cemento _____	58
Figura 16 Estribos y Ligaduras _____	59
Figura 17 Armado Viga de Fundación _____	59
Figura 18 Tubo de diámetro 3" para anclaje _____	60
Figura 19 Armadura de Machón enlazada a armazón de viga de fundación _____	60
Figura 20 Armadura de Viga de Fundación dentro de Encofrado de Madera _____	60
Figura 21 Separador Aislado _____	61
Figura 22 Separadores Amarrados a armadura de Viga de Fundación _____	61
Figura 23 Vaciado de Viga de Fundación _____	61
Figura 24 Viga de Fundación Vaciada _____	61
Figura 25 Construcción del Paño de Mampostería sobre Viga de Fundación _____	62
Figura 26 Bloque a ser picado en dos _____	64
Figura 27 Bloque picado por la mitad _____	64
partes iguales _____	64
Figura 28 Pila de Bloques _____	66
Figura 29 Murete para Ensayo de Corte _____	67
Figura 30 Prensa Universal. INME, UCV _____	67
Figura 31 Celda de Presión _____	68
Figura 32 Diseño de bloque y medio bloque propuesto _____	77
Figura 33 Diseño de canaletas para la cara inferior _____	78

INTRODUCCIÓN

El suelo-cemento, conocido también como suelo estabilizado, se define como una mezcla de cemento, suelo y agua, que al compactarse se convierte en un material durable y de buena resistencia mecánica.

Este material ha sido utilizado principalmente como Base y/o Sub-base de pavimentos flexibles o rígidos y pisos sometidos a diversas sollicitaciones de tráfico y carga. También se ha aplicado ampliamente en estabilización de fundaciones y en revestimientos de baja permeabilidad

En Países como Argentina, Brasil y El Salvador se esta aplicando ampliamente el suelo-cemento en la construcción de viviendas de interés social. Este material utiliza, en general, materiales locales y en especial del entorno, economizando el costo de construcción que tiene un alto componente en el transporte.

En Venezuela, comienza a plantearse la construcción de viviendas de suelo-cemento como una alternativa económica, sencilla y accesible para comunidades de bajos recursos ó cuya ubicación geográfica las hace de difícil acceso. En la Universidad Central de Venezuela se sigue actualmente la línea de investigación de Nuevos Materiales y Técnicas Constructivas. Dentro de ésta se ha enmarcado el estudio del suelo-cemento como material estructural para viviendas de bajo costo. De estas investigaciones han surgido metodologías para la preparación del diseño de mezcla y fabricación de bloques aligerados de suelo-cemento. Se busca a largo plazo proponer un sistema constructivo, que pueda ser empleado por las referidas comunidades para la fabricación de sus viviendas.

Como continuación de esta investigación, se construyó un muro confinado de bloques aligerados de suelo-cemento para su posterior ensayo bajo cargas alternantes. Este ensayo arrojará indicadores sobre el comportamiento del suelo-cemento ante acciones sísmicas.

Los bloques utilizados fueron fabricados en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, utilizando como guía el diseño de mezcla y la

metodología de fabricación de bloques propuestas en trabajos anteriores presentados como requisito para promociones de grado

En el presente documento se describe la metodología utilizada para la construcción del muro y se exponen observaciones, conclusiones y recomendaciones que ayudarán a mejorar el proceso constructivo de muros utilizando bloques de suelo-cemento.

La sencillez del sistema constructivo de estos muros abre las posibilidades para que puedan fabricarse las viviendas en procesos de autogestión de las propias comunidades después del adiestramiento sobre el proceso de selección del material, preparación de la mezcla, fabricación de los bloques y construcción de los paños de mampostería.

I. OBJETIVOS

1 OBJETIVO GENERAL

Construir un muro confinado de bloques aligerados de suelo-cemento para ser ensayado bajo cargas laterales

2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Plantear método para construcción de un muro confinado
- Proponer especificaciones para la construcción del muro
- Fabricar los bloques aligerados de suelo-cemento con los que se hará el muro
- Construir el muro

II. MARCO TEÓRICO

1 DEFINICIÓN DE SUELO-CEMENTO¹

El suelo-cemento está definido por el Instituto Americano de Concreto, en sus publicaciones especiales sobre terminología del cemento y concreto, como una mezcla de suelo, con cantidades medidas de cemento Portland y agua, compactada a alta densidad. Puede ser definido en forma más amplia como el material producto de mezclar, compactar y curar la conjunción de suelo-agregado, cemento Portland y otros ingredientes, incluyendo puzolanas y agua, para formar un material endurecido con específicas propiedades requeridas en ingeniería de construcción.

2 ANTECEDENTES DEL USO DE SUELO-CEMENTO

La primera referencia del uso del suelo como material de construcción data de la época de Aníbal, durante la segunda Guerra Púnica, en la edificación de torres de observación para vigías. Estas torres fueron encontradas en sus sitios de emplazamiento unos 300 años después de construidas.

Observadores de las últimas décadas han certificado la existencia de estas estructuras de suelo después de 20 siglos.

Desde hace unos 10.000 años, el hombre ha utilizado el suelo en la construcción de fortificaciones, templos y viviendas. Después obtuvo materiales como el adobe, que ha jugado un papel importante en la dinámica del proceso constructivo además de hacer posible la cimentación de estructuras de gran tamaño.

Unos 25 años A.C. , los romanos dieron una trascendental contribución al desarrollo de la construcción con la invención del concreto y del mortero de cemento.

No se tiene referencia de avances importantes en la tecnología de la construcción hasta el siglo XVIII, época en la que se establecen industrias para la fabricación de bloques de arcilla. La construcción en gran escala y las exigencias de normas planteadas a dicho proceso, obliga a la necesidad de recurrir a técnicas y métodos científicos en el análisis, para determinar con precisión el comportamiento de éste material. Como consecuencia de tal necesidad se realizan análisis racionales de las materias primas, se toman medidas exactas de las temperaturas de los hornos y se formulan normativas para controlar la calidad de los ladrillos. Así, la evolución se extiende hasta la propia invención de la maquinaria empleada en el proceso de fabricación que va desde la molienda de la arcilla hasta el corte de piezas que van a los

¹ Instituto Colombiano del Cemento Portland. "Suelo-Cemento, un material con muchas aplicaciones". Boletín N°139, Enero-Febrero/1991.

hornos. Bajo esta revolución tecnológica nace y se patenta la elaboración de bloques de concreto

Se sabe que durante el año 1797 el arquitecto François Coiteaux diseñó diversos procedimientos para la estabilización del suelo, buscando aumentar su resistencia y mejorar su aplicación en el proceso constructivo.²

Durante la primera mitad del siglo XX el uso del suelo como material de construcción es desplazado por el empleo de materiales industriales tales como el acero, el cemento y el concreto armado. Sin embargo, la crisis ecológica, energética y económica a nivel mundial, ha generado el resurgimiento de materiales y métodos alternativos que ofrecen mayores posibilidades de ahorros económicos y protección del medio ambiente. Uno de estos métodos alternativos, se fundamenta en el uso del suelo-cemento como material de construcción.

3 APLICACIONES

3.1 PAVIMENTOS

El suelo-cemento tiene su aplicación más importante como sub-base y base de pavimentos de concreto. Se emplea especialmente en infraestructuras rurales y en superficies destinadas a usos rústicos.

El uso del suelo-cemento en los EEUU registra estadísticas relevantes. Desde 1930, hasta la fecha actual se ha empleado dicho material en construcciones de pavimento que pueden asimilarse a una superficie equivalente de 161000 Km. de longitud por 7 metros de ancho-.

El suelo-cemento se introduce en Venezuela en el año 1963. Entonces se utilizó como material para la construcción de sub-Bases de carreteras, en el tramo que une las poblaciones de Biruaca y Achaguas (Edo. Apure). Posteriormente se emplea en muchas obras de gran envergadura: Aeropuerto de la Chinita en Maracaibo (1969); autopista Valencia-Campo de Carabobo (1972); Circunvalación Norte de Barquisimeto (1998); Patio de Manejo de Coque-SINCOR en el Criogénico de Oriente (2001); Aeropuerto Internacional de Maiquetía (1972), Autopista Centro Occidental; y Troncal 002 El Baúl – Arismendi (2001).

² Klees Delia R. **Fabricación de Componentes Modulares para la Construcción de Viviendas de Bajo Costo Utilizando Suelo-Cemento.** Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Nordeste. Argentina, 2002

3.2 PROTECCIÓN DE TALUDES

La estabilización de taludes con suelo-cemento es un método ampliamente extendido en virtud de los buenos resultados que se obtienen con su uso. Entre las bondades que ofrece dicho método destaca el logro de altos índices de resistencia y reducción de permeabilidad, en comparación con los obtenidos en métodos convencionales.

El proyecto de mayor envergadura mundial en protección de taludes con suelo-cemento fue realizado para estabilización de un estanque de 2835 Ha, utilizado para el enfriamiento de agua servida por una planta de energía nuclear, cerca de Houston, en el sur de Texas. 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.

3.3 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.

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 sólidos, el suelo-cemento había endurecido apreciablemente y podían cortarse cilindros como en el concreto de cemento Portland. También disminuyó su permeabilidad durante el período de ensayo.

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

Los resultados indican que a pesar de la acción de estos desechos peligrosos, 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 a 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 al ser sometido a la acción de barros plásticos de petróleo, lo cual estaría indicando la

necesidad de hacer ensayos previos, antes de someterlos a acciones de este tipo.

Se infiere entonces la conveniencia de usar suelo-cemento para revestimiento de superficies sometidas a la acción de desechos peligrosos y agentes que en general sugieren la necesidad de una máxima protección contra filtraciones. Un ensayo demostrativo de la efectividad del suelo-cemento fue realizado en 1983, cerca de Apalachin, New York. Al efecto se colocó una sección de polietileno de alta densidad entre dos capas de suelo-cemento de 15 cm de espesor cada una. Después que la capa superior de suelo-cemento fue compactada, 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.

3.4 ESTABILIZACIÓN DE FUNDACIONES

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

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

En la represa de Chochiti, situada en el centro norte del Estado de Nuevo 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 la Universidad Central de Venezuela se han hecho investigaciones sobre el comportamiento del suelo-cemento en la construcción de placas de fundación para viviendas de bajo costo

Según los resultados de esta investigación, se considera que las placas de fundación de suelo-cemento, cumplen con las exigencias de carga impuestas por una vivienda unifamiliar rural, logrando transmitir los esfuerzos de una manera adecuada a una profundidad de 25 cm. Desde el punto de vista económico ésta alternativa presenta menores costos que las variantes de fundación usadas tradicionalmente: una placa de fundación maciza en concreto armado de 20 cm de espesor

y una placa de fundación maciza de 12.5 cm de espesor con vigas auxiliares de 40 cm de arista³

3.5 OTRAS APLICACIONES DEL SUELO-CEMENTO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS

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 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.

En Venezuela se introdujo un sistema de construcción conocido como tapia, similar al descrito en el párrafo anterior. Sin embargo este sistema sólo utiliza tierra como material de construcción. Fue introducido en el país en tiempos de la colonia, extendiéndose principalmente en la región andina. Edificaciones eclesiásticas y gubernamentales llegaron a ser construidas con este sistema.⁴

En la zona andina todavía se usa la tapia como sistema constructivo. Cada vez son más los cafés y posadas que ofrecen lo tradicional como atractivo principal para captar la atención del visitante. Las experiencias más representativas son las de Los Aleros y La Venezuela de Antier donde se han levantado caseríos completos de pura tapia.

En el Estado Monagas, se han construido casas con bloques aligerados de suelo estabilizado, utilizando ripio. Se han construido incluso cabañas de montaña con fines turísticos.

³ Cabrera Sorelys y Hernández Álvaro (2003). **Uso del Suelo-Cemento en la Construcción de Placas de Fundación para Viviendas de Bajo Costo**. Trabajo Especial de Grado Universidad Central de Venezuela.

⁴ ASCANIO, Alejandro. **La tapia: un arte que se niega a morir**. Mérida (Venezuela). Artículo en línea disponible en <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n20/aaasc.html>. Consultado el 05/06/04

4 MAMPOSTERÍA⁵

Como mampostería se entiende la elaboración de estructuras mediante la disposición ordenada de unidades de construcción (bloque, ladrillo), cuyo peso y tamaño depende del sistema de albañilería que se vaya a emplear (manual, equipo mecánico, equipo motorizado, etc.).

Según el tipo de junta, la mampostería puede ser: al tope, cuando no tiene ningún elemento de unión en las juntas entre las unidades; y pegada, cuando existe una capa de mortero en las superficies o puntos de contacto entre las unidades, o sea en las juntas.

Desde el punto de vista de su configuración funcional, la mampostería puede ser: estructural, cuando los muros que conforma deben soportar tanto su propio peso como las cargas horizontales y verticales actuantes sobre sus planos; y no estructural, cuando los muros deben soportar tan solo su propio peso y servir como división entre dos espacios.

Ambos tipos de mampostería se pueden elaborar con unidades perforadas verticalmente (bloques) o macizas (ladrillos). Los principios de fabricación, calidad, construcción y desempeño, se aplican de igual manera para ambos. Sin embargo, en el presente documento, las unidades de mampostería a las que se hace referencia, a no ser que se indique lo contrario, serán unidades perforadas verticalmente (bloques).

4.1 COMPONENTES DE LA MAMPOSTERÍA

4.1.1 Bloque

Definición

El bloque o unidad de mampostería de perforación vertical es un elemento prefabricado, con forma de prisma recto y con una o más perforaciones verticales que superan el 25% de su área bruta. Se utiliza para elaborar mamposterías (por lo general muros), y es responsable, en muy buena medida, de las características mecánicas y estéticas de éstas.

