

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DEL MATERIAL
SUELO-CEMENTO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN
PARA VIVIENDAS DE BAJO COSTO EN EL PERÚ**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

José Augusto Valdivia Cariat

ASESOR: Ing. Francisco Ginocchio Celi

Lima, Octubre 2016

Resumen

El objetivo de la presente investigación es determinar si es factible implementar el suelo-cemento como material de construcción en viviendas de bajo costo en el Perú. Se pretende mitigar la situación generada por dos contextos claramente marcados. El primero de ellos se refiere a la falta de vivienda, tanto cualitativa como cuantitativamente, que hay en el país, y el segundo alude a la falta de oferta inmobiliaria para los sectores socio-económicos bajos.

En respuesta a la problemática indicada en el párrafo anterior, la investigación considera el uso del suelo-cemento en un sistema constructivo (albañilería reforzada con malla exterior) con poca variación en relación a la construcción tradicional con adobe, típica en nuestro país.

En el desarrollo de la investigación se presenta una revisión bibliográfica con los aspectos más resaltantes del material suelo-cemento. Luego, se propone un módulo de vivienda para comparar las técnicas constructivas del suelo-cemento con las de la albañilería confinada de ladrillos de arcilla, así como los costos asociados a cada uno de los sistemas.

Adicionalmente, se plantea un conjunto de recomendaciones que sirvan de pautas básicas para la elaboración de una norma nacional de suelo-cemento, con un enfoque empírico. Finalmente, se anotan las conclusiones más resaltantes del análisis indicado.



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título	“Factibilidad de implementación del material suelo-cemento como material de construcción para viviendas de bajo costo en el Perú”.
Área	Construcción y Gestión
Asesor	Ing. Francisco Ginocchio Celi
Alumno	JOSÉ AUGUSTO VALDIVIA CARIA
Código	2008.7285.412
Tema N°	# 270
Fecha	Lima, 24 de junio de 2016

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Facultad de Ciencias e Ingeniería

27 JUN. 2016
MIGUEL MEJIA PUENTE
DECANO

ANTECEDENTES

A lo largo de la historia, el ser humano ha utilizado diferentes materiales para satisfacer su necesidad de un hogar seguro. Entre todos ellos, algunos se mantienen prácticamente sin mayor variación en su uso hasta el día de hoy; como es el caso de las construcciones con tierra. Lamentablemente, éstas presentan alta vulnerabilidad ante ciertos fenómenos naturales, como por ejemplo, los sismos.

En el Perú, la construcción con tierra representa un importante porcentaje del total de viviendas existentes, y siendo nuestro país altamente sísmico, significa que existe un gran número de estas unidades en peligro potencial. En esas viviendas, en los sectores socio-económicos más bajos es frecuente la modalidad de autoconstrucción, o la construcción informal sin la debida asistencia técnica. Ello ocasiona, en muchos casos, la falta de cumplimiento de las recomendaciones estructurales mínimas, con el consecuente resultado de edificaciones altamente vulnerables.

En respuesta al riesgo mencionado, es necesario investigar formas alternativas de mejorar el material (tierra), tanto en la tecnología como en el manejo apropiado en obra, de forma que se obtengan procedimientos constructivos fáciles de implementar en campo por personas no necesariamente calificadas.

OBJETIVOS

El objetivo principal de la tesis es investigar la viabilidad de implementar el suelo-cemento como material de construcción para viviendas de bajo costo en el Perú, y adaptar este material a uno de los sistemas constructivos típicos.

Adicionalmente, se tratará de brindar recomendaciones y pautas para la elaboración de una futura norma nacional del material con fines de vivienda.

PLAN DE TRABAJO

- Investigación bibliográfica sobre el material suelo-cemento: definiciones, propiedades, diseño de mezclas, procedimientos constructivos.
- Propuesta de un modelo de vivienda básica para ser analizado en dos sistemas constructivos: albañilería de suelo-cemento y albañilería confinada de ladrillo de arcilla.
- Descripción de los aspectos constructivos más importantes del suelo-cemento a nivel de vivienda.
- Análisis de costos de cada uno de los dos sistemas constructivos.
- Análisis comparativo entre ambos sistemas, respecto a los procedimientos constructivos y los costos.
- Conclusiones y recomendaciones.

Máximo 100 páginas

José Luis

A



Dedicatoria

A Dios por la oportunidad,
Y a mi madre por impulsarme a aprovecharla.



Agradecimientos

A todos aquellos que acompañaron y fueron parte de esta etapa,

En especial a mis grandes amigos Chachi y Fritzenwalden.

Muchas gracias.



Índice

- 1 Introducción
 - 1.1 Objetivos
 - 1.2 Alcance
 - 1.3 Justificación
 - 1.4 Metodología

- 2 Marco teórico
 - 2.1 El suelo
 - 2.1.1 Formación del suelo
 - 2.1.2 Química del suelo
 - 2.1.3 Física del suelo
 - 2.1.4 Mecánica del suelo

 - 2.2 Análisis del suelo
 - 2.2.1 Ensayos de campo
 - 2.2.2 Ensayos de laboratorio
 - 2.2.3 Corrección de la curva granulométrica del suelo

 - 2.3 El cemento
 - 2.3.1 Materia prima y composición del cemento
 - 2.3.2 Fraguado
 - 2.3.3 Elementos que influyen en el fraguado
 - 2.3.4 Resistencia del cemento

 - 2.4 Suelo-cemento
 - 2.4.1 Ventajas del suelo-cemento
 - 2.4.2 Propiedades
 - a. Resistencia a la compresión simple
 - b. Resistencia a la flexión

- c. Contracción transversal
 - d. Agrietamiento
 - e. Resistencia a la absorción de agua y congelamiento
 - f. Permeabilidad
- 2.4.3 Diseño de mezclas
- a. Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento
 - b. Método corto de la Portland Cement Association (PCA)
 - c. Método de acuerdo a su composición granulométrica
- 2.4.4 Pruebas especialmente diseñadas para suelo-cemento
- a. Prueba a la compresión simple
 - b. Prueba de humedecimiento y secado
 - c. Prueba de hielo–deshielo
 - d. Prueba de compactación
- 3 Diseño arquitectónico y estructuración de un modelo de vivienda
- 3.1 Fundamento arquitectónico
 - 3.2 Diseño arquitectónico
 - 3.3 Estructuración
 - 3.3.1 Suelo-cemento
 - 3.3.2 Albañilería confinada
- 4 Análisis de procesos constructivos
- 4.1 Procesos constructivos para una vivienda de suelo-cemento
 - 4.1.1 Obras preliminares
 - 4.1.2 Cimientos y sobrecimientos
 - 4.1.3 Mortero
 - 4.1.4 Muros
 - 4.1.5 Instalaciones

- 4.1.6 Interfaz muro-techo
- 4.1.7 Malla de refuerzo
- 4.1.8 Techo
- 4.1.9 Piso
- 4.1.10 Cronograma propuesto

- 4.2 Procesos constructivos para una vivienda de albañilería confinada
 - 4.2.1 Obras preliminares
 - 4.2.2 Cimientos y sobrecimientos
 - 4.2.3 Muros
 - 4.2.4 Instalaciones
 - 4.2.5 Techo
 - 4.2.6 Piso
 - 4.2.7 Cronograma propuesto