El bloque es la unidad por excelencia para la construcción de mamposterías estructurales, debido a la posibilidad de reforzar el muro en ambos sentidos de su plano, colocando barras en las celdas que

⁵ Asociación Argentina del Bloque de Hormigón. [Página Web en línea]. **Manual de Mampostería** Disponible en <http://www.aabh.org.ar>. Consultado el 05/04/04

conforman las perforaciones, alambres en sus juntas o barras en vigas horizontales generadas con bloques de tabiques recortados

Estas unidades se caracterizan por tener dimensiones y pesos variables debiendo ser a la vez manejables, permitiendo el adecuado montaje durante el proceso constructivo.

Partes de un bloque

A cada parte del bloque se le ha dado un nombre para propósitos de normalización y escritura de textos académicos, (Figuras 1 y 2). Sin embargo, dichos nombres pueden diferir según el léxico que se utilice en cada lugar para la construcción.

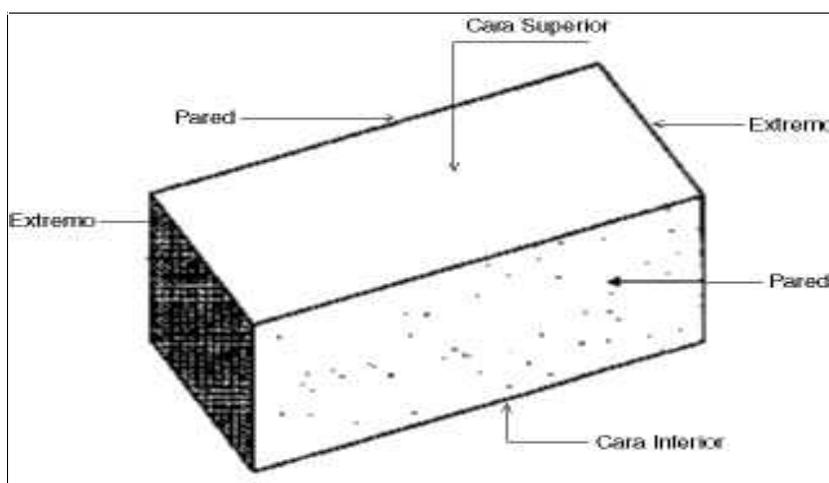


Figura 1 Partes de una Unidad de Mampostería⁶

⁶ Moreno Rafael y Sánchez Jonathan (2002). **Fabricación y Caracterización de Bloques Aligerados de Suelo-Cemento**. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.

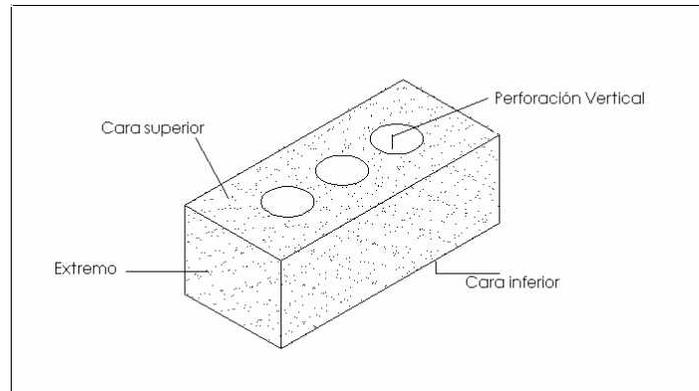


Figura 2 Partes de un bloque aligerado⁷

Fabricación de bloques

Diseño de mezcla⁷

En el diseño de mezcla de suelo-cemento intervienen los siguientes componentes:

El suelo:

Debe ser seleccionado "in situ" para no incrementar los costos de la elaboración de las unidades de mampostería.

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:

- Constitución del suelo
- Ensayo de Granulometría
- Ensayo de Sedimentación
- Límites de Atterberg
- Pruebas Proctor
- Pruebas de campo: olor, mordedura, brillo, tacto, lavado de manos, color
- Prueba de sedimentación amplificada

El suelo debe contener un 10 % de arcilla aproximadamente para asegurar las propiedades cohesivas necesarias. Debe estar constituido por un esqueleto mineral (arena-gravillas) que asegure una acción eficiente

⁷ 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, Caracas.

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

El cemento

Para mejorar las propiedades físicas 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 mejoran los enlaces existentes entre las partículas del suelo y se reducen 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 calidades de cohesión, rigidez y erosión.

La presencia del cemento crea entre las partículas mas gruesas de los suelos (arenas 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 adicción del cemento; la estabilización en este caso habrá sido totalmente inútil con la consiguiente degradación del material.

El cemento utilizado es el tipo Portland I. Utilizar cementos de alta resistencia es contraindicado, debido a que estos son 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 alto contenido secundario (cemento Portland de hierro, cemento de altos hornos, cementos metalúrgicos mixtos) son muy delicados en cuanto al curado se refiere.

Los valores usuales del contenido de cemento vienen expresados en porcentajes de peso del suelo. Estos oscilan entre el 5 y el 15 % de acuerdo con el Trabajo Especial de Grado "**DISEÑOS DE MEZCLA PARA EL USO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES ALIGERADOS DE SUELO-CEMENTO**"⁸ elaborado por Rodríguez Loly y Simonpietri Mauricio en la Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería.

Efectos del cemento sobre la mezcla

- 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. Por ejemplo un aumento en la resistencia puede ser rápido con bajos contenidos de cemento, o puede ser proporcional al contenido del cemento ó que, para bajos contenidos de cemento, se presente disminución de la resistencia.

- 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 del agua. Esto es logrado si se obtienen una disminución de la resistencia mecánica aceptable, luego de sumergir el bloque en agua

- Variaciones proporcionales en presencia de agua

La estabilización con el cemento disminuye la contracción en el secado y el crecimiento por humedad de las unidades. Con tan solo un cinco por ciento de contenido de cemento se logra una contracción lineal inferior al uno por ciento; por lo tanto este efecto reduce los riesgos de fisuras que se producen en la unidad. Con un contenido superior a este no se logra 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.

- 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 frente a la acción de la lluvia.

Agua

El agua es uno de los componentes mas importantes ya que define la trabajabilidad y el grado de compactación de la mezcla. 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 los bloques. Se descartará en principio el agua con materia orgánica y que presente contenido salino, ya que provocaría eflorescencias inaceptables, las aguas ricas en sulfato pueden también ser desfavorables.

El proceso de fabricación de bloques, se inicia con la elección del tipo de equipo de producción y del proceso de curado, almacenamiento y despacho, que sea adecuado en escala, tecnología y costos, al medio o al proyecto que se va a emprender.

Dentro del proceso de fabricación de las unidades es importante tomar en cuenta que debido a la baja relación entre el suelo y el cemento, hay que garantizar que la mezcla sea homogénea, pues la eficiencia en esta etapa asegura la producción de hidratos. En caso de utilizar métodos automáticos de alimentación de mezcla en los moldes, hay que garantizar una distribución adecuada en los mismos debido a que una errónea e irregular distribución altera las propiedades de las unidades

Deben seleccionarse materiales (suelo y cemento) de buena calidad, limpios y con una granulometría adecuada, la cual viene indicada según las dimensiones de las unidades, resistencia y textura esperada. Es importante la elección del tipo de cemento a utilizar ya que éste en conjunto con el grado de compactación proporcionado, determina la resistencia de la unidad terminada.

La dosificación de los materiales será determinante en las características del producto terminado, razón por la cual debe prepararse un diseño de mezcla con las proporciones adecuadas.

El suelo y el cemento se introducen en una mezcladora, en cantidades calculadas, siguiendo una secuencia específica; después de esto se agrega un volumen calculado de agua, teniendo en cuenta la humedad que será incorporada por el suelo. La pigmentación se agrega, si es el caso, diluida en el volumen de agua calculado.

Llenado del molde

Una vez que está preparada la mezcla se procede a llenar el molde por capas

Molde: Caja rectangular de acero formada por cuatro platinas de 3mm de espesor aproximadamente, montada sobre cuatro soportes, con 3 cilindros en su interior ubicados equidistantes, de 9 centímetros de diámetro.

Compactación

La calidad de las unidades fabricadas se incrementa con el grado de compactación. La aplicación de compactación manual junto con el vibrado del molde garantiza que la mezcla se distribuya uniformemente en todo el molde. Al compactar mediante la palanca de compactación, se garantiza un grado de compactación idóneo para la fabricación de bloques.

Palanca de Compactación : Palanca ubicada en la parte superior de la máquina la cual ejerce presión uniforme sobre la mezcla colocada en el molde

La vibración del molde se produce a través de un motor eléctrico que hace girar una masa excéntrica con respecto a su eje de giro.

Desmolde

Una vez realizada la compactación se procede al desmolde, aplicando presión sobre la mezcla con la palanca de compactación, se utiliza la palanca de desencofrado para desmoldar, ambas simultáneamente para que el bloque se deslice sobre su molde, garantizando que este quede sobre la tabla que actúa como fondo del molde. El bloque recién compactado debe ser manipulado con precaución ya que todavía está húmedo y no ha alcanzado la resistencia suficiente para mantener su forma.

Características de los bloques

Densidad (peso) (D)

La densidad de las unidades para mampostería depende, fundamentalmente, del peso del suelo y del proceso de fabricación (compactación dada a la mezcla); y en menor grado de la dosificación de la mezcla (contenido de cemento, porcentaje de agua).

Se debe buscar que la densidad sea siempre la máxima que se pueda alcanzar con los materiales, dosificaciones y equipos disponibles, pues de ella dependen directamente todas las demás características de las unidades tales como la resistencia a la compresión, la absorción, la permeabilidad, la durabilidad y su comportamiento a la manipulación durante la producción, transporte y manejo en obra; su capacidad de aislamiento térmico y acústico y las características de su superficie como la textura, el color, etc.

Resistencia a la Compresión

Esta propiedad es de difícil medición debido a que existe gran variedad de formas y dimensiones de unidades, por lo tanto no se puede relacionar directamente el resultado de los ensayos con la verdadera resistencia de la masa componente. El efecto de la forma en conjunto con la esbeltez se debe a los cabezales de la máquina de compresión, la cual modifica el estado de los esfuerzos por unidad. Por otro lado, también el confinamiento causado por el cabezal es notorio cuando se altera el valor de la altura, sin variar la masa de las unidades. Influyen también en esta propiedad las variaciones de las materias primas del diseño de mezcla

En definitiva, la resistencia a la compresión de los bloques, tal como se mide actualmente en el ensayo de compresión estándar, es función no sólo de la resistencia intrínseca de la masa sino también de la altura y forma de la unidad, teniendo en cuenta que los valores obtenidos son sólo indicativos generales del comportamiento estructural de las unidades. Su durabilidad debe ser juzgada acompañando al resultado del ensayo de compresión con los valores de la absorción máxima del coeficiente de saturación

Se hace el estudio de esta propiedad mediante el ensayo a compresión de pilas de mampostería.

Variabilidad Dimensional

La variabilidad en las dimensiones de las unidades de mampostería altera el espesor del muro y del mortero de pega, modificando las características estructurales constructivas (apariencia final del muro, niveles de enrase, alineación de juntas, acabados adicionales, etc.). El sistema de unidades de suelo-cemento para mampostería es rigurosamente modular, y dado su proceso de fabricación las medidas son muy precisas y constantes. Sin embargo, deben estar dentro de ciertos límites pues variaciones entre celdas de moldes o el desgaste de los mismos, pueden dar lugar a diferencias entre unidades supuestamente iguales.

Acabado y Apariencia

Como las unidades serán utilizadas en construcciones de mampostería expuesta, la pared o paredes de las unidades, que van a estar expuestas, no deben presentar desportilladuras ni grietas, ni se permiten otras imperfecciones visibles al observarlas desde una distancia igual o mayor de 6 m, con una fuente de luz difusa.

Todas las unidades deben estar sanas y no deben tener fisuras ni otros defectos que interfieran con un proceso de colocación de la unidad apropiado, o que perjudiquen significativamente la resistencia o permanencia de la construcción. Las fisuras menores, inherentes al método de fabricación, o las desportilladuras menores que resultan de los métodos usuales de manipulación en el despacho y en la entrega, no son motivo de rechazo.

Durabilidad

Al margen de aspectos vinculados a la eflorescencia, resistencia a los sulfatos y al desgaste por abrasión, el principal aspecto de durabilidad se refiere a los efectos de la intemperie sobre el bloque.

Aislamiento acústico

Debido a las perforaciones verticales de los bloques, su área neta transversal varía entre el 40% y el 50% del área bruta, lo que proporciona cámaras aislantes que pueden ser reforzadas en su función al rellenarlas con materiales como espuma, fibra de vidrio, etc.

Aislamiento térmico

Se pueden rellenar las perforaciones con materiales que, por lo general, funcionan también como aislantes acústicos; o se pueden aprovechar las celdas que se conforman en los muros de bloques para permitir la circulación de aire por su interior y aliviar la carga de almacenamiento térmico del muro; o, en sistemas cerrados, para ganar carga térmica bajo láminas de vidrios en colectores solares.

4.1.2 Mortero De Pega ⁸

El mortero de pega es el elemento que une las unidades de mampostería a través de las juntas verticales y horizontales, en virtud de su capacidad de adherencia. Debe tener una buena plasticidad y consistencia para poderlo colocar de la manera adecuada. Además debe tener suficiente capacidad de retención de agua, para que las unidades de mampostería no le roben la humedad y se pueda desarrollar la resistencia de la interfase mortero-unidad, mediando la correcta hidratación del cemento del mortero.

Diferentes ensayos e investigaciones han demostrado que la adhesión del mortero con la unidad de albañilería es de naturaleza mecánica. Cuando el mortero entra en contacto con la unidad de albañilería, ésta succiona agua de él. Como el agua contiene elementos solubles del cemento, éstos son introducidos en el proceso de succión del agua en los poros capilares de la unidad de albañilería y al cristalizar forman el engrape mecánico que es la base de la adhesión. Dada la naturaleza de la adhesión ésta será incrementada tanto por el aumento de la rugosidad superficial en la cara de asiento de la unidad, como por la presencia de alvéolos o cavidades en la misma cara donde pueda introducirse el mortero, aunque sea superficialmente ⁹

En la práctica, el proceso de adhesión es más complejo. En la figura 3 se muestra, a nivel de imitación, cómo ocurre la mecánica de adhesión en la realidad de una obra. Se puede notar que la unidad inferior tiene, por naturaleza misma del proceso, una mayor adhesión con el mortero que la superior. Esto es también notorio en la práctica, donde fallas de tracción ocurren prácticamente siempre en la interfase superior del mortero

⁸Gallegos Hector **Albañilería Estructural**. Pontificia Universidad Católica del Perú. Segunda Edición 1991. Fondo Editorial 1989

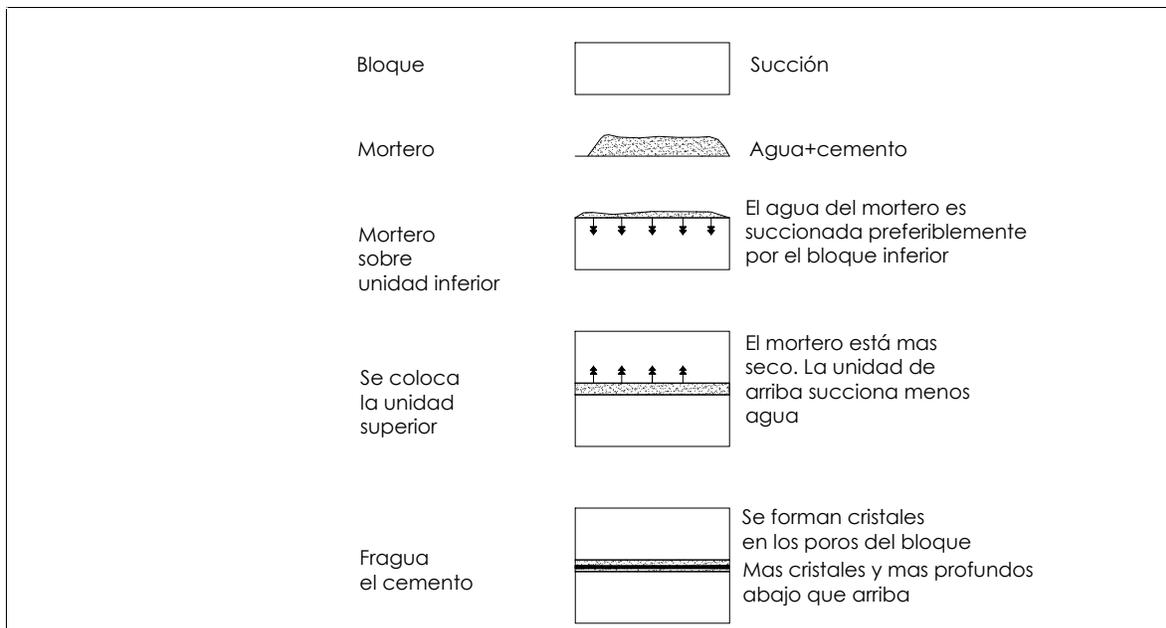


Figura 3 Mecánica de la adhesión⁹

Por lo general el mortero está constituido por cemento, cal, arena, agua y aditivos. Se puede emplear cemento Portland corriente, o cemento para mampostería el cual produce un mortero con mayor plasticidad y retención de agua.

Materiales

Agua de mezcla

El agua es el único componente que determina la consistencia o fluidez del mortero. La experiencia en preparación y uso del mortero, ha probado que para lograr la máxima adhesión debe buscarse la máxima consistencia compatible con la manipulación del mortero; y que debe añadirse agua para recuperar la consistencia perdida por secado del mortero, siempre y cuando esto se haga antes de que empiece la fragua inicial del cemento. Esta fase puede establecerse, conservadoramente, como una hora y media en climas calientes y dos horas en climas fríos

El agua en general debe ser limpia y estar libre de sustancias deletéreas tales como aceites, ácidos, álcalis o cualquier otra que resultare dañina. La utilización de agua de mar es tolerable cuando no hay armadura en la hilada y siempre y cuando se admita, en la edificación

terminada, la eflorescencia que las sales presentes en ella inevitablemente causarán. El agua para uso doméstico es siempre satisfactoria.

Cemento

Los cementos utilizados para el mortero de pega pueden ser Portland Tipo I, II, III.

El cemento Portland es el responsable del valor de adhesión y de la resistencia a la compresión (temprana y final) de los morteros.

El cemento Portland se caracteriza por producir contracciones de fragua que tienden a retraer el mortero y destruir la adhesión lograda con las unidades de albañilería

Puede afirmarse que el cemento Portland es el componente esencial del mortero. Sin embargo debe entenderse que él no puede alcanzar su potencial sin la presencia de la cal. La práctica de dosificar el cemento sin cal lleva a diferentes vicios en la construcción de albañilería al tratar de resolver su falta de trabajabilidad.

Los cementos especiales producen, en general, morteros más retentivos y de menor consistencia que los Portland para las mismas dosificaciones y, para la misma consistencia, morteros menos resistentes. El efecto final de su utilización en la modificación de las propiedades reológicas y resistentes del mortero es, en cierta forma, equivalente a reducir el contenido de cemento Portland y añadir cal en morteros convencionales. La magnitud del efecto depende de cada cemento específico.

Cal

La utilización de cal hidratada en los morteros de pega les proporciona mayor plasticidad e impermeabilidad, así como mejor adherencia y baja contracción.

A diferencia del cemento, la cal endurece lentamente, reaccionando químicamente con el anhídrido carbónico de la atmósfera.

Los cristales de carbonato de calcio que se forman como consecuencia de este proceso se aglutinan y se engrapan, induciendo en última instancia una pequeña resistencia.

A pesar de que el cemento es responsable del valor de adhesión y de la resistencia a la compresión de los morteros, se hace necesario añadir cal para evitar asperezas y pérdida de humedad.

La adición de cal a los morteros de cemento, al demandar mas agua para la misma consistencia, reduce su resistencia, sin embargo, en los morteros bien dosificados, cuando contienen cal, dicha reducción se hace mínima.

Por otro lado, la adhesión aumenta sustantivamente con la participación conjunta de la cal y el cemento en comparación con morteros de cemento sin cal o de cal sin cemento. Esto se explica porque el cemento provee valores unitarios de adhesión elevada y la cal posibilita la máxima extensión, proveyendo la capacidad del mortero de lograr contacto total e íntimo. El efecto sinérgico de ambos materiales se hace patente para esta propiedad esencial de los morteros

Arena

La arena, actuando como agregado inerte en la mezcla del mortero, reduce la riqueza de los aglomerantes, aumentando su rendimiento y disminuyendo así el costo del mortero. Por otro lado, aminora la contracción de fragua a niveles manejables al proveer una estructura indeformable y reducir el contenido de cemento por unidad de volumen de mezcla

La arena puede ser natural o fabricada. La natural es siempre producida por la acción erosiva de los ríos sobre las rocas, y puede encontrarse en depósitos ribereños, lacustres, marinos o eólicos. Dependiendo del tipo de depósito, los granos de la arena pueden ser angulosos o redondeados. La arena fabricada, ya sea específicamente o como subproducto, se obtiene de la trituración de rocas, piedras o escorias, y es por naturaleza angulosa; se admite, usualmente, que contenga granos mas finos que los señalados en los límites granulométricos que se muestran en la tabla 1

En general todas las arenas son aplicables en la elaboración de morteros en la medida en que se satisfagan los requisitos físicos de la granulometría que se señalan en la tabla 3 o de otra granulometría que pueda resultar accesible, siempre y cuando se verifique su satisfactoria adecuación a las características deseables del mortero.

En cualquier caso la arena debe estar libre de sustancias deletéreas tales como partículas friables o livianas, impurezas orgánicas o exceso de arcilla.

Tabla 1 Granulometría de la Arena para el mortero⁹

TAMIZ	ASTM	% PASANTE
Nº 4		100
Nº 8		95-100
Nº 16		70-100
Nº 30		40-75
Nº 50		10-35
Nº 100		2-15
Nº 200		-----

Las arenas marinas que contienen sales pueden ser utilizadas siempre y cuando no haya armadura en la hilada y se acepte, en la obra terminada, con la eflorescencia que inevitablemente causarán

Pigmentos

Los pigmentos son, por lo general, óxidos de hierro, cromo o magnesio, que se utilizan para darle color al mortero en conjunción con los colores de los cementos y agregados empleados.

Estos pigmentos se pueden adicionar en polvo, en gránulos o en suspensión en el agua de mezcla, y se dosifican dando el peso de los óxidos como un porcentaje del peso del cemento de la mezcla del mortero. La dosificación máxima de pigmentos usualmente empleada es el 8% del peso del cemento, por encima de la cual no se logra ningún efecto adicional apreciable a simple vista.

Características Del Mortero De Pega Y Su Control De Calidad

Trabajabilidad

Es la propiedad esencial del mortero en estado plástico, mediante la cual puede ser manipulado y esparcido con facilidad sobre la cara

superior de las paredes de las unidades de mampostería, las salientes de las mismas y alcanza un contacto íntimo y completo con las irregularidades de la superficie de éstas.

La trabajabilidad está directamente relacionada con la plasticidad e indirectamente con la viscosidad, la cohesión, y la densidad. La trabajabilidad de un mortero es fácilmente reconocible por un buen albañil, pero no existe ensayo para cuantificarla ni para medir sus características.

Retención de agua

Esta propiedad le permite al mortero conservar el agua necesaria para la hidratación del cemento en ambientes absorbentes como las superficies de las unidades de mampostería. La retención de agua se mejora con la adición de un retenedor de agua, e incide mucho en la rata de endurecimiento y en la resistencia final del mortero. Una mezcla incapaz de retener el agua no permite la hidratación de sus materiales cementantes.

Rata de endurecimiento

La rata de endurecimiento es la diferencia entre el tiempo de fraguado inicial y final. El tiempo de fraguado inicial no debe ser menor de 45 min. y el de fraguado final no debe ser mayor de 6 h.

Características Del Mortero De Pega Endurecido

Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del mortero incide en la capacidad del muro para transmitir cargas de compresión y es un indicativo de la resistencia a esfuerzos de corte y a esfuerzos de tracción.

Adherencia

De la adherencia mecánica entre las unidades y el mortero dependen las resistencias a esfuerzos de cortante y de tracción. Se puede concluir, entonces, que esta propiedad es de importancia vital para el correcto funcionamiento de muros sometidos a flexión o a cargas horizontales.

La adherencia se puede mejorar con morteros que tengan una apropiada dosificación buena manejabilidad y que sean colocados adecuadamente.

Durabilidad

Es la resistencia del mortero a los agentes exteriores sin presentar deterioro de sus condiciones físicas con el tiempo. Está íntimamente relacionada con su densidad y con el contenido de cemento

5 PROPIEDADES DE LA ALBAÑILERÍA CONFINADA⁸

La resistencia de la albañilería simple a fuerzas de tracción es reducida. Por ello, si bien la albañilería es perfectamente competente para ser utilizada en los muros de estructuras en que las cargas a ser transmitidas son esencialmente gravitacionales, en las que por ende, predominan los esfuerzos de compresión, cuando se debe usar en estructuras en que ocurren esfuerzos de tracción o en que se demanda comportamiento dúctil, su competencia estructural es recortada y en casos de acciones sísmicas severas, nula. Para superar estas limitaciones es necesario reforzar la albañilería.

La albañilería confinada se ha empleado en muchas situaciones para construir elementos donde los efectos son prioritariamente de flexión, en los que es necesario proveer competencia a la tracción. Sin embargo, estas aplicaciones son más bien excepcionales. La aplicación fundamental de la albañilería confinada es la construcción de muros sometidos a diferentes sollicitaciones, coplanares y laterales, en áreas sísmicas

La albañilería de los muros en las edificaciones en las que las acciones coplanares controlan el comportamiento y en consecuencia el diseño estructural, puede ser confinada enmarcando paños de albañilería, con elementos de concreto armado. En la tabla N° 2 se indican los diferentes tipos posibles de muros de albañilería enmarcada por elementos de concreto.

Los muros de albañilería simple confinada (muros confinados abreviadamente) son los de aplicación mas difundida en las construcciones de albañilería de altura media (cuatro niveles) y en los estudios hechos en años recientes.

Tabla 2 Clasificación y características de los muros de albañilería enmarcada con elementos de concreto⁸

Aspectos	Albañilería (simple) confinada	Albañilería (armada) confinada	Pórticos rellenos
Construcción	El concreto se llena alrededor del paño de albañilería	El concreto se llena alrededor del paño de albañilería	Primero se construye el confinamiento y luego se asienta el paño de albañilería
Refuerzo paño de albañilería	Simple o con cuantías nominales de acero horizontal	Con armadura horizontal para absorber totalmente la fuerza cortante	Simple o armada
Acción de la carga vertical sobre la albañilería	Sí	Sí	No
Integración	Parcial y temporal	Total y permanente	Prácticamente nula con albañilería simple. Puede ser total y permanente con albañilería armada
Modelo	Depende de la rigidez relativa de los confinamientos y del paño de albañilería	Muro homogéneo	Pórtico arriostrado

Son características esenciales de este tipo de muro las siguientes:

1. El paño de albañilería se asienta –dejando, la mayoría de las veces, sus bordes verticales endentados, antes de llenar el concreto de los confinamientos.
2. Que los paños de albañilería estén enmarcados en todo su perímetro
3. Que los paños de albañilería tengan una forma cercana a la cuadrada
4. La albañilería no sea propensa a fallas frágiles en compresión.