- 5 Análisis de costos de la vivienda
 - 5.1 Análisis de costos de una vivienda de suelo-cemento
 - 5.1.1 Metrado de materiales
 - 5.1.2 Elaboración de análisis de precios unitarios
 - 5.1.3 Cálculo del costo asociado a la construcción
 - 5.1.4 Cronograma valorizado

 - 5.2 Análisis de costos de una vivienda de albañilería confinada
 - 5.2.1 Metrado de materiales
 - 5.2.2 Estimación del costo total por ratios
 - 5.2.3 Cronograma valorizado

- 6 Análisis comparativo entre sistemas
 - 6.1 Análisis con relación a los procesos constructivos
 - 6.1.1 Cimentaciones

- 6.1.2 Muros y recubrimientos
- 6.1.3 Refuerzos de los muros
- 6.1.4 Techo
- 6.1.5 Instalaciones

- 6.2 Análisis con relación a los costos
 - 6.2.1 Respecto a la vivienda de suelo-cemento
 - 6.2.2 Respecto a la vivienda de albañilería confinada
 - 6.2.3 Comparación de costos entre sistemas

- 7 Recomendaciones para una norma nacional de suelo-cemento
 - 7.1 En relación a la tecnología del suelo-cemento
 - 7.2 En relación a los procesos constructivos

- 8 Conclusiones

- Bibliografía

- Anexos

Lista de figuras

- Figura 2.1 Reacción del suelo ante cargas aplicadas
Figura 2.2 Comportamiento del suelo a compresión simple
Figura 2.3 Resultados de compresión
Figura 2.4 Influencia del contenido de cemento en los suelos
Figura 2.5 Influencia del contenido de cemento en el agrietamiento
Figura 2.6 Relación entre los esfuerzos de flexión y de compresión
Figura 2.7 Variación de la contracción con el contenido de cemento
Figura 2.8 Efecto del tratamiento con cemento a una arcilla expansiva
Figura 2.9 Estimación del peso volumétrico máximo promedio para la variante A
Figura 2.10 Obtención del contenido de cemento para la variante A
Figura 2.11 Resistencia mínima a la compresión simple
Figura 2.12 Estimación del peso volumétrico máximo promedio para la variante B
Figura 2.13 Obtención del contenido de cemento para la variante B
Figura 2.14 Obtención de las resistencias a la compresión simple para mezclas
Figura 3.1 Modelo de vivienda propuesto
Figura 3.2 Estructuración de vivienda de suelo-cemento reforzada con geomalla
Figura 3.3 Estructuración de vivienda de albañilería confinada
Figura 4.1 Infiltraciones en el relleno y acumulación prolongada
Figura 4.2 Solución para la acumulación de escorrentía superficial
Figura 4.3 Colocación de mallas en sobrecimientos
Figura 4.4 Recomendaciones para el diseño de vanos
Figura 4.5 Soluciones para el dintel
Figura 4.6 Errores comunes en muros
Figura 4.7 Rigidización de esquinas
Figura 4.8 Corte de malla para puertas y ventanas
Figura 4.9 Tijeral típico para techo
Figura 4.10 Curva S: Casa de suelo-cemento
Figura 4.11 Curva S: Casa de albañilería confinada
Figura 5.1 Curva S valorizada: Casa de suelo-cemento
Figura 5.2 Curva S valorizada: Casa de albañilería confinada
Figura 6.1 Costos por partida de casa de suelo-cemento
Figura 6.2 Detalle del costo del muro de suelo-cemento
Figura 6.3 Costos por partida de casa de albañilería confinada
Figura 6.4 Detalle del costo del muro de albañilería confinada
Figura 6.5 Comparativo de costos por partidas de ambos sistemas

Lista de tablas

- Tabla 2.1 Tamaños de las partículas de un suelo
- Tabla 2.2 Mezcla de dos suelos diferentes
- Tabla 2.3 Influencia de la variación del contenido de óxidos en los compuestos del cemento
- Tabla 2.4 Resistencia a la compresión simple del suelo-cemento
- Tabla 2.5 Permeabilidad para diversos suelos y contenidos de cemento
- Tabla 2.6 Distribución granulométrica en suelos aptos para suelo-cemento
- Tabla 2.7 Contenido de cemento para diferentes granulometrías
- Tabla 2.8 Porcentaje máximo de pérdidas en mezclas de suelo-cemento
- Tabla 4.1 Coeficientes para las luces de los elementos de los tijerales
- Tabla 5.1 Materiales necesarios para la vivienda de suelo-cemento
- Tabla 5.2 Rendimientos promedio
- Tabla 5.3 Rendimientos de partidas de refuerzo
- Tabla 5.4 Peso específico promedio por tipo de suelo
- Tabla 5.5 Costo de bloque por unidad de suelo-cemento (Suelo SP)
- Tabla 5.6 Costo de bloque por unidad de suelo-cemento (Suelo SM)
- Tabla 5.7 Costo de bloque por unidad de suelo-cemento (Suelo CL-CH)
- Tabla 5.8 Costo por m² de muro (Suelo CL-CH)
- Tabla 5.9 Costo por m² de colocación de geomalla
- Tabla 5.10 Costo por m² de piso de suelo-cemento (Suelo CL-CH)
- Tabla 5.11 Costo por m² de tarrajeo con barro de pared interior
- Tabla 5.12 Costo por m² de tarrajeo con barro de pared exterior
- Tabla 5.13 Presupuesto general de construcción para una vivienda de suelo-cemento
- Tabla 5.14 Metrados para la vivienda de albañilería confinada
- Tabla 5.15 Peso estimado de acero según elemento
- Tabla 5.16 Presupuesto general de construcción para una vivienda de albañilería confinada
- Tabla 6.1 Precios finales de construcción
- Tabla 6.2 Costo semanal de la vivienda de suelo-cemento
- Tabla 6.3 Costo semanal de la vivienda de albañilería confinada

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una gran oferta de viviendas en el país; sin embargo, no es suficiente para satisfacer la demanda existente. Luego de realizar estudios sobre los precios de los inmuebles nuevos se llegó a la conclusión que en la mayoría estas ofertas están orientadas a niveles socio económicos medios. Por otro lado, si analizamos los indicadores de vivienda en el país podemos observar que existe un gran déficit de viviendas en los niveles socio-económicos más bajos. En consecuencia, es muy difícil, por no decir utópico, que las personas de estos sectores accedan a una de las tantas viviendas que se ofertan en el mercado inmobiliario.

En respuesta a tal situación, la presente tesis se ideó con el fin de brindar una alternativa económica para las personas que no pueden costear una de las viviendas que se ofrecen en el mercado. Por otro lado, se estudia de los sistemas constructivos “típicos” del país (construcción con adobe) y, de cierta forma, mejora la calidad del mismo, pues el objetivo es introducir un nuevo sistema, pero que presente poca variación por el conocido por los pobladores.

Uno de los baluartes de esta investigación es brindar una solución económicamente viable, eso quiere decir que todo lo presentado en esta investigación está pensado de una forma en la que se optimizan todos los recursos que se utilizan. Es importante destacar que recurso se refiere tanto a mano de obra como materiales necesarios para el desarrollo de la construcción.

Por otro lado, la tesis está ideada con el fin de presentar los procedimientos constructivos de la forma más simple posible, sin que eso comprometa su óptimo desempeño estructural. Por lo que no será necesario el uso mano de obra calificada, sin que esto signifique un aumento en la posibilidad de error al momento de desarrollar la construcción.