Los muros confinados tienen doble función. Por un lado, aun cuando no provienen de este propósito, los confinamientos actúan de arriostre (o de apoyo) del paño de albañilería para cargas perpendiculares a su plano. Para cargas coplanarias, función original y esencial de los

confinamientos, ellos proveen, junto con el paño de albañilería, una segunda línea resistente que comienza a ser operativa una vez que el paño de albañilería se agrieta diagonalmente. Hasta el momento del agrietamiento es posible suponer un comportamiento integrado y elástico del muro confinado, que puede ser asimilado al comportamiento de una viga de gran peralte. Una vez ocurrido el agrietamiento diagonal el sistema resistente se modifica súbitamente, aunque mantiene aún, con rigidez reducida, un comportamiento que se puede considerar elástico; en esta etapa del comportamiento del muro confinado ante carga lateral creciente aquel se puede asimilar a un sistema triangulado: la albañilería actúa como diagonal en compresión y los elementos de concreto armado como tirantes del sistema. Este modelo, adoptado del comportamiento de los pórticos rellenos- representa el comportamiento del muro durante una etapa muy breve, y elástica, del proceso de carga lateral creciente. No puede ser extrapolado para representar el comportamiento plástico al aumentar las distorsiones angulares.

6 ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESION⁸

El espécimen para determinar la resistencia a la compresión de la albañilería consiste en un prisma de unidades asentadas una sobre otra. La esbeltez y altura mínima de los prismas dependen de si la albañilería es de ladrillos o de bloques. En el caso de prismas de bloques la esbeltez estará entre 1.5 y 3, y el alto no será menor de 40 cm.

El ensayo se realiza en una máquina universal de compresión, aplicando un ritmo de carga controlado, hasta que el espécimen no admite mas carga. El resultado del ensayo se obtiene de dividir esta carga última entre el área del testigo. Esta será el área bruta para prismas de unidades sólidas o de unidades tubulares. Será el área neta para unidades huecas.

La prueba consiste de por lo menos dos ensayos y preferible tres. La resistencia característica de la albañilería (f'_m) se determina por la ecuación

$$F'_m = aC (X - m\sigma)$$

a: coeficiente que tiene en cuenta la edad del testigo en el momento del ensayo (uno para testigos ensayados a los veintiocho días, y 1.1 cuando el ensayo se hace a los siete días)

C: factor de corrección de la esbeltez. Figura 4.

X : promedio de los resultados de las pruebas
M: número dependiente del porcentaje de resultados defectuosos aceptables (generalmente 10 %)
 σ desviación estándar de las pruebas.

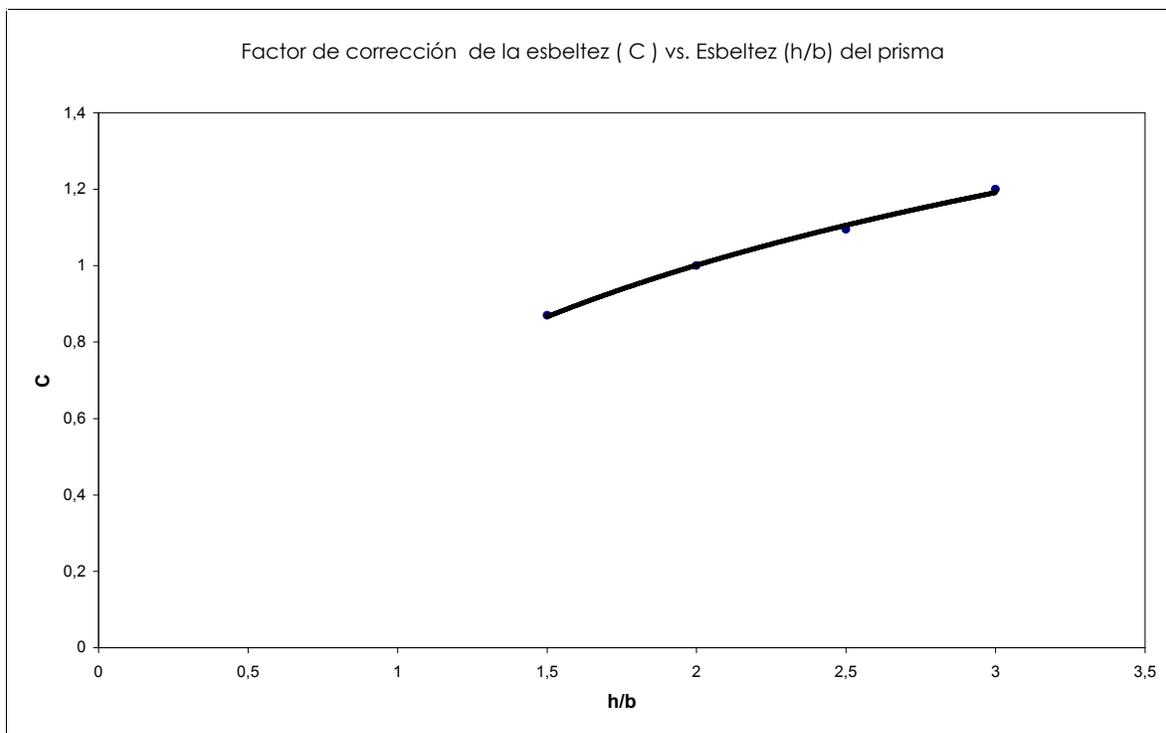


Gráfico 1 Factor de corrección de la esbeltez (c) vs. Esbeltez (h/b)⁸

6.1 MECANISMO DE FALLAS

Los ensayos de compresión axial en prismas de bloques rellenos con concreto líquido han demostrado que la falla ocurre en el bloque debido al agrietamiento vertical de sus caras, sigue con el desprendimiento de las mismas y concluye con el aplastamiento del relleno de concreto. Este agrietamiento vertical es atribuible a la tracción lateral introducida en el bloque tanto por el mortero, como por el concreto líquido, el cual exhibe deformaciones unitarias laterales mayores que las que muestra la unidad.

Al aplicarse una carga axial compresiva sobre una pila, tanto la unidad como el mortero sufren deformaciones verticales acompañadas de alargamientos transversales, que de poder hacerlo libremente cada materia, serían distintas y es de suponerse que el mortero lo haría mucho más por ser el material menos rígido.

La adherencia y la fricción en las interfaces impiden el desplazamiento relativo, obligando a que estos tengan la misma deformación transversal, siendo ésta un valor intermedio entre los que

tendrían si pudieran hacerlo libremente. Trayendo consigo que el mortero sea el material que sufra en consecuencia compresiones en ambas direcciones y por lo tanto la unidad sufra tracción transversal. Aumentando la resistencia del material más deformable con respecto a la que tuviera en una prueba de compresión axial del mortero independientemente y disminuyendo la resistencia del material más rígido debido a las tensiones transversales. Este comportamiento singular se denomina efecto de junta.

La falla podrá presentarse por aplastamiento de las piezas debido a los esfuerzos de compresión axial, pero también podrá presentarse por el agrietamiento vertical producido a tracción, al alcanzar el módulo de ruptura por las deformaciones transversales que acompañan a la deformación longitudinal y que en las unidades puede verse incrementado por el efecto de junta. Cuando el agrietamiento vertical se vuelve excesivo, este produce la inestabilidad de la pila de mampostería y su inminente falla.

Para reproducir experimentalmente el comportamiento a compresión simple, es necesario elegir una pila que tenga la misma distribución de unidades y juntas de mortero que un muro real, y someterlo a una carga axial sin ninguna restricción a las deformaciones transversales, siendo estas deformaciones imposibles de lograr en el ensayo real, ya que al colocar la pila en la máquina universal de ensayos, la fricción que existe entre las placas de la máquina y las caras de contacto de la pila introducirá una resistencia a las deformaciones transversales, que será máxima en los extremos de las caras de apoyo y disminuirá hacia el centro.

La restricción a las deformaciones transversales influirá en la resistencia de las pilas, así una pila menos esbelta tendrá mayor resistencia que una de mayor esbeltez de 1 a 4, disminuyendo con valores poco importantes en un intervalo bastante amplio, antes de que comiencen a influir los efectos de esbeltez propiamente dichos.

Las pilas que se seleccionen para el ensayo de compresión axial debe tener además otras características que permitan desarrollar el ensayo en forma práctica, deberán ser fáciles de construir y de transportar y poderse ensayar en una prensa hidráulica convencional.

Varios autores proponen como ensayo para obtener un índice de resistencia a compresión de la mampostería y el efecto de diversas variables, el de una pila formada por varias piezas, hasta obtener una relación de altura/espesor aproximadamente igual 4, ya que permite un

ensayo simple y representa razonablemente el comportamiento de elementos reales de mampostería.

7 ENSAYO DE CORTE⁸

El ensayo es utilizado para determinar la resistencia al corte o resistencia a la tracción diagonal es el mostrado en la figura:

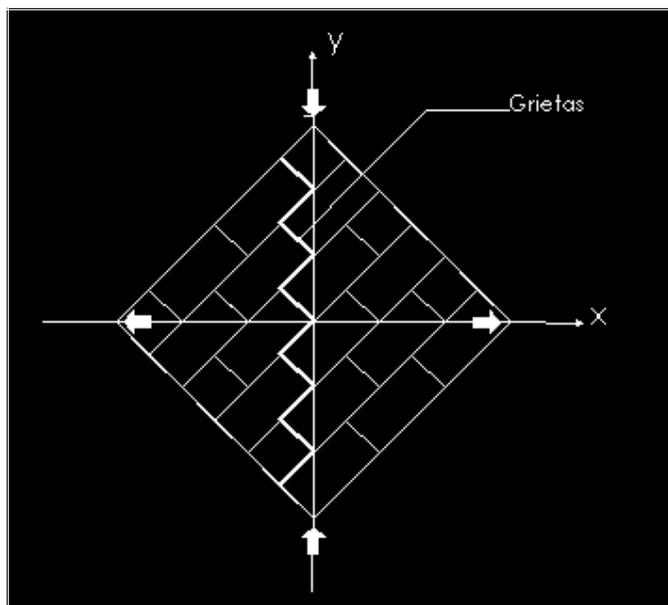


Figura 4 Representación del ensayo de corte⁸

7.1 TESTIGO, ENSAYO Y EVALUACIÓN

El testigo estándar es un murete cuadrado cuyo lado nominal mide 1.20 m. Se hace de la albañilería cuyas características se quiere estudiar y del espesor del muro estudiado.

Se han usado especímenes más pequeños; esto es posible siempre y cuando se calibren los resultados, ya que los especímenes más pequeños producen resultados mayores para la misma albañilería.

Los testigos se elaboran en el laboratorio y no se mueven durante siete días. Luego de eso se almacenan hasta la fecha del ensayo (veintiocho días)

El ensayo consiste en cargar diagonalmente el murete con una carga de compresión creciente y aun ritmo controlado hasta la rotura.

El resultado del ensayo es el valor nominal unitario de corte ($V'm$) obtenido a partir de la fórmula

$$V'm = \frac{0.71P_u}{A_n}$$

Donde:

P_u : es la carga de rotura

A_n : Área neta del espécimen que se calcula con el producto del promedio de los lados, el espesor del murete y un factor de relación del área neta con el área bruta de las unidades.

El modo de falla del testigo es generalmente por corte o por tracción diagonal. Esto ocurre de manera frágil al producirse la primera grieta. Cuando las unidades son huecas o perforadas, o de muy poca resistencia, el testigo puede fallar por aplastamiento causado por la compresión diagonal; esta falla puede ser de características explosivas.

En general cuando no hay precompresiones o éstas son pequeñas, la falla tiende a ocurrir siguiendo las juntas horizontales y verticales a un ángulo aproximado de 45° . Cuando se aplican precompresiones las grietas pueden atravesar unidades y el ángulo de falla se hace dependiente de su magnitud. Estos hechos han conducido a establecer que la falla, en este ensayo, ocurre cuando la tracción principal alcanza su valor crítico.

8 ENSAYO BAJO CARGA ALTERNANTE⁹

La sollicitación se aplica en forma cíclica alternante con cargas máximas en cada ciclo monotónicamente crecientes hasta alcanzar la rotura. Cada ciclo de ensayo se efectúa bajo una deformación prefijada en base a la curva primaria, y dicho ciclo se repite hasta obtener niveles de carga y desplazamiento similares; una vez ocurrido esto se incrementa el desplazamiento máximo y se repite el procedimiento anterior. Cada ciclo consiste en cargar el muro en una dirección y luego descargarlo para repetir el proceso en la otra dirección opuesta, de manera de registrar en cada etapa los desplazamientos introducidos en el muro.

El sistema de aplicación de cargas está constituido por gatos hidráulicos de capacidad máxima 50 toneladas. Dichos gatos fueron seleccionados en base a la carga resistente estimada en los prototipos.

⁹ Perozo María Gabriela (1987). **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MUROS EN BLOQUES DE CONCRETO BAJO LA ACCIÓN DE CARGA LATERAL** Trabajo de Grado. Universidad Central de Venezuela

Para este ensayo se necesita un gato hidráulico a cada lado del muro

El sistema de registro de datos, está conformado por una red de transductores electromagnéticos distribuidos en los extremos de la pared, con el fin de registrar las deformaciones del conjunto de los machones y pared, adicionalmente se dispone de un sistema de instrumentación en la pared para registrar las deformaciones internas producidas en las diagonales principales de la misma. Este sistema consiste en registrar deformaciones longitud básica de 15 cm. A través de un transductor electromagnético acoplado a un extensómetro mecánico de longitud antes mencionada. La distribución de los puntos de medición fue como se indica en la figura 5.

Para registrar la carga se hace uso de una celda de presiones conectada al sistema de distribución de presión. La señal eléctrica transmitida por ésta era captada por un voltímetro digital simultáneamente con el computador.

La obtención de un gráfico continuo de carga vs. Desplazamiento se hace mediante un graficador X-Y, conectado con el "transductor 1" ubicado a nivel del punto de aplicación de la carga

Los registros de las variables instrumentadas fueron recibidos por el computador, de manera de tener una secuencia de valores en el transcurso de cada ensayo.

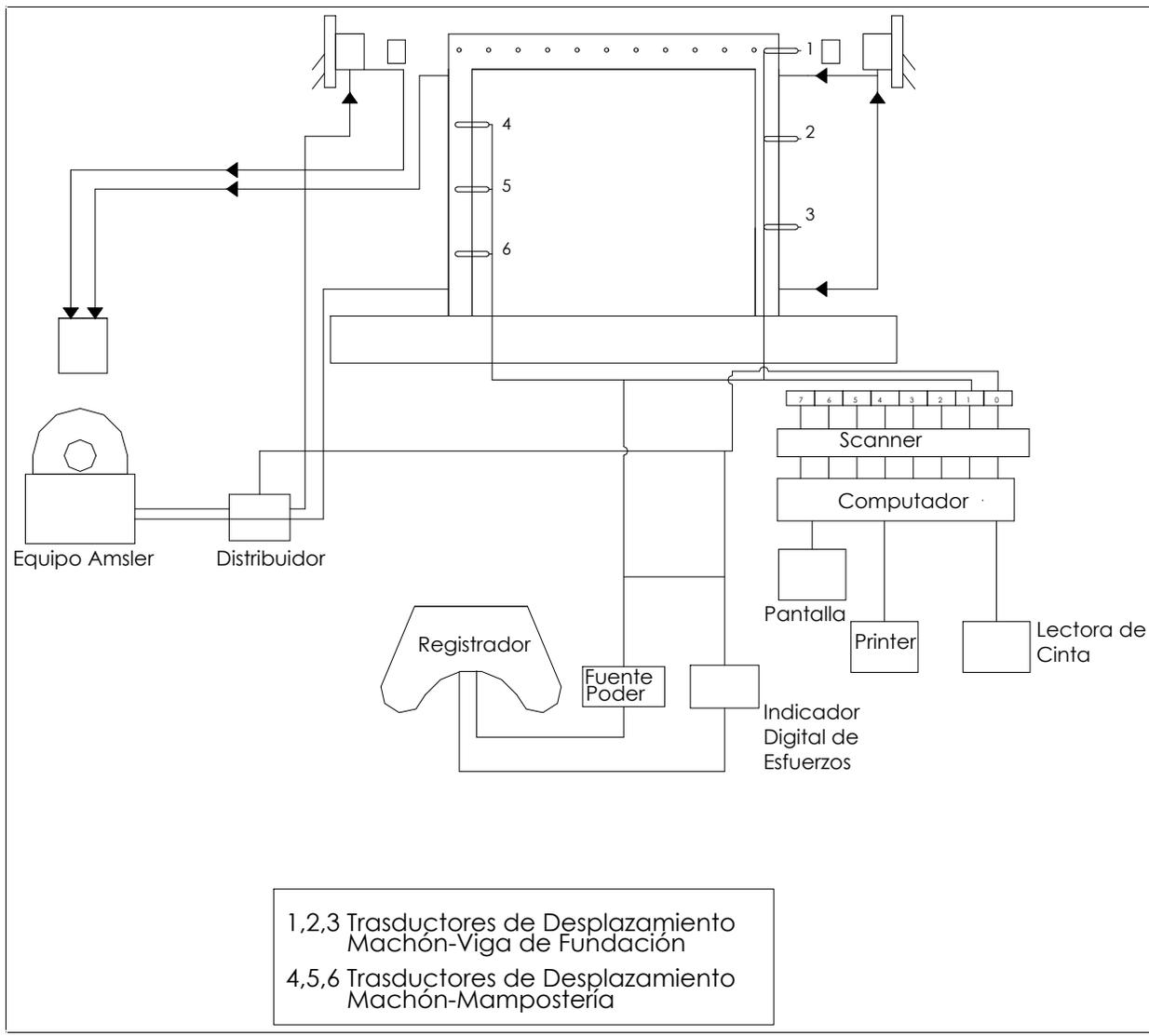


Figura 5 Sistema de Registro de Datos para Ensayo de Carga Alternante¹²

III. METODOLOGÍA DE DISEÑO

1 VIGA DE FUNDACIÓN

La viga de fundación está diseñada para resistir su propio peso y adicionalmente la carga proporcionada por el peso de la pared y los elementos confinantes.

El largo de la viga quedó fijado por el largo del muro y por el espacio necesario para los orificios de anclaje además de la distancia necesaria para la colocación de los ganchos de movilización del conjunto. Los orificios de anclaje se hicieron con tubos de acero de un diámetro nominal de 3/4", la distancia al borde libre se escogió de 25 cm. al centro del orificio para evitar el posible agrietamiento o falla de dicha zona.

Como la viga de fundación está diseñada en principio para soportar las cargas de muros de concreto armado, además de su propio peso, se realizó la revisión de la sección transversal de la viga para garantizar su resistencia a las cargas generadas por un muro de bloques de suelo-cemento de dimensiones 2.10 x 2.70.

1.1 REVISIÓN VIGA DE FUNDACIÓN

Diagrama de carga: ver Figura 6

Propiedades de la sección (

Figura 7)

Largo	50 cm.
Ancho	30 cm.
Área de Acero	5.70 cm ²
Resistencia del Concreto	250 Kg./cm ²
Resistencia del Acero	4200 kg./cm ²
Recubrimiento del acero	2.5 cm.

Momento ultimo resistente por la sección 9323.79 Kg-m

Corte

Haciendo la revisión, por teoría de rotura, del corte de la viga de fundación se obtiene que la sección resiste 33496 Kg.

1.2 DISEÑO DE COLUMNAS

Se utilizó el diseño de columnas que ha sido empleado anteriormente por el IMME en ensayos de muros confinados.

III. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Se revisó dicho diseño para determinar el corte máximo que podría soportar cada columna.

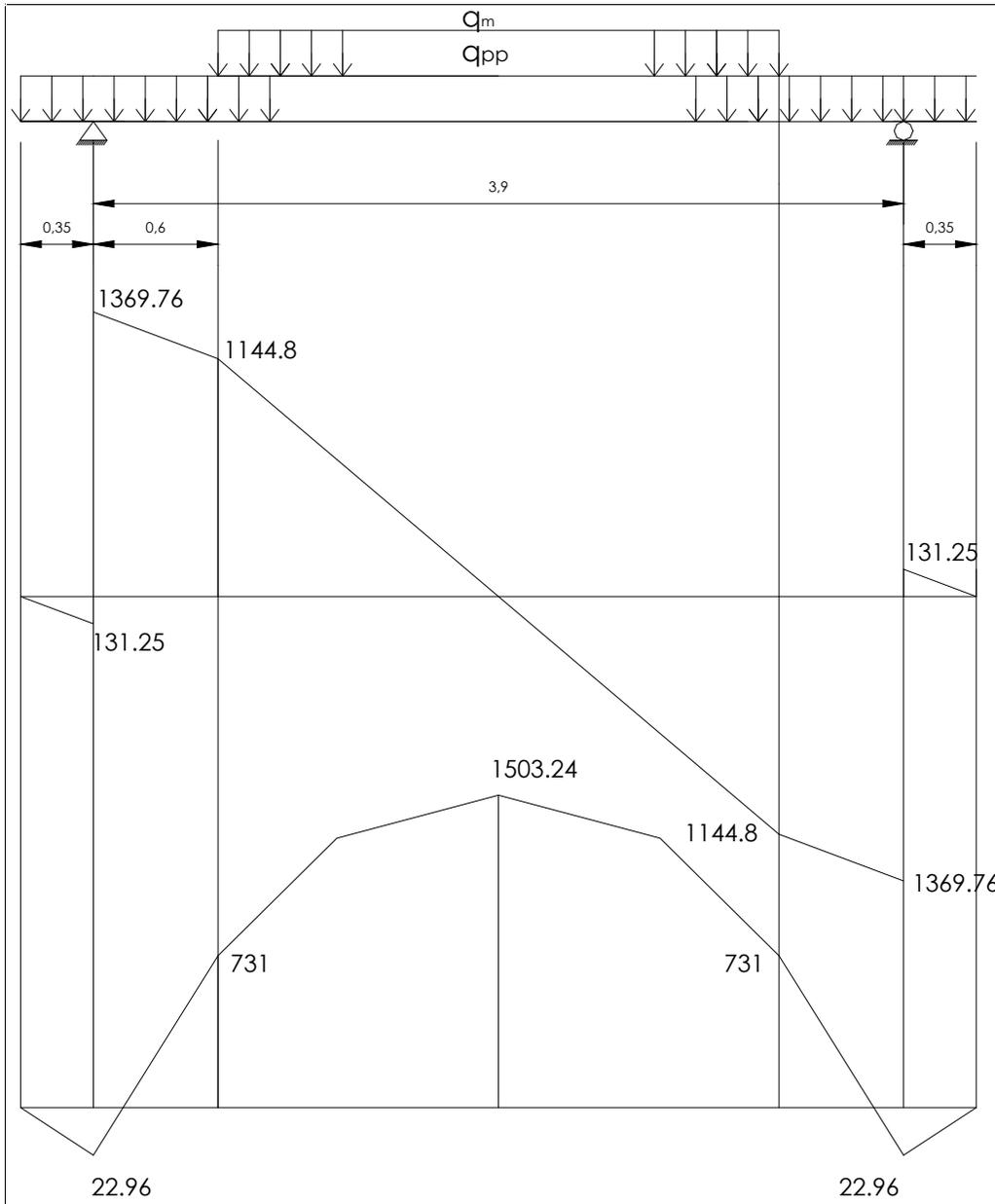


Figura 6 Diagrama de Carga Viga de Fundación

III. METODOLOGÍA DE DISEÑO

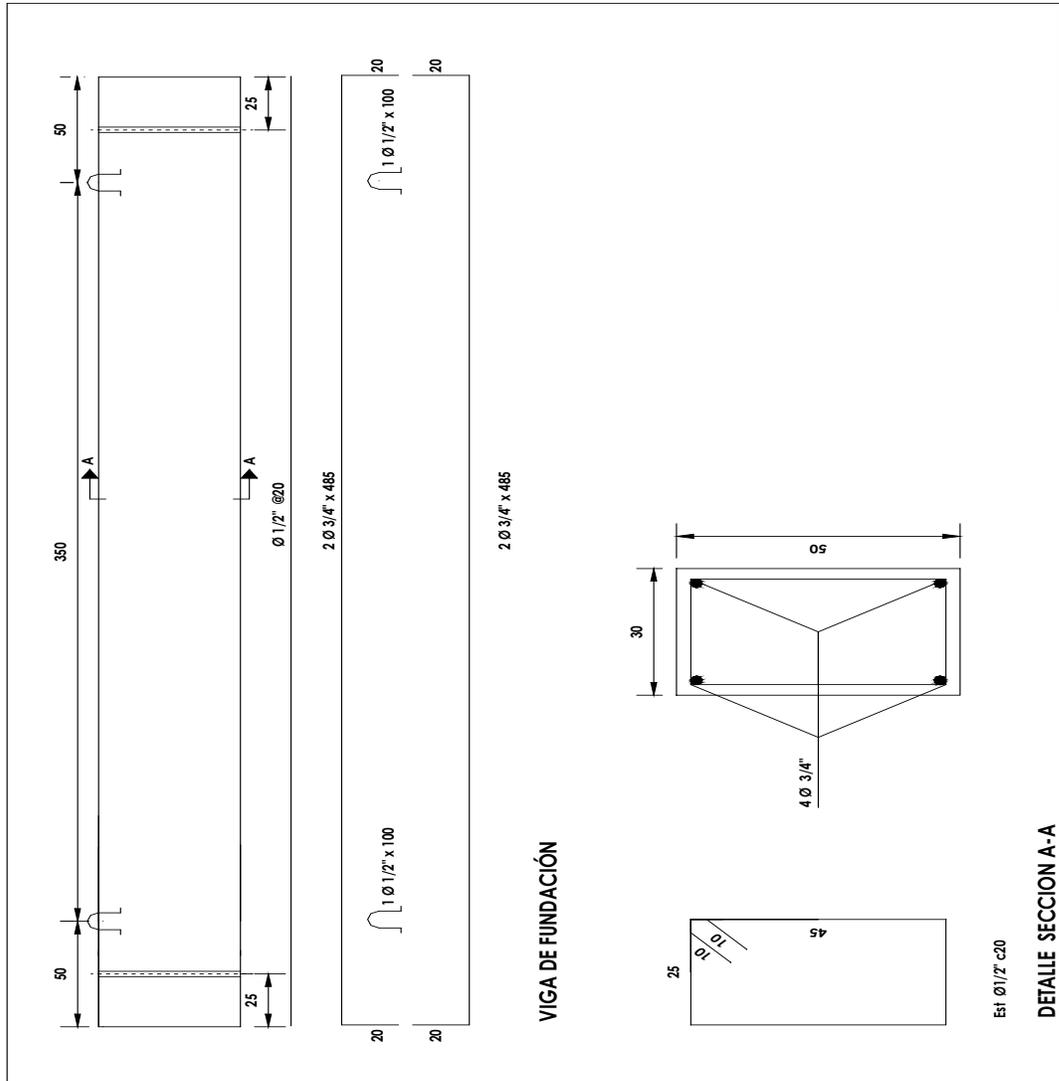


Figura 7 Despiece Viga de Fundación

Revisión de las Columnas por corte

Largo	15 cm.
Ancho	15 cm.
Área de Acero	1.42 cm ²
Resistencia del Concreto	210 Kg./cm ²
Resistencia del Acero	4200 kg./cm ²
Recubrimiento del acero	2.5 cm.

Por teoría de rotura se obtiene que la sección resiste un corte de 12525.5

1.1. PAÑO DE MAMPOSTERÍA

Las dimensiones de largo y ancho del paño de mampostería se definieron según los siguientes criterios (Figura 9)

- Los ensayos se hacen con especímenes a escala real
- Mantener en la medida de lo posible las dimensiones de muro que ha utilizado el IMME en estudios anteriores, con el objeto de hacer comparaciones con los resultados de dichos estudios. Los muros estudiados tienen una relación de esbeltez (H/L) aproximadamente igual a 0.7
- Adaptación a las dimensiones de los bancos de ensayo donde se realizara el estudio del muro
- Simplicidad de construcción

1.3 DISEÑO DE VIGA DE CORONA

Se utilizó el diseño de columnas que ha sido empleado anteriormente por el IMME en ensayos de muros confinados. (Figura 10)

La revisión por corte no se consideró necesaria, ya que las vigas de coronas construidas bajo este diseño no han presentado ningún problema estructural.