También se espera tener una postura acerca del material suelo-cemento para poder discernir si es una alternativa viable de vivienda económica. Asimismo, pretende generar conciencia sobre el problema habitacional existente e incentivar a diversos profesionales a investigar y plantear nuevas soluciones para el problema de viviendas en el Perú.

Por último, esta investigación pretende dar pautas para una posible elaboración de una norma de construcción acerca del suelo-cemento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

- Analizar la viabilidad de implementar el suelo-cemento como material de construcción para viviendas de bajo costo en el Perú.

1.1.2 Objetivos Específicos:

- Comparar los procedimientos constructivos y costos asociados a las viviendas de suelo-cemento versus albañilería confinada de ladrillo de arcilla.
- Aportar a las normas de construcción de materiales tradicionales
- Describir las características más resaltantes del material suelo-cemento y las pruebas especialmente orientadas para su uso como material de construcción en edificaciones.

1.2 ALCANCE

Esta investigación ha sido pensada para una vivienda rural de la serranía peruana. La vivienda será reforzada con geomallas poliméricas para mejorar el comportamiento estructural; además, será comparada con una vivienda de albañilería confinada.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, en el país existe un déficit de 1.860.920 viviendas para todos los sectores socio-económicos, del cual el 21% es cuantitativo y el 79% restante es cualitativo (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016). Lamentablemente, el mayor déficit se concentra en los niveles socio-económicos bajos; ello conlleva a buscar soluciones de vivienda de bajo costo.

El porcentaje de viviendas que emplean el adobe como material de construcción es 33,6% del total. Si distinguimos entre urbano y rural, los porcentajes varían a 20,8% y 72,3%, respectivamente (INEI, 2014). Entonces, plantear una alternativa de mejora es conveniente.

Por las razones expuestas, la presente tesis busca brindar una opción de vivienda económica. De esta forma se ayuda a mitigar los déficits de vivienda cualitativo y cuantitativo existentes.

1.4 METODOLOGÍA

Debido a que esta investigación presenta un material “nuevo” para ser usado como material de construcción en el país, es importante presentar un detallado marco teórico donde se aborden las características más relevantes del material, las propiedades mecánicas relacionadas con el uso como material para viviendas, las pruebas que deben realizarse, entre otros.

Una vez realizado el marco teórico pertinente, se diseñará una vivienda básica. Para tal motivo se estudiarán las necesidades y los requerimientos básicos para el diseño arquitectónico de una vivienda unifamiliar.

Definido el diseño arquitectónico, se procederá a realizar la estructuración de la vivienda en dos sistemas diferentes. El primero en albañilería simple de suelo-cemento y el segundo en albañilería confinada de ladrillos de arcilla. Los modelos presentados seguirán los lineamientos de las normas nacionales de albañilería (E.070) y adobe (E.080), según corresponda. Asimismo, se tendrá en consideración todas las normas pertinentes (E.010, E.020, E.030 y E.050).

Se diseña la misma vivienda en los dos sistemas diferentes con el fin de comparar los procedimientos para cada uno de ellos y tener una referencia al momento de evaluar la dificultad constructiva.

Por otro lado, se analizará los costos asociados a cada vivienda, es decir, costos de materiales, mano de obra, entre otros, para luego poder comparar los costos de cada vivienda.

Es importante destacar que se compara con la albañilería confinada pues representa el sistema constructivo más utilizado en el Perú (INEI, 2014), además de ser uno de los más frecuentes en la auto-construcción.

Después de realizar las comparaciones respectivas, se redactará un capítulo en el que se propondrá una serie de recomendaciones para la elaboración de una norma nacional de suelo-cemento.

Por último, se brindarán las recomendaciones y comentarios pertinentes.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

El marco teórico presentado en el presente capítulo está basado en los títulos “Suelo-cemento: sus usos, propiedades y aplicaciones” de Eduardo De La Fuente Lavalle (1995), y “Estabilización de suelos: suelo-cemento” de Manuel Torrente y Luis Sagüés (1974).

2.1 EL SUELO

El vocablo “suelo”, a lo largo del tiempo, ha sido definido de muchas formas dependiendo de la especialidad que lo utilice. Entre las más resaltantes podemos encontrar las explicaciones de los agrónomos, los geólogos y los ingenieros civiles.

El agrónomo G. P. Tschebotarioff define el suelo como la delgada parte superior del manto de rocas en el que penetran las raíces de las plantas y donde éstas toman el agua y las demás sustancias necesarias para su existencia (Crespo, 2004).

El geólogo -según N. J. Chiossi- define al suelo como el material resultante de la descomposición y desintegración de la roca por el ataque de los agentes atmosféricos (Crespo, 2004).

El ingeniero civil –según Braja M. Das– define al suelo como una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que es resultado del intemperismo. La meteorización (intemperismo) se puede desarrollar mediante procesos físicos o químicos. Si el suelo permanece en su lugar de origen, se le denomina suelo residual; en caso contrario, suelo transportado (Crespo, 2004).

Para los fines académicos de esta investigación, adoptaremos la definición del ingeniero Braja M. Das.

2.1.1 FORMACIÓN DEL SUELO

El aumento de la temperatura genera en las rocas un gradiente de calor, lo que ocasiona que la superficie se dilate más que el centro. La diferencia de expansión genera esfuerzos grandes que se traducen en la fractura (grietas) de la capa superficial de la roca. En estas penetra el agua que, al congelarse, aumenta su volumen y produce que las grietas aumenten su ancho, lo que conllevará a que se desprendan fragmentos de diversos tamaños. A estas acciones, hay

que añadir el efecto del viento que transporta pequeñas partículas de arena, las cuales al ser arrastradas sobre la superficie de la roca hacen que se desgaste y fomente su desintegración. Es importante destacar que los fragmentos de roca generados tendrán la misma composición de la roca de la cual fueron originados (roca madre). Los procesos descritos en el presente párrafo se denominan intemperismo físico.

El agua y el oxígeno que se encuentran dentro de las grietas hacen que los minerales presentes en las rocas se conviertan en hidratos y óxidos. Mientras más pequeñas son las rocas, más rápida es la acción química. Asimismo, el agua acidulada (agua con presencia de ácidos) circula por los canales que se van generando entre las partículas de las rocas, lo que acelera su proceso de meteorización. El proceso mencionado, a diferencia de los descritos en el párrafo anterior, modifica la composición química de los fragmentos producidos, es decir, tienen una estructura química diferente a la de su roca madre. Esto se denomina intemperismo químico. Los fragmentos generados de esta forma, en muchos casos, son transportados por el viento y durante el viaje se chocan unos con otros, lo que hace que se desintegren aún más.

A pesar que los agentes físicos son de mucha importancia en la formación de los suelos, ellos no son capaces de reducir los fragmentos rocosos a tamaños individuales menores a 0,01 mm. La desintegración a tamaños menores solo puede efectuarse mediante procesos químicos (Crespo, 2004).

2.1.2 QUÍMICA DEL SUELO

Si bien la química del suelo está más relacionada con la agronomía, el ingeniero civil no debe desatender este aspecto, pues debe conocer las cualidades del suelo que lo favorecen o perjudican como elemento de construcción.

Para los ingenieros (Torrente y Sagüés, 1974), el suelo es un complejo de tres fases en equilibrio continuamente cambiante: una fase sólida, una fase líquida y una fase gaseosa.