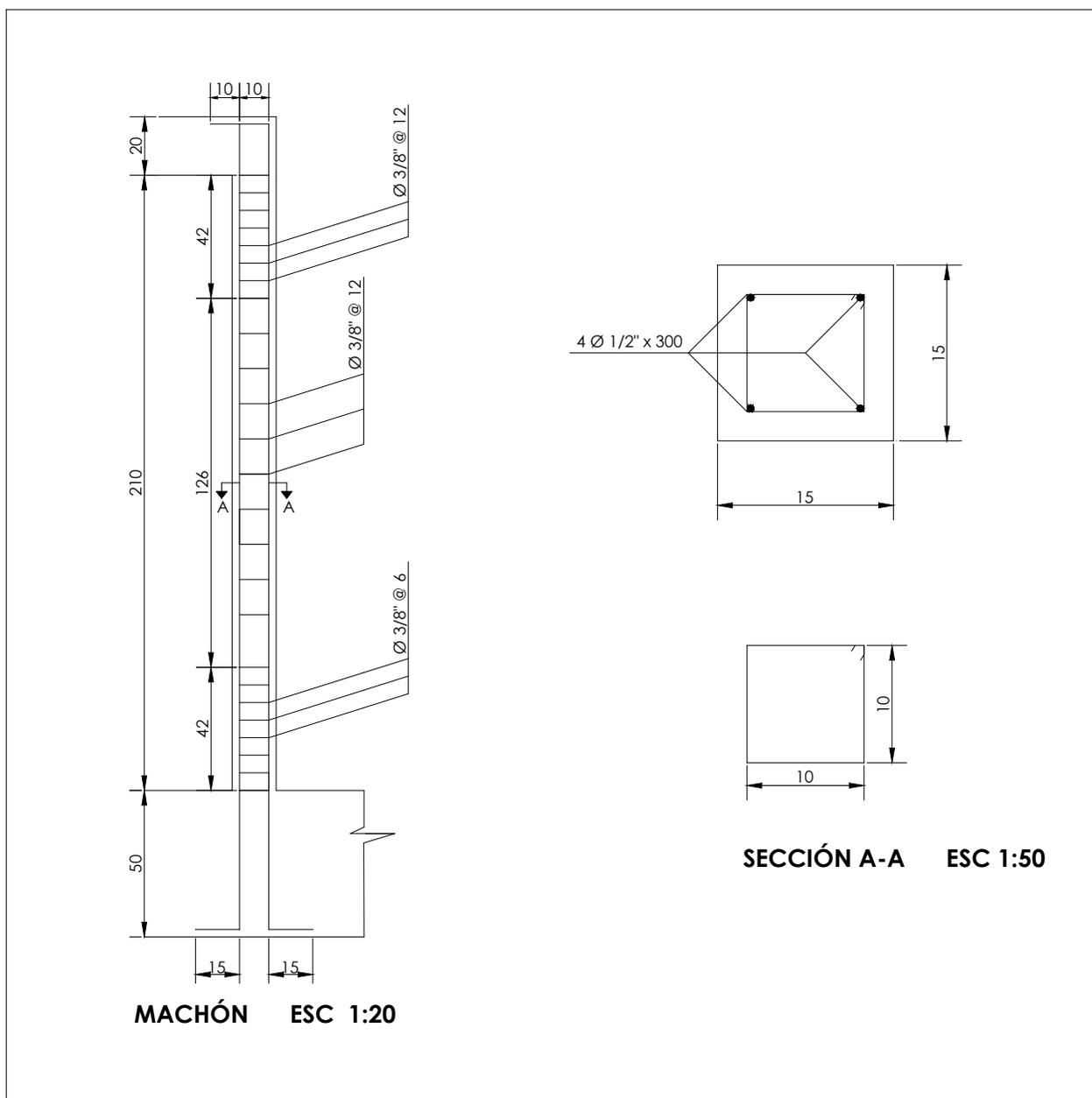


Figura 8 Despiece de Columna

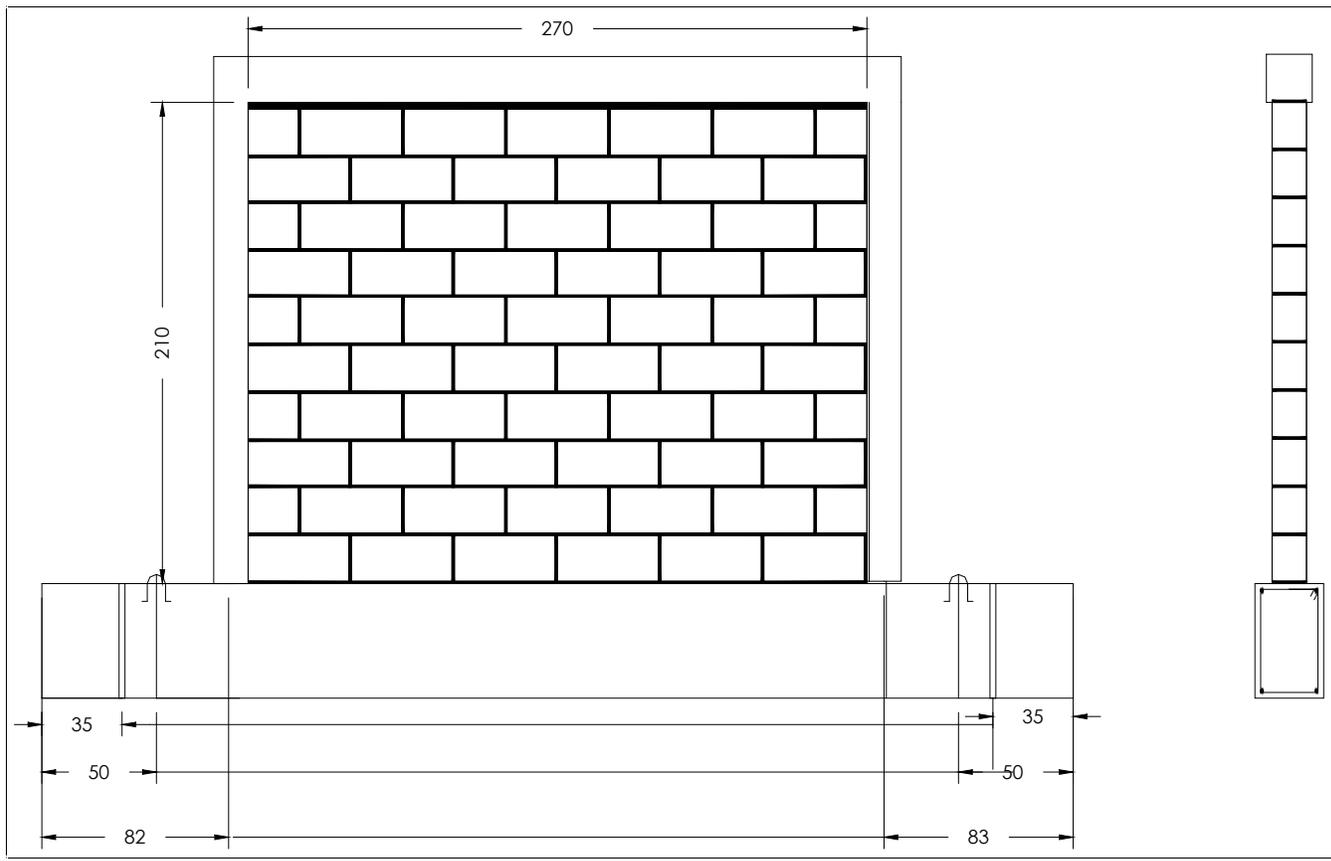


Figura 9 Muro

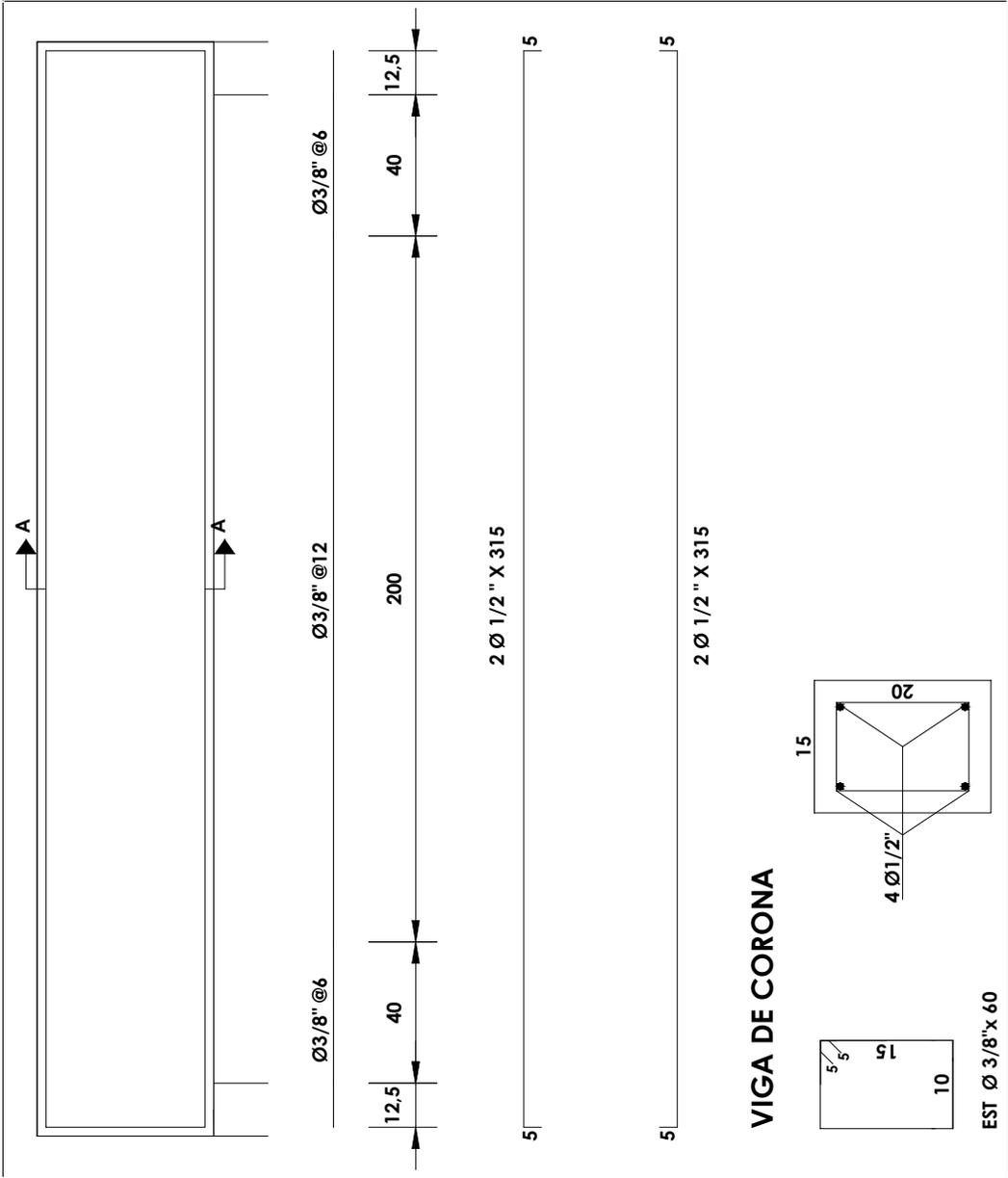


Figura 10 Despiece Viga de Corona

IV METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN

1 FABRICACIÓN DE BLOQUES ALIGERADOS DE SUELO-CEMENTO

1.1 MATERIALES Y EQUIPOS NECESARIOS PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS BLOQUES ALIGERADOS DE SUELO-CEMENTO

Se abordó la fabricación de bloques de suelo-cemento a partir del diseño de mezcla básico, es decir, sin aditivos ni materiales que alteren las propiedades elementales de los bloques de suelo-cemento.

Para la fabricación (en máquina artesanal), almacenamiento y manipulación de 95 bloques de suelo-cemento se emplearon los siguientes materiales:

- 1.600 Toneladas de suelo pasante del tamiz N°4 equivalente a 64 sacos de 25 Kg cada uno
- Pala, pico, cuchara 6", carretilla y carretón rueda de goma, atomizador recargable
- Tamiz N° 4 (malla con aberturas de 4.46 mm.)
- 3 sacos de 42.5 kilogramos cada uno, de cemento gris Portland Tipo 1
- Agua necesaria para alcanzar la humedad óptima del suelo
- Bolsas plásticas resistentes para el almacenamiento del suelo tamizado
- Báscula marca OHAUS (30000 gr / precisión 100 gr.)
- Plástico
- Aceite para lubricación de molde, brocha para aplicación de aceite
- Máquina Artesanal para el prensado de Bloques Aligerados
- Cuñetes para pesado de los materiales (dosificación)
- Mezcladora eléctrica de eje vertical (60 litros)
- Tablas de madera de 20x2x50 (dimensión adaptada a la base del molde de la máquina artesanal del IMME)

1.2 METODOLOGÍA PARA LA FABRICACIÓN DE LOS BLOQUES

1.2.1 Características Del Suelo

El suelo utilizado en el desarrollo de la presente investigación proviene de las excavaciones ejecutadas por la empresa Norberto Odebrecht en las cercanías del Nuevo Circo, para la construcción de la Línea 4 del Metro de Caracas.

IV. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN

Según el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos¹⁰ el material estudiado se clasifica como arena bien gradada ya que presenta las siguientes características

- Mas de la mitad del material es retenida en la malla N°200, pasando únicamente 0.24 %
- Mas de la mitad de la fracción gruesa pasa el tamiz N° 4
- El material presenta un amplio rango en los tamaños de partículas (de 4.76 a 0.74 mm)
- No presentó plasticidad

En el Gráfico 2 se presenta la curva edométrica del suelo

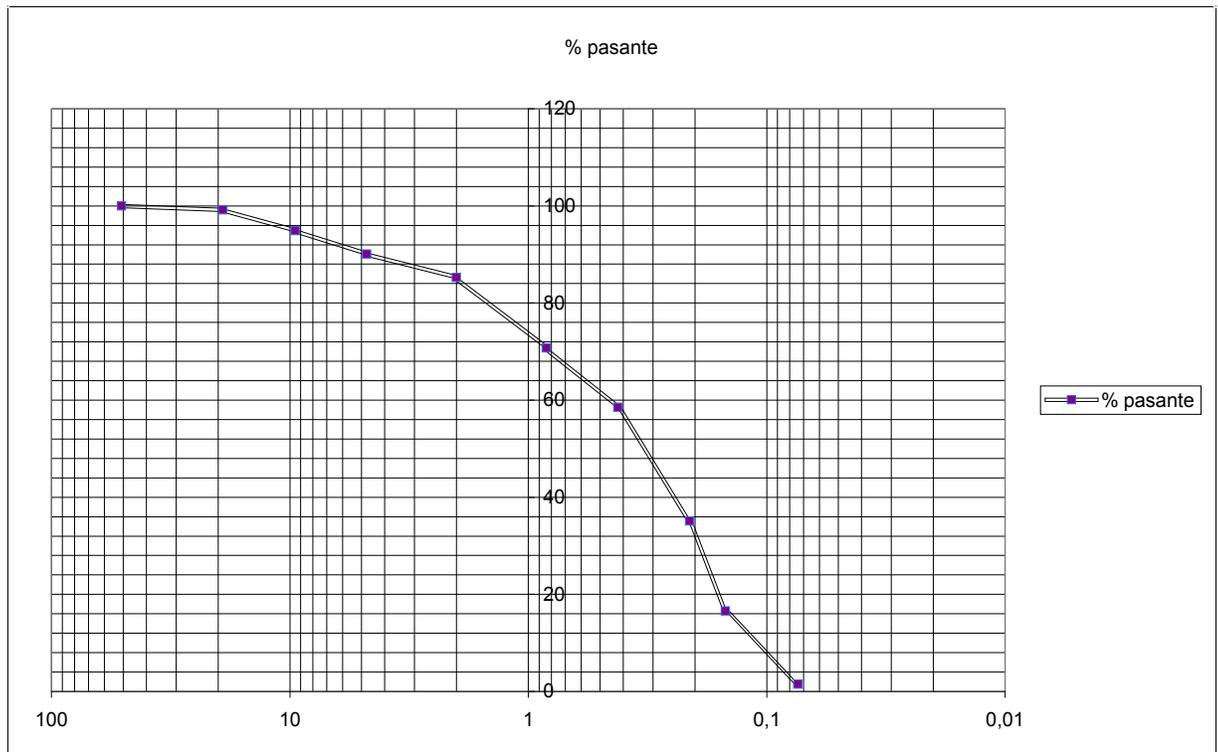


Gráfico 2 Curva Edométrica del Suelo en Estudio

Después del análisis de resultados de las pruebas del material (de laboratorio y campo) y de comparar con los parámetros de aceptación propuestos en el trabajo de grado **Diseño de Mezcla para su uso en la fabricación de bloques aligerados de suelo-cemento** (op. cit.), se calificó

¹⁰ UGAS, Celso. **Ensayos de Laboratorio en Mecánica de Suelos. Discusión , Evaluación y Procedimiento.** Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. 3ra Edición . Caracas, 1985

IV. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN

el material como adecuado para ser utilizado en el diseño de mezcla correspondiente.

1.2.2 Preparación Del Suelo

El material fue trasladado desde las excavaciones en las cercanías del Nuevo Circo hasta el patio de trabajo del IMME (Instituto de Materiales Y Modelos Estructurales).

Se extendió el material en una capa no mayor de 15 cm, en un área protegida de la lluvia, para que el suelo liberara gran parte de su humedad. Para este fin, el suelo debe pasar al menos 7 días extendido.

El suelo utilizado como agregado de la mezcla fue el pasante por el Tamiz N° 4, lo cual garantiza que el material este libre de granos gruesos que puedan dificultar los proceso de mezclado, vaciado y prensado del bloque.

El paso siguiente consistió en almacenar el suelo en bolsas plásticas resistentes que fueron debidamente selladas para que el material no se humedeciera nuevamente.

1.2.3 Preparación De La Mezcla De Suelo-Cemento

Para la fabricación de los bloques de suelo-cemento, se utilizó el diseño de mezcla propuesto en el TEG **Fabricación y Caracterización de Bloques Aligerados de Suelo-cemento** (op. cit.). Dicho trabajo propone, para la elaboración de una unidad, las siguientes proporciones:

Suelo (Kg)	Cemento (Kg)	Agua (Kg)
16.8	1.68	2.8

Es importante aclarar que la proporción de agua corresponde al agua óptima para la compactación suelo utilizado, determinada en laboratorio mediante la prueba de compactación o prueba Proctor. Sin embargo, como la humedad del suelo no es igual a cero, sino que tiene la humedad del aire, la dosis de agua a agregar en la mezcla puede variar en pequeñas proporciones.

Cada bloque pesa 21,28 Kilogramos aproximadamente

1.2.4 Mezclado

Se deben ajustar las paletas de la mezcladora para luego encenderla y colocar los materiales previamente pesados. Primero se coloca el suelo, posteriormente el cemento. El agua se agrega de último y

IV. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN

lentamente para evitar la formación de grumos, que afectarían la trabajabilidad de la mezcla e incluso la resistencia del bloque elaborado.

La mezcladora debe detenerse cuando se observe uniformidad tanto en color como en consistencia.

Consideraciones sobre la mezcla:

- Se deben mezclar bien los componentes para obtener una adecuada estabilización. Los elementos finos arcillosos deben estar disociados y no aglomerados en terrones, cuyo tamaño exceda los 20 mm. La presencia de terrones disminuye la resistencia a la compresión
- Un buen mezclado garantiza uniformidad en el producto terminado.
- La compactación aplicada antes del fraguado del cemento garantiza que durante el proceso de fabricación de las unidades no se produzcan vacíos dentro del molde, lo cual disminuiría la resistencia y la densidad de la unidad
- Análogamente la resistencia de un suelo-cemento aumenta con el tiempo. Para lograr esto es necesario que el proceso de fraguado sea bien controlado, ya que de esta manera se garantiza que el bloque alcance la resistencia máxima posible. Debe mantenerse la unidad protegida del sol y del viento, en un ambiente húmedo, con el objeto de evitar el secado rápido de la superficie, lo que conduce a la formación de fisuras y microfisuras cuando el producto se encuentra fresco y poco resistente

1.2.5 Fabricación Del Bloque Con La Máquina Artesanal

La máquina artesanal o prensa para fabricación de bloques aligerados de suelo-cemento, se encuentra en el laboratorio de concreto fresco del IMME. Dicha máquina fue adquirida, con fines académicos, por el Comité Académico de Postgrado y por la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Central de Venezuela.

Esta máquina genera bloques aligerados de dimensiones $L=43.6$ cm, $A=14.7$ cm y $h=19.5$ cm

Antes de vaciar la mezcla en el molde es necesario engrasarlo para facilitar el desencofrado del bloque

IV. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN



Figura 11 Máquina artesanal para fabricación de bloques

El fondo de la formaleta o molde se conforma con piezas de madera suficientemente rígidas de manera que no flexionen cuando se traslade el bloque, recién fabricado, desde la máquina hasta el centro de almacenamiento.

Actualmente es necesario emplear listones de madera para que el fondo de la formaleta quede nivelado con el molde, ya que la correa del motor de vibrado es corta y no permite que el mecanismo de desencofrado baje completamente.

1.2.6 Vaciado De La Mezcla En La Formaleta

- Se vació una capa no mayor de 6 cm en el fondo del molde, distribuyendo uniformemente.
- Se compactó dicha capa con 25 golpes, mediante la palanca de compactación. Ver figuras 12 y 13.



Figura 12 Palanca de compactación



Figura 13 Plancha de compactación

IV. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN

- El motor de vibrado se puso en funcionamiento durante 8 segundos, tiempo en el cual la mezcla obtuvo mejor trabajabilidad sin fluidificarse demasiado
- Se perforó la capa con un punzón para garantizar buena adherencia entre las capas compactadas.
- Sobre la capa compactada se agregaron nuevas capas de mezcla, repitiéndose el proceso anterior.

1.2.7 Proceso De Desencofrado Y Almacenamiento De La Unidad De Mampostería.

Una vez que la formaleta se llenó de mezcla después de la última compactación, se procedió a extraer el bloque. Este proceso depende del mecanismo de desencofrado el cual se acciona con la palanca de desmolde figura 14. Debe hacerse lentamente y con sumo cuidado ya que el bloque se encuentra aun muy frágil. Una aceleración brusca podría deformarlo.



Figura 14 Palanca de desencofrado

En el caso particular de la máquina artesanal del IMME, el proceso de desencofrado requiere la manipulación de dos personas simultáneamente. Una debe presionar hacia abajo la palanca de compactación mientras la otra acciona la palanca de desencofrado.

IV. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN

Los bloques se almacenaron a la sombra procurando mantenerlos húmedos para evitar el fenómeno de retracción debido a la evaporación del agua.



Figura 15 Depósito de Bloques de Suelo-Cemento

1.2.8 Curado

Los bloques deben ser rociados con agua diariamente durante los 7 días siguientes a su fabricación, y tapados con un material impermeable para mantener la humedad.

2 CONSTRUCCIÓN DEL MURO

El muro está constituido por una viga de fundación, paño de mampostería, y elementos de confinamiento (dos machones y una viga de corona).

La viga de fundación y los elementos de confinamiento fueron contruidos según el diseño ya descrito en el capítulo Metodología de Diseño.

2.1 METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN

1. Se hicieron los cálculos métricos para determinar el material necesario para la construcción del muro según los diseños de viga de fundación, elementos de confinamiento y paños de mampostería. Tabla 3
2. Se cortaron las cabillas según las longitudes necesarias para estribos, ligaduras y refuerzo longitudinal.

IV. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN

3. Se doblaron las cabillas para formar los estribos y ligaduras.



Figura 16 Estribos y Ligaduras

4. Se hizo el armado de la viga de fundación, machones y viga de corona.



Figura 17 Armado Viga de Fundación

5. Se colocaron tubos de plástico de 3" de diámetro donde posteriormente se colocarían los anclajes correspondientes para el ensayo bajo carga alternante.

IV. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN



Figura 18 Tubo de diámetro 3" para anclaje

6. Se colocaron los arranques de los machones y se estabilizaron para que permanecieran verticales.



Figura 19 Armadura de Machón enlazada a armazón de viga de fundación

7. Se colocó la armadura de la viga de fundación dentro del encofrado de madera



Figura 20 Armadura de Viga de Fundación dentro de Encofrado de Madera

IV. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN

La armadura de viga tenía amarrados separadores de concreto que aseguran el recubrimiento del acero.



Figura 21 Separador Aislado



Figura 22 Separadores Amarrados a armadura de Viga de

Fundación

8. Se vació la viga de fundación



Figura 23 Vaciado de Viga de Fundación



Figura 24 Viga de Fundación Vaciada

9. Tres días después del vaciado de la viga de fundación se construyó sobre esta el paño de mampostería. Dicho paño está constituido por diez filas de seis bloques de suelo-cemento, que fueron pegadas entre sí con capas de mortero de un centímetro de espesor.

IV. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN



Figura 25 Construcción del Paño de Mampostería sobre Viga de Fundación

IV. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN

Tabla 3 Cómputos Métricos para Muro Confinado

ELEMENTO DEL MURO	Despiece	Cantidad	Material	
Viga de Fundación	Estribos \varnothing 1/2" de 160 cm de longitud	24	38.4 m	
	Refuerzo longitudinal: \varnothing 3/4" de 550 cm.	2	1110 m	
	Concreto	0.675	0.675 m ³	
	Madera para encofrado	Tabla de 30x450	1	unidad
		Tabla de 50x450	2	unidades
Tabla de 30x50		2	unidades	
Machones	Ligaduras de \varnothing 3/8" de 50 cm de longitud	46	23	
	Refuerzo de longitudinal : \varnothing 1/2" de 3 m de longitud	2	6 m	
	Concreto	Cemento	39	Kg
		Arena	105	Kg
		Grava	31	Kg
		Agua	28.66	l
Madera para encofrado	Tabla de 15x210	3	unidades	
Viga de Corona	Estribos \varnothing 3/8" de 60 cm de longitud	30	1.8 m	
	Refuerzo de longitudinal : \varnothing 1/2" de 355 cm de longitud	4	14.2 m	
	Concreto	Cemento	44	Kg
		Arena	116	Kg
		Grava	39	Kg
		Agua	33	Kg
	Madera para encofrado	Tabla de 20x305	2	
		Tabla de 15x305	1	
Tabla de 15x20		2		
Paño de mampostería	Unidades de mampostería	Bloques de Suelo-cemento de 44x15x20	60 unidades	
	Mortero	Cemento	15 Kg	
		Cal	15 Kg	
		Arena	60 Kg	

IV. METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN

Debido a la disposición ó arreglo de las unidades de mampostería en el muro, fue necesario picar cinco bloques por la mitad con la trozadora ubicada en el laboratorio de agregados del IMME. Esta disposición es conocida con el nombre de Cabeza⁹



Figura 26 Bloque a ser picado en dos

Figura 27 Bloque picado por la mitad partes iguales

10. Se encofró el armado de los machones, utilizando los extremos del muro como parte del encoframiento.
11. Se colocó sobre el paño de mampostería la armadura de la viga de corona que a su vez tenía amarrados separadores de concreto de 2.5 cm de altura, para dejar el espacio del recubrimiento del acero.
12. Se colocó el encofrado de la viga de corona y los machones. Dicho encofrado tenía perforaciones de 1" de diámetro para permitir el paso de pernos cada 11 cm. Dichos pernos actuarán como mecanismo de transferencia por roce, de la carga P a aplicarse durante el ensayo bajo carga alternante.
13. Se hicieron perforaciones en el encofrado de la viga de corona para colocar tubos de 1" de diámetro cada 10 cm. Dichos tubos conectan el elemento de metal, que recibe la presión aplicada por los gatos hidráulicos, con la viga de corona del muro.
14. Se vaciaron los machones y la viga de corona

V. METODOLOGÍA DE ENSAYO

1.2. ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Se ensayarán tres pilas. Cada pila tiene tres bloques unidos por una capa de mortero de un centímetro de espesor, resultado una pilas de 0.62 metros de altura y 0.44 metros de base. Con estas dimensiones se obtiene una relación de esbeltez H/L de 1.40



Figura 28 Pila de Bloques

El ensayo se realizará en una máquina universal de compresión, aplicando un ritmo de carga controlado, hasta que el espécimen no admita mas carga. El resultado del ensayo se obtendrá al dividir esta carga última entre el área del testigo. Dicha área será la neta ya que los bloques presentan perforaciones.