El elemento o fase sólida del suelo corresponde al material mineral; la fase líquida compete al agua que lo humedece; y la fase gaseosa, al aire que se encuentra en el suelo y se mezcla con las partículas. Debido a la naturaleza cambiante de las condiciones en las que se encuentra el suelo (cambios de temperatura, variaciones en el contenido de agua, etc.), jamás se encontrará en un perfecto equilibrio entre las fases.

Podemos dividir la fase sólida del suelo en tres subcategorías en función al tamaño de las partículas. Las de mayor tamaño están formadas por fracciones de roca. Existen, también, partículas de tamaño intermedio, las cuales están formadas por los minerales que componen las rocas: feldespatos, micas, etc. (Torrente y Sagüés, 1974). Estas dos categorías son bastante estables y pueden ser consideradas como elementos inertes. Además, existen partículas de tamaño muy pequeño denominadas arcillas, las cuales son elementos activos que resultan de una descomposición avanzada de los feldespatos, procedentes de la desintegración de rocas ígneas o sedimentarias.

Las partículas de arcilla son pequeñísimas laminillas capaces de retener en su superficie una cantidad muy grande de agua en relación a su volumen (adsorción). Por otra parte, funcionan como polos de un condensador eléctrico entre los cuales quedan atrapadas las moléculas de agua, formando muchos eslabones. Algunas veces, uno de estos es sustituido por un elemento llamado catión, que se engarza en la cadena. Los cationes son de diferente naturaleza unos con respecto de otros, y brindan a las arcillas diferentes propiedades (Torrente y Sagüés, 1974). Dado que la fuerza que permite que los cationes se engarzen es muy pequeña, estos pueden ser desplazados y sustituidos con mucha facilidad. Esta característica de los cationes le brinda a las arcillas la posibilidad de ser mejoradas. Por ejemplo, al disminuir su capacidad para retener agua, se volverá más útil como elemento constructivo.

Las arcillas son plásticas. Esto significa que cambian fácilmente de forma cuando una fuerza es aplicada (Torrente y Sagüés, 1974). Por otro lado, son capaces de unir fragmentos de una o varias sustancias, y dar cohesión al conjunto por efectos exclusivamente físicos, actuando como un material aglomerante (Real Academia Española, 2014). Otra propiedad resaltante es que cambian su volumen de acuerdo a la cantidad de agua absorbida, expandiéndose al aumentar el contenido de agua.

La fase líquida del suelo está constituida por el agua, procedente de la lluvia que cae directamente o la que escurre por gravedad de suelos más altos, y los diversos tipos de partículas que se encuentran disueltas en la misma. El agua desempeña un rol de agente químico importante en la formación del suelo, debido a que muchos de los minerales que se encuentran en él, tienen su origen en la precipitación de productos procedentes de las rocas, los cuales han sido disueltos por acción del agua.

Por último, la fase gaseosa está compuesta por el aire y los productos gaseosos. Estos son producto de las diversas reacciones de oxidación que ocurren en los suelos.

2.1.3 FÍSICA DEL SUELO

La física del suelo está relacionada a su parte sólida, la cual está conformada por una diversa gama de partículas. Estas son clasificadas según su tamaño, cuyos límites varían según las organizaciones que los definen. En la Tabla 2.1 se presentan los criterios de cuatro instituciones reconocidas.

Tabla 2.1 Tamaños de las partículas de un suelo (Das Braja, 2002)

Nombre de la organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	> 2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas) <0.075	

El agua retenida en las arenas se aloja en grandes poros, mientras que en las arcillas se aloja en cavidades microscópicas superficiales. Es por este motivo que una arena con el 1% de su peso en agua parece mojada, y entretanto, una arcilla en las mismas condiciones presenta la apariencia de estar seca.

El aire ocupa los lugares que los otros dos elementos dejan libre, y conforme se encuentre a una mayor profundidad, va desapareciendo a raíz de que aumenta la compresión a la que está sometido el suelo.

Los elementos mencionados constituyen un conjunto de propiedades físicas, las cuales están asociadas a su estado particular. Es importante resaltar que cuando se hace referencia a una propiedad física del suelo hay que incluir las condiciones en las que la medición fue realizada. Por ejemplo, si se desea obtener el peso específico de una determinada muestra de suelo, bastaría con realizar el cociente entre el peso y su volumen. Mas si por alguna razón el volumen cambia, el peso específico también cambiará. Por tal motivo, está demostrado que

estas propiedades están estrechamente relacionadas con las condiciones en las que se encuentra el suelo al momento de realizar la medición.

Para establecer una idea acerca de las propiedades físicas del suelo, lo analizaremos bajo un estado de compresión. Al aplicar una fuerza de compresión sobre el suelo, las partículas se adecúan con el fin de encontrar una posición más estable. En este acomodo, las partículas de menor tamaño ocupan los espacios dejados por las de mayor tamaño. En conclusión, el suelo ha modificado (reducido) su volumen para poder resistir la carga. “Un aumento de densidad va acompañado de un aumento de resistencia” (Torrente y Sagüés, 1974).

Si al suelo del párrafo anterior se le agrega una pequeña cantidad de agua, no existirá equilibrio entre la carga aplicada y la respuesta del suelo. El agua originará que el suelo ceda presión y actuará como lubricante para las partículas, generando que el suelo alcance una densidad mayor.

El suelo adquiere una cohesión cuando consigue una densidad determinada, y por consiguiente, una resistencia. En el caso de las arenas secas, la cohesión es muy débil, casi inexistente. Si se le agrega una determinada cantidad de agua a cualquier tipo de suelo, la cohesión solo dependerá de la humedad presente. Esta recibe el nombre de cohesión aparente. Por otro lado, en el caso de las arcillas, debido a su atracción molecular, la fuerza coercitiva es muy fuerte y recibe el nombre de cohesión real. Para ambos casos, es necesario que el agua esté dentro de unos límites. Pasados estos límites, el suelo se disgrega.

En el Anexo 1 se presenta la clasificación propuesta por el Sistema Unificado para la Clasificación de Suelos (SUCS) y la clasificación propuesta por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

2.1.4 MECÁNICA DEL SUELO

Cuando el suelo está seco, el conjunto de partículas que lo constituyen no generan una cohesión suficiente para mantenerlo unido. Por tal motivo, ante esfuerzos de tracción, se disgrega. Este fenómeno es más intenso en suelos granulares. Por otra parte, un suelo arcilloso en las mismas condiciones presenta cierta cohesión, pero ante esfuerzos de tracción cede y termina por romperse.

Caso contrario ocurre cuando se le aplica una carga de compresión al suelo. Si se trata de un suelo arcilloso, este cederá cuando la carga supere el valor de la cohesión existente entre las

partículas. La cohesión permanece invariable sin importar en qué estado se encuentre el suelo, mientras la humedad permanezca constante. Por otro lado, esta fuerza es la única que se opone a las fuerzas externas.

En cambio, los suelos granulares reaccionan ante la carga aplicada. Si no se produce un deslizamiento en las partículas se debe principalmente a la fuerza de rozamiento inherente al suelo, que equilibra a la fuerza externa.

En el caso de las arcillas, para diferentes cargas siempre oponen la misma reacción invariante. Por tal motivo, la conducta mecánica de ellas está expresada, para un eje coordenado, por una línea paralela al eje de las abscisas.

En los suelos granulares el comportamiento es completamente distinto. Al aplicarse una carga “K”, las partículas tienden a resbalar por un plano (DC) que forma un ángulo ϕ con la horizontal. Esta carga puede descomponerse en una fuerza paralela y en otra perpendicular al plano de resbalamiento. La fuerza perpendicular es equilibrada por la inercia de masas del suelo, mientras que la fuerza paralela es soportada solamente por la resistencia al corte del suelo.

Los suelos no son perfectamente plásticos (granulares), ni elásticos (arcillas). Por tal motivo, la reacción ante cargas aplicadas es una combinación de ambos que responde a la ecuación (1), donde “y” representa la reacción correspondiente; “c”, la cohesión presente en el suelo; y “ $p \tan(\phi)$ ”, la resistencia al corte del suelo en el plano de deslizamiento.

$$y=c + p \tan (\phi) \quad (1)$$

La ecuación (1) puede ser representada gráficamente (Figura 2.1) en un sistema coordenado, donde las abscisas representan las presiones en un determinado suelo y las ordenadas la respuesta del mismo ante las diversas presiones.

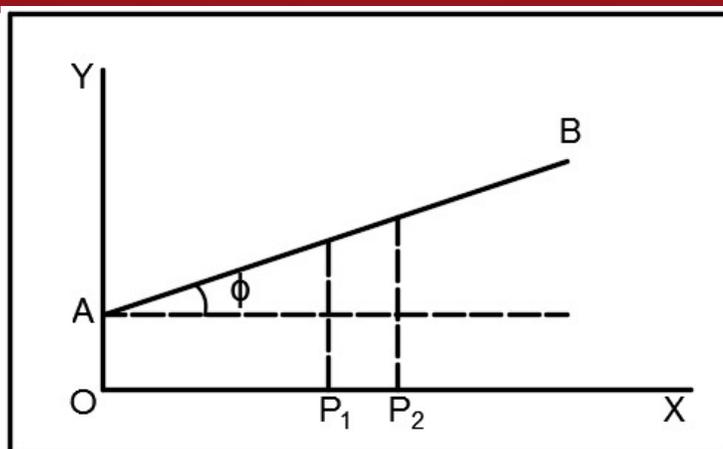


Figura 2.1 Reacción del suelo ante cargas aplicadas (Torrente y Sagüés, 1974)

Del gráfico anterior se concluye que la cohesión interna siempre está presente, aun cuando no exista carga alguna. Asimismo, la reacción del suelo aumenta proporcionalmente al aumento de presión ejercida sobre el mismo.

Si se somete un suelo a diferentes ensayos de compresión, se obtendrá una gráfica, donde destacan los siguientes puntos notables: fin del límite elástico (A) y carga máxima (B). En la Figura 2.2 se muestran los puntos en mención.

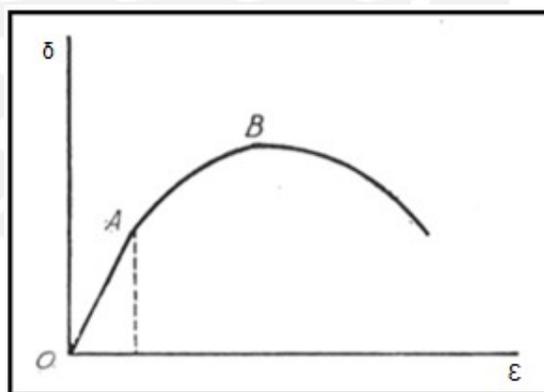


Figura 2.2 Comportamiento del suelo a compresión simple (Torrente y Sagüés, 1974)

El gráfico anterior representa en las abscisas las deformaciones unitarias, y en las ordenadas, las cargas aplicadas. La rama OA es la zona en la que el suelo se comporta elásticamente. Es decir, las cargas son proporcionales a las deformaciones. En el tramo AB las deformaciones exceden a las que corresponderían a tales cargas, y a partir del punto B las deformaciones aumentan, mientras que las presiones van disminuyendo hasta que se produce la rotura del suelo.

2.2 ANÁLISIS DEL SUELO

Tal como se mostró en el capítulo anterior, el suelo es un material muy variable. Por esta razón se debe analizar detalladamente para poder identificar sus propiedades físicas y mecánicas. Por tanto, el análisis del suelo implica una extracción de una muestra del mismo.

Las muestras que se extraen para ser analizadas, ya sea en el campo o en el laboratorio, deben ser extraídas de agujeros abiertos en el suelo. Así se asegura que la muestra sufra la menor variabilidad posible con respecto a su estado inicial.

Cuando en una muestra se entremezclan las partículas, se le denomina muestra perturbada. Este tipo de muestra se acepta cuando el resultado del ensayo es obtener una propiedad que no dependa del estado del suelo. Por otro lado, tenemos a las muestras no perturbadas, que son idóneas para obtener las propiedades tal como se encuentran en el suelo.

Existen técnicas para reducir el tamaño de una muestra perturbada. La más común es el cuarteo. Este método consiste en secar la muestra y mediante algún medio mecánico pulverizarla, de tal modo que no queden grumos. Una vez que se obtiene esta consistencia, se debe formar un cono de pequeña altura para poder dividirla mediante una regla esbozando dos diámetros perpendiculares.

Finalmente, se elige el suelo que ha quedado en las secciones opuestas. Se puede repetir este proceso las veces que sea necesario hasta llegar al peso deseado.

2.2.1 ENSAYOS DE CAMPO

Tal como su nombre indica, son ensayos que cuando son bien realizados, proporcionan resultados que son tan confiables como los obtenidos en un laboratorio. Entre los principales podemos encontrar los siguientes:

Consistencia: este término se relaciona a los suelos finos intactos y “representa la firmeza con la que se unen los materiales que lo conforman, o su resistencia a la rotura” (FAO, s/f). De acuerdo a su consistencia se puede clasificar en muy blando, blando, medianamente compacto, compacto, muy compacto y duro.

Densidad relativa: indica el grado de compacidad de un suelo. Para que se aplique esta clasificación, el suelo debe ser de partículas gruesas con el contenido de finos bajo. Los términos de esta clasificación son los siguientes: muy suelto, suelto, medianamente denso, denso y muy denso. Este ensayo está normado mediante el ASTM C127.

Dilatancia: es un procedimiento normado (ASTM D2488) para identificar a los suelos finos. Consiste en tomar una pequeña muestra (pastilla) del suelo y agregarle una pequeña cantidad de agua, con el fin de dejar el suelo suave. Se coloca la pastilla en la mano, la cual se pone en forma de una cuchara, y se golpea con la otra mano enérgicamente repetidas veces. Se formará una película de agua sobre la muestra. Si al momento de abrir la mano con la muestra, el agua desaparece a una velocidad moderadamente rápida, se trata de un limo inorgánico. Si no se encuentra reacción aparente, se trata de una arcilla plástica (PUCP, 2012).

Resistencia en estado seco: este ensayo consiste en elaborar una pastilla con la muestra. Esta pastilla se pone a secar al sol o en un horno. Una vez seca, se rompe axialmente con la mano. Si se presenta dificultad para romperla, se trata de una arcilla del grupo CH. Los limos presentan sólo una ligera resistencia en el estado seco.

Tenacidad: es la consistencia que presentan los suelos cerca del límite plástico. Mientras más tenaz es un suelo, presenta mayor dificultad para romperlo. Para determinar la tenacidad de un suelo, se agrega agua para lograr una consistencia de masilla. Luego se forma un rollo de 3 mm de diámetro. Dependiendo de la facilidad con la que se logre este rollo, recibe las siguientes clasificaciones: alta, media, baja.

Plasticidad: es la propiedad que permite a los suelos ser moldeados a voluntad mediante fuerzas externas y que permanezcan con la forma proporcionada. Esta clasificación resulta de la observación al realizar el ensayo de tenacidad, y presenta las siguientes categorizaciones: no plástico, baja plasticidad, mediana plasticidad, alta plasticidad.

Densidad “in situ”: la densidad es la relación que existe entre el volumen que ocupa una muestra y el peso de la misma. Cuando se requiere determinar la densidad en el campo, se procede de la siguiente manera: en una superficie de suelo nivelada y alisada se coloca una lona con un agujero de igual diámetro que la muestra requerida. El diámetro está en función del tamaño máximo de las partículas del suelo. La profundidad de este agujero será aproximadamente igual al diámetro. A continuación, se extrae el material excavado y se pesa. Para encontrar el volumen de la muestra, se llena con arena de densidad conocida, la

cual cae libremente de un cono. Se pesa el cono después de haber perdido arena y se calcula el volumen. La densidad del suelo es el cociente entre el volumen y el peso de la muestra.

2.2.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Ensayo de humedad: la humedad es la relación en porcentaje que existe entre el peso del agua y el peso de los sólidos. Para realizar este ensayo, por cuarteo se obtiene el peso del material deseado. Si un determinado suelo tiene partículas mayores o iguales a 2 mm, se separan en muestras de 20 gr mínimo. En caso que se presenten piedras de hasta 60 mm, se puede realizar el ensayo con muestras de 1000 gr como máximo. En el caso de los suelos finos, se pueden trabajar con muestras de 20 a 30 gr. Se toma un recipiente limpio y se pesa. A continuación, se pesa el recipiente con el suelo húmedo (estado natural). El paso siguiente es secar la muestra en un horno, por catorce horas, a una temperatura de 110 °C aproximadamente. Luego se toma este peso y se resta del peso del suelo húmedo. Esta diferencia se debe al agua que se ha evaporado. De esta forma, se obtiene el peso del agua en la muestra. Para calcular la humedad se divide el peso del agua entre el peso del suelo seco y se multiplica por cien (NTP 339.127).

Determinación de sulfatos: la presencia de sulfatos en un suelo es motivo para que este sea rechazado como material de construcción, sin importar las propiedades mecánicas que pueda presentar. No obstante, existe un margen permitido de concentración de sulfatos en el suelo.

El procedimiento para determinar la cantidad de sulfatos se detalla a continuación. Primero, se toma una muestra representativa de 50 gr previamente desecada. Se pesa la muestra y se introduce en un matraz, añadiendo agua destilada hasta completar un volumen de 250 cm³. Luego, se le añade unos 10 cm³ de ácido clorhídrico. Esta mezcla se mantiene a una temperatura de 60 °C por 24 horas. Inmediatamente después, se filtra y se lava con agua destilada caliente. Es necesario verificar que no queden residuos de ácido en la muestra. Luego, se le añade una solución de cloruro de bario al 5% y se lleva a la solución cerca de su punto de ebullición.

Más adelante, se cuela la solución con un papel de filtro, el cual es lavado con agua destilada caliente hasta que no manifieste la presencia de cloruros. Finalmente, este papel de filtro se quema con un pequeño mechero y se pesa el contenido.

Límite líquido: es uno de los límites propuestos por Atterberg. Nos brinda un punto de referencia para poder aclarar si un suelo se encuentra en un estado líquido o plástico. Para

realizar esta prueba se usa un dispositivo llamado cuchara de Casagrande. El ensayo consiste en colocar una muestra de aproximadamente 100 gr sobre la cuchara. Luego, con una espátula normalizada se divide la muestra en dos partes y se procede a accionar la manivela a razón de dos vueltas por minuto, contando los golpes necesarios para que la muestra se junte nuevamente. El objetivo es lograr que se junte con veinticinco golpes. En caso de que el número de golpes sea mayor a veinticinco, se reduce la humedad. En caso contrario, se aumenta. Una vez que se tiene la cantidad de golpes especificada, la humedad correspondiente, en porcentaje, es el límite líquido.

Límite plástico: al igual que el límite anterior, este también es un parámetro definido por Atterberg. Este indicador brinda un referente para determinar si un suelo se encuentra en estado semi-sólido o plástico. El ensayo consiste en generar una bola de 200 gr aproximadamente e ir la amasando hasta conseguir un rollito de 3 mm de diámetro. El límite plástico corresponde a la humedad, en porcentaje, que permite la formación del rollito. En el caso de que sea muy difícil conseguirlo, se debe modificar la humedad.

Compactación: la compactación tiene como objetivo mejorar las propiedades ingenieriles de un determinado suelo, como por ejemplo, aumentar la resistencia al corte o disminuir la permeabilidad. Todas estas propiedades están asociadas al peso específico máximo que se obtiene con una determinada humedad, denominada óptima. Para lograr este propósito disponemos de los ensayos Proctor estándar y Proctor modificado. El procedimiento consiste en compactar con un martillo normalizado un suelo con una determinada humedad. Luego se obtiene el peso específico húmedo y la humedad. Con estos valores se procede a calcular el peso específico seco. Se repite este método para diversos valores de humedad. De esta forma, se dibuja un gráfico de densidad vs. humedad, del cual se obtiene la densidad máxima y la humedad asociada (óptima).

Dependiendo de las características granulométricas del suelo, existen diversos procedimientos Proctor, pero todos se elaboran de la misma manera. La diferencia radica principalmente en las dimensiones de los equipos a utilizar.

Para profundizar la información mostrada en este acápite se puede revisar el libro “Fundamentos de ingeniería geotécnica” del ingeniero Das Braja (2002).

2.2.3 CORRECCIÓN DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA DEL SUELO

Una curva granulométrica es una representación gráfica de los tamaños y el porcentaje asociado de las partículas que conforman un determinado suelo. Para obtener dicha curva, una muestra se tamiza a través de una serie de mallas estandarizadas. De esta forma, todo el material quedará retenido en alguna de ellas.

Un suelo resistente deberá tener la mayor diversidad de tamaños de partículas, de forma tal que asegure una sólida armazón. Esto se debe a que las partículas más pequeñas ocupan los espacios vacíos dejados por las partículas de mayor tamaño.

Existen indicadores que ayudan a determinar si un suelo es bien o mal graduado. El primero de estos se denomina coeficiente de uniformidad (cu). Representa el cociente entre la abertura que permite el paso del 60% del material y la abertura que permite el 10%. Este coeficiente está íntimamente relacionado con el origen del suelo. Los suelos uniformes tienen valores pequeños de cu , mientras que los menos uniformes tienen valores más altos. Inclusive pueden llegar a pasar de 200. Por otro lado, se tiene también el coeficiente de curvatura que brinda información sobre la relación de tamaños que existe en suelo.

Sin embargo, muchas veces se tienen suelos mal graduados (homogéneos en el tamaño de sus partículas). Por tal motivo, existen métodos para modificar la curva granulométrica hasta llegar a las proporciones deseadas.

Por ejemplo, si se dispone de un determinado suelo S_1 con un porcentaje “ a_1 ” de fracción gruesa y “ b_1 ” de fracción fina, y se desea corregir con un suelo S_2 con un porcentaje “ a_2 ” de fracción gruesa y “ b_2 ” de fracción fina, con el fin de obtener un suelo “ S ” con una fracción “ a ” de gruesos, se debe cumplir la siguiente desigualdad:

$$a_2 < a < a_1 \quad (2)$$

Sea “ X ” la fracción de S_1 en la mezcla. Por simple inspección, la fracción de S_2 será “ $1-X$ ”. Y la nueva mezcla estará dada por la siguiente ecuación:

$$S = S_1 * X + S_2 * (1 - X) \quad (3)$$

Por simple reconocimiento, es fácil deducir que

$$X = \frac{a_1 - a_2}{a_1 - a_2} \quad (4)$$

Por consiguiente, la nueva proporción del suelo sería la que se presenta en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Mezcla de dos suelos diferentes

Suelo	Gruesos	Finos	Porcentaje
S1	a_1	b_1	X
S2	a_2	b_2	1-X
S	$a_1 * X + a_2 * (1-X)$	$b_1 * X + b_2 * (1-X)$	

2.3 EL CEMENTO

Mientras exista un mayor entendimiento de las propiedades y componentes del cemento, se le podrá dar un mejor uso. Por tal motivo, se le ha destinado un apartado completo dentro de esta tesis.

El hombre ha usado el cemento desde tiempos inmemoriales. En un inicio se trató de un simple conglomerante, el cual no era otra cosa que cal apagada $\text{Ca}(\text{OH})_2$, que reaccionaba con el contacto con el agua. Con el transcurrir de los años, este material evolucionó hasta convertirse en lo que conocemos hoy en día: el cemento Portland.

El cemento es un material sintético, producto de la pulverización y posterior calcinación de calizas, arcillas y otros óxidos. Este material, al entrar en contacto con el agua, genera una pasta conglomerante, producto de una reacción química exotérmica y capaz de endurecer tanto al aire libre como en un ambiente húmedo.

La información de este acápite fue obtenida de las publicaciones “Tecnología del Concreto” de Adam Neville (1988), y “Concreto simple” de Gerardo Rivera.

2.3.1 MATERIA PRIMA Y COMPOSICIÓN DEL CEMENTO

El cemento Portland es producto de una compleja dosificación de ingredientes calcinados a grandes temperaturas. La materia prima se puede clasificar en tres grandes grupos:

Calizas: es una roca sedimentaria constituida principalmente por carbonato de calcio (CaCO_3). La cantidad de este material disponible en la naturaleza es abundante. Las calizas

representan el 75% a 80% en peso de la materia prima. Entre las principales podemos encontrar a la creta, la calcita y la carbonalita.

Arcillas: los minerales de arcilla se originan a través de la meteorización de feldespatos, piroxenos y micas. Estas arcillas contienen diversos compuestos entre los cuales podemos destacar los siguientes: sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y óxido férrico (Fe_2O_3). Estos compuestos se funden con las calizas para obtener el clinker.

Materiales correctores: en el caso que las materias primas disponibles no contengan la cantidad necesaria para la producción del clinker, se le agregan los materiales correctores. Entre los principales podemos encontrar a las diatomeas, bauxitas y mineral de hierro.

El primer paso para producir cemento Portland es pulverizar las materias primas. Una vez realizado, los materiales en polvo se mezclan en las proporciones correctas. Luego, esta mezcla pasa por un horno de precalcificación (100°C) en el cual pierde la humedad. Inmediatamente después, entra en un horno giratorio con una ligera pendiente de alrededor de 5%, una longitud y un diámetro de hasta 230 m y 7 m, respectivamente. Dicho elemento está a una temperatura máxima aproximada de 1400°C . En este horno se produce la calcinación de la mezcla y la formación de los compuestos del cemento, obteniéndose un producto denominado clinker, que debe enfriarse rápidamente.

A continuación, se le agrega al clinker una pequeña cantidad de yeso (3% a 5% en peso). Finalmente, la nueva mezcla pasa a un molino para que sea pulverizada, logrando así la producción del cemento Portland.

El producto final de cemento está constituido por los siguientes componentes:

Silicato tricálcico (C_3S) o alita: es un compuesto activo del cemento, pues desarrolla una resistencia inicial elevada. Su fraguado es lento, pero su endurecimiento es muy rápido. Desarrolla un calor de hidratación alto.

Silicato bicálcico (C_2S) o belita: es el encargado de proporcionar al cemento su resistencia a largo plazo. Su fraguado, al igual que su endurecimiento, es lento. Por otro lado, presenta una mejor estabilidad química que la alita. Su calor de hidratación es bajo. Los cementos con mayor contenido de belita son más resistentes al ataque de los sulfatos.

Aluminato tricálcico (C_3A) o felita: es el compuesto que gobierna la resistencia a corto plazo debido a su gran velocidad de fraguado. Presenta, también, un alto calor de hidratación, aun mayor que el de la alita. Este óxido compuesto tiene una buena estabilidad ante ciertas aguas agresivas (agua de mar), pero es muy débil ante los sulfatos. Lamentablemente presenta una gran retracción. Con el fin de controlar la velocidad de fraguado de la felita se añade yeso al clinker. El yeso recibe usualmente el nombre de retardador de fragua.

Ferrito aluminato tetracálcico (C_4AF) o celita: no tiene participación alguna en la resistencia mecánica del cemento. Su calor de hidratación es bajo. La presencia de este compuesto se debe a la necesidad de usar fuentes que contengan hierro para la elaboración del clinker.

Óxidos menores: no tienen ninguna participación en las propiedades mecánicas del cemento. Su presencia se debe a que se generan junto con los demás compuestos. Dentro de estos óxidos destacan el óxido de potasio (K_2O) y el óxido de sodio (Na_2O). Estos óxidos, también conocidos como álcalis, tienen la capacidad de reaccionar con ciertos agregados silíceos formando un gel alrededor del agregado. Este genera grandes presiones internas dentro de la pasta del cemento, lo que ocasiona que se produzcan fisuras en la pasta, las cuales pueden llegar a poner en riesgo la capacidad portante del elemento. Este fenómeno recibe el nombre de reacción álcali-agregado.

La influencia de los cambios en la composición del cemento se muestra en la Tabla 2.3. La primera columna muestra la estructura de un cemento de fraguado rápido. En la segunda columna se aprecia una reducción de 3% de cal, y en la tercera columna una disminución de 1.5% de alúmina en la composición. Es innegable que se debe controlar la composición del cemento pues, una pequeña variación en la cantidad de óxidos, especialmente en la relación de CaO y SiO_2 , tendrá una repercusión significativa sobre los compuestos resultantes.

Tabla 2.3 Influencia de la variación del contenido de óxidos en los compuestos del cemento (Neville, 1988)

	Contenido (%)		
	(1)	(2)	(3)
Óxidos			
CaO	66,0	63,0	66,0
SiO ₂	20,0	22,0	20,0
Al ₂ O ₃	7,0	7,7	5,5
Fe ₂ O ₃	3,0	3,3	4,5

Otros	4,0	4,0	4,0
Compuestos			
C ₃ S	65	33	73
C ₂ S	8	38	2
C ₃ A	14	15	7
C ₄ AF	9	10	14

2.3.2 FRAGUADO

El término fraguado hace referencia al cambio de un estado fluido-plástico a un estado sólido. Es importante remarcar la diferencia que existe con el endurecimiento. Este último está referido al incremento de resistencia de una pasta de cemento.

El fraguado se debe a la hidratación progresiva de algunos componentes del cemento. Los primeros en reaccionar son la alita y la felita. Si bien la felita tiene una mayor velocidad de fraguado que la alita, el proceso se retrasa debido a la presencia del yeso. Por tal motivo, el primer componente en fraguar es la alita.

Es importante hacer este retardo de fragua sobre la felita, pues en el caso que no se realizara, se formaría un hidrato aluminato de calcio más poroso, y los demás componentes se hidratarían dentro de éste, disminuyendo así la resistencia del cemento. Lo normal es que, al fraguar primero la alita, se genere el hidrato de silicato de calcio y el resto de componentes fragüen de este hidrato.

Los cambios de temperatura en la pasta de cemento acompañan durante todo el proceso de fraguado. El fraguado inicial está asociado con un rápido aumento de temperatura, y en el fraguado final se presenta la máxima temperatura. Otro fenómeno físico durante el fraguado final es la caída en la conductividad eléctrica de la pasta.

La temperatura influye drásticamente en el tiempo de fraguado, pues su aumento disminuye el tiempo de fraguado, aunque se puede observar que a partir de los 30°C se produce el efecto inverso. Análogamente, para temperaturas bajas, el tiempo de fragua aumenta.

Existe un suceso que es importante destacar acerca del fraguado. Cuando se produce una rigidez prematura y anormal del cemento (durante los primeros minutos), ocurre lo que se denomina falso fraguado. En este, no se emite calor en forma apreciable, y si se vuelve a

mezclar la pasta sin adición de agua, se restablecerá su plasticidad y fraguará normalmente sin pérdida de resistencia (Neville, 1988).

Una de las causas del falso fraguado se atribuye a la deshidratación del yeso cuando es mezclado con un clinker a muy altas temperaturas. Se produce el hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) y cuando se mezcla el cemento con el agua, estos compuestos se hidratan para formar yeso. De esta forma, se produce un fraguado aparente de la pasta de cemento, dando como resultado una rigidización de la mezcla de agua y cemento.

Se ha señalado como otra posible causa a los álcalis del cemento. Los álcalis tienen la capacidad de carbonatarse, lo que genera una reacción con el $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Este compuesto es liberado por la hidrólisis de la alita. La reacción entre los carbonatos alcalinos y el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ formará CaCO_3 . Este nuevo compuesto genera una rigidez aparente de la pasta de cemento.

Por último, algunas investigaciones sugieren que el falso fraguado puede generarse por la activación de la alita por ventilación en humedades altas. Los granos de cemento adsorben el agua. Por tal motivo, estas superficies recién activadas pueden combinarse rápidamente con más agua de la mezcla.

2.3.3 ELEMENTOS QUE INFLUYEN EN EL FRAGUADO

Como quedó establecido en el punto anterior, el fraguado es un suceso de suma importancia en la vida del concreto. Por tal motivo, es pertinente identificar los principales elementos que influyen en él:

Finura del cemento: se puede representar con lo que se denomina módulo de finura. Es la relación que existe entre el área de la superficie total, en centímetros, y el peso en gramos. Este cociente indica la cantidad de superficie que un gramo puede cubrir. Mientras mayor área pueda cubrir, mayor será la finura de un determinado cemento. Se concluye entonces que mientras mayor sea la finura de un cemento, estará más expuesto a la acción del agua. Esta mayor exposición generará que el cemento genere resistencia a una tasa mayor.

Aluminato tricálcico: si se tiene un porcentaje excesivo de este compuesto, es muy probable que no baste el tiempo para que se disuelvan la cal y el yeso en el agua. Esto generará que se produzca un falso fraguado. Por lo que se recomienda que el porcentaje esté comprendido entre el 8 y 12% del total. De esta forma se asegura una reacción a una velocidad normal.

Alcalis: ciertos compuestos influyen indirectamente en el fraguado. Por ejemplo, la potasa y el amoníaco reaccionan con el yeso y reducen la cantidad disponible para controlar el C_3A .

Temperatura: la reacción del cemento con el agua es una reacción exotérmica, lo cual implica que cuando aumenta la temperatura, incrementa la velocidad de fraguado. En primera instancia, esto parece una ventaja, pues se genera una resistencia temprana más rápido. Lo que no se toma en consideración es que este fenómeno propicia que se formen “granos microscópicos” (endurecimientos) de forma muy desordenada. Esto ocasiona que la pasta de cemento sea muy porosa, lo que a los concretos adultos les baja la resistencia a los 28 días, cerca del 10%.

Ácidos orgánicos: “atacan el cemento por su afección por los iones de calcio que sustraen a las sales de calcio (silicatos y aluminatos) con lo cual el cemento se descompone perdiendo su condición de aglomerante” (Torrente y Sagüés, 1974).

2.3.4 RESISTENCIA DEL CEMENTO

La resistencia del cemento endurecido es la propiedad mecánica más importante en lo que se refiere a los requisitos estructurales. Esta resistencia es producto de la hidratación de los componentes del cemento, los cuales con el paso del tiempo generan una masa estable y dura. Esta masa firme recibe el nombre de cemento endurecido.

Se pueden identificar tres etapas:

Primera: dura cinco minutos aproximadamente. Se le denomina endurecimiento inicial.

Segunda: dura aproximadamente dos horas. Se produce un endurecimiento lento.

Tercera: durará mientras exista agua disponible para ser absorbida. La resistencia adquirida tiende a un límite.

2.4 SUELO-CEMENTO

Desde el origen de los primeros asentamientos humanos, la tierra fue uno de los materiales indispensables para la construcción de sus rudimentarias edificaciones, algunas de las cuales existen hasta el día de hoy. Esto indica que, bajo ciertas condiciones, las construcciones con

tierra conservan, a lo largo del tiempo, sus propiedades mecánicas, físicas y ambientales. La ciudadela de Chan Chan, ubicada en el Perú, es un claro ejemplo.

La construcción con tierra cruda fue predominante en las ciudades suramericanas durante el tiempo de la colonia. Esta alcanzó su máximo desarrollo tecnológico a finales del siglo XIX. Posteriormente, las nuevas tecnologías que aparecieron relegaron este tipo de construcciones casi exclusivamente a las zonas rurales como un fenómeno marginal, y se le asoció a conceptos de pobreza y precariedad.

Con el paso del tiempo, se requirió mejorar el sistema de construcción con tierra. Una alternativa para esta problemática fue añadir al suelo algún tipo de conglomerante bajo una dosificación adecuada. El cemento es el conglomerante escogido por excelencia para ser mezclado con el suelo. A este nuevo material se le denomina suelo-cemento.

Existen muchas definiciones de suelo-cemento, entre las que podemos destacar la del Grupo Holandés. Para ellos, éste es una mezcla homogénea de suelo con cemento y agua que se compacta adecuadamente. El suelo tratado endurece por la reacción del cemento y el agua por lo que mejora sus propiedades ingenieriles, lo cual favorece su uso en la construcción de carreteras. (Rieuwerts De Vries, 1960, citado en De La Fuente, 2011).

Asimismo, el ingeniero civil lo define como “un material endurecido formado por el curado de una íntima mezcla de suelo, cemento y agua que se compacta” (O’Flaherty y Andrews, 1968, citado en De La Fuente