Las pilas fueron construidas con bloques de suelo-cemento de características exactamente iguales a los bloques que conforman el paño de mampostería del muro. El mortero aquí utilizado tiene las mismas proporciones del empleado para la construcción del paño de mampostería.

Es importante hacer notar que las pilas a ensayar deben conservar las características de albañilería del muro confinado a ser ensayado.

2.2 ENSAYO DE CORTE

Se ensayarán tres muretes. Cada murete consiste en cinco hileras de dos bloques y medio. Dichas hileras están unidas por una capa de mortero de un centímetro de espesor, resultando muretes de 1.04 metros de altura y 1.12 metros de base. Con estas dimensiones se obtiene una relación de esbeltez (H/L) de 0.92



Figura 29 Murete para Ensayo de Corte

Los muretes fueron contruidos con bloques de características semejantes a los que constituyen el paño de mampostería. El mortero utilizado para estos muretes conserva las proporciones usadas en el mortero empleado en el muro.

Es importante hacer notar que los muretes a ensayar deben conservar las características de albañilería del muro confinado a ser ensayado.

Este ensayo será realizado en la prensa universal de la nave norte de ensayos del IMME



Figura 30 Prensa Universal. INME, UCV

2.3 ENSAYO BAJO CARGA ALTERNANTE

Para la realización de este ensayo se usará la instrumentación que mas adelante se describe, acoplada según se muestra en la figura 5

SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN

Celda de presión
Marca BLH
Capacidad 0-5000 psi



Figura 31 Celda de Presión

Transductor de desplazamiento
Marca: HP
Capacidad $\pm 1,5$ cm
Cantidad

Transductor de desplazamiento
Marca HP
Capacidad ± 2 cm

Transductor de desplazamiento
Marca HP
Capacidad ± 3 cm

Fase intermedia

Indicador digital de esfuerzos
Marca BLH
Modelo 1200 B

Fuente de poder
Marca HP
Modelo 6114 B

Scanner (sistema de adquisición de datos)

Marca HP

Modelo 2912

Computador (sistema de procesamiento de datos)

Marca HP

Modelo 1000-E

Fase de indicación y registro

Registrador X-Y

Marca Yokogawa

Modelo 3077

Printer

Marca HP

Modelo 2607 A

Lectora de cinta magnética

Marca HP

Modelo 7970 E

Pantalla

Marca HP

Modelo 2621 B

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se utilizó el diseño de mezcla propuesto en el trabajo especial de grado de Rodríguez, L y Simonpietri, M. **Diseño De Mezcla Para Su Uso En La Fabricación De Bloques Aligerados De Suelo-Cemento** Siguiendo dicho diseño se obtuvo como resultado una mezcla adecuada para ser utilizada en la fabricación de los bloques de suelo-cemento que constituyeron el paño de mampostería.

Es de plantear que la contextura de la mezcla no se mantenía constante durante el proceso de fabricación de bloques, aunque se añadiera invariablemente el agua óptima recomendada en el diseño de mezcla. En algunos casos fue necesario agregar agua y, en otros, dejar la mezcla reposando para disminuir su fluidez y lograr mejor consistencia.

Las capas de material al ser golpeadas 25 veces quedaron con alto grado de compactación, resultando bloques con bajo volumen de vacíos, textura muy lisa y elevado peso.

Los bloques producidos resultaron con dimensiones variables, algunos de ellos levemente arqueados.

Al intentar picar los bloques en dos partes iguales con sierra manual, se obtuvo como resultado un desmoronamiento de los mismos. Por esta razón hubo necesidad de utilizar una cortadora de concreto.

La viga de fundación resultó con leves desniveles debidos al fraguado del concreto. Dichos desniveles se compensaron con el mortero que sirvió de junta entre dicha viga y la primera hilera de bloques.

La adherencia entre los bloques y el mortero resultó ser aparentemente baja. No se hicieron pruebas para cuantificar esta propiedad; sin embargo, se observó que los bloques podían despegarse fácilmente después de cuarenta minutos unidos al mortero.

Los bloques se dispusieron de tal forma que su base fuese la cara horadada. De esta manera se evitaría la filtración por gravedad del mortero hacia la parte interior del bloque.

Las cavidades de los medios-bloques ubicados en los extremos de algunas hileras se dispusieron de cara a la unidades de mampostería y no de cara a los machones. Esta fue la disposición recomendada por el personal técnico del IMME para evitar la formación de planos de falla.

Las hileras superiores del paño de mampostería no resultaron completamente alineadas lateralmente debido a las deformaciones de los

VI. ANÁLISIS DE RESULTADO

bloques. Es esto pudo haber influido también la dificultad de operar adecuadamente con los bloques debido a su elevado peso.

Las hileras de bloques resultaron unidas con capas de mortero de espesor irregular debido a la necesidad de compensar el desnivel generado por la variación del tamaño de los bloques.

En algunas zonas quedaron espacios entre el bloque y el mortero, debido posiblemente a la poca trabajabilidad de éste, a su adherencia con las unidades de mampostería e incluso a la forma de aplicación del mismo.

VII. CONCLUSIONES

VII. CONCLUSIONES

- El diseño de mezcla propuesto en el trabajo especial de grado **“Diseños De Mezcla Para El Uso En La Fabricación De Bloques Aligerados De Suelo-cemento”** elaborado por Rodríguez Loly y Mauricio Simonpietri, respondió a los objetivos del presente trabajo de grado.
- La metodología de construcción propuesta se ajustó adecuadamente a la metodología de fabricación de bloques propuesta en el Trabajo Especial de Grado **Fabricación y Caracterización de Bloques Aligerados de Suelo-Cemento** elaborada por Sánchez Jonathan y Moreno Rafael. Hay que anotar que dicha metodología se adapta a la máquina usada en la fabricación de bloques, aunque puede aplicarse en forma general para otros tipos de máquina que sigan un principio similar.
- El tiempo de vibrado ideal para la mezcla utilizada fue de 8 segundos. Sin embargo no puede hacerse una generalización porque las mezclas variaran sus propiedades con el suelo que se utiliza. La elección del tiempo de vibrado dependerá de la observación y experiencia de los fabricantes
- A pesar de que el diseño de mezcla recomienda el agua optima del suelo, debe tenerse en cuenta la humedad ambiental a la cual fue embolsado el material. De ésta dependerá la dosificación de agua que se agregue. En este caso la cantidad utilizada será la que indique la textura de la mezcla, se debe añadir agua hasta que la mezcla sea homogénea y consistente.
- El sistema constructivo propuesto ofrece un instrumento útil y de bajo costo para que aquellas comunidades aisladas y de poco acceso a zonas industrializadas puedan edificar sus propias viviendas
- El proceso de construcción evidenció que la textura lisa de los bloques disminuye la adherencia entre éstos y el mortero
- Se probó que los bloques no tienen la suficiente estabilidad mecánica para ser cortados en dos partes iguales sin desmoronarse. Por esta razón debe usarse una máquina cortadora de concreto.

VII. CONCLUSIONES

- Las láminas de acero que conforman el molde de la máquina artesanal de fabricación de bloques, son muy delgadas. Esto causa deformación local en los bloques y que su forma no sea completamente rectangular. Además se generan variaciones en las dimensiones de las unidades.
- Durante el proceso se hizo notorio que el elevado peso de los bloques dificulta su manipulación.

VIII RECOMENDACIONES

VIII. RECOMENDACIONES

- Determinar el tamaño adecuado para los bloques pues su peso hace difícil su manipulación y colocación, por lo que es recomendable la reducción en las dimensiones de los bloques para lograr un bloque de menor peso, siendo adecuado un peso de 15 o 16 Kg.
- Para la fabricación masiva de bloques, se debe disponer de una máquina que permita la fabricación de mas unidades de mampostería en un menor tiempo.
- Se propone un molde en el que los espacios para cada bloque queden separados por una lámina gruesa de acero pues la que tiene actualmente hace difícil fabricar dos bloques al mismo tiempo.
- Se propone el estudio de muros de suelo-cemento edificados utilizando las tapias como sistema constructivo. Es aconsejable la colocación de una malla de acero dentro de la tapia para garantizar un mejor desempeño.
- Se proponen las siguientes modificaciones en los bloques de suelo-cemento con el objeto de mejorar la adherencia entre el mortero y el bloque y disminuir el peso de las unidades.
 1. Hacer canaletas en la cara inferior y en los extremos del bloque. Figura 32 y Figura 33
 2. Reducir las dimensiones de los bloques.

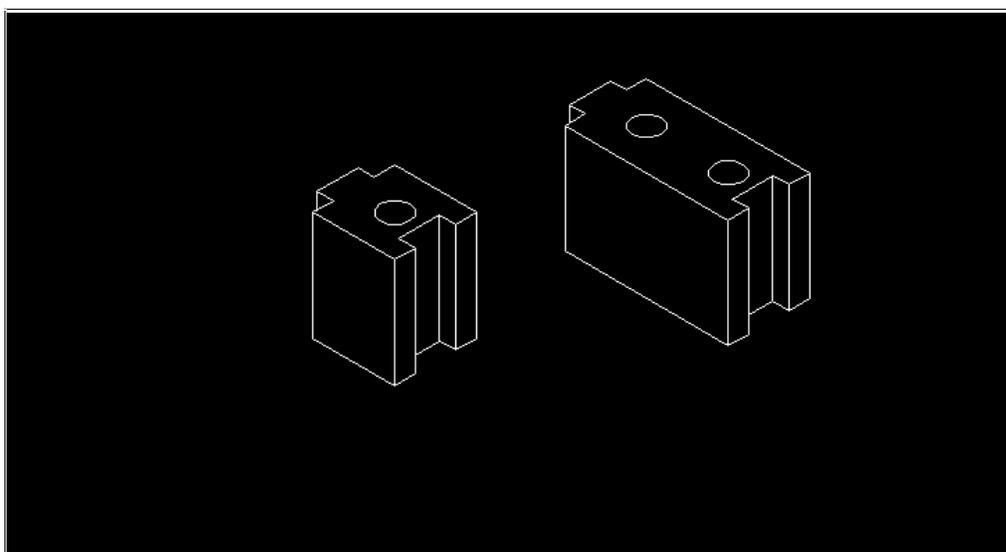


Figura 32 Diseño de bloque y medio bloque propuesto

VIII. RECOMENDACIONES

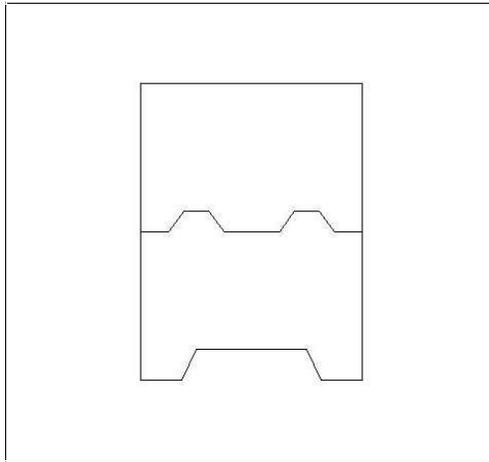


Figura 33 Diseño de canaletas para la cara inferior

- Se propone crear un programa de pasantías para que estudiantes de los últimos semestres de Ingeniería Civil participen en el adiestramiento y supervisión de las comunidades que adopten el suelo-cemento como tecnología constructiva. Además de cumplir con propósitos académicos, dicho programa generaría aportes a la solución de un sector específico de la sociedad que no puede acceder a viviendas con condiciones mínimas de seguridad y confort.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Ascanio, Alejandro. **La Tapia: Un Arte Que Se Niega A Morir**. Mérida (Venezuela). Artículo en línea disponible en <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n20/aaasc.html>. Consultado el 05/06/04

Asociación Argentina del Bloque de Hormigón. [Página Web en línea]. **Manual de Mampostería** Disponible en <http://www.aabh.org.ar>. Consultado el 05/04/04

Cabrera Sorelys y Hernández Álvaro.(2003) **Uso del Suelo-Cemento en la Construcción de Placas de Fundación para Viviendas de Bajo Costo**. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.

Gallegos Hector **Albañilería Estructural**. Pontificia Universidad Católica del Perú. Segunda Edición 1991. Fondo Editorial 1989

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

Klees Delia R. **Fabricación de Componentes Modulares para la Construcción de Viviendas de Bajo Costo Utilizando Suelo-Cemento**. Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Nordeste. Argentina, 2002

Moreno Rafael y Sánchez Jonathan (2002). **Fabricación y Caracterización de Bloques Aligerados de Suelo-Cemento**. Trabajo Especial de Grado Universidad Central de Venezuela,.

Perozo María Gabriela (1987). **Evaluación Del Comportamiento De Muros En Bloques De Concreto Bajo La Acción De Carga Lateral**. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela

Rodríguez, L y Simonpietri, M. (2002). **Diseño De Mezcla Para Su Uso En L A Fabricación De Bloques Aligerados De Suelo-Cemento**. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas

UGAS, Celso. **Ensayos de Laboratorio en Mecánica de Suelos. Discusión , Evaluación y Procedimiento**. Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. 3ra Edición . Caracas, 1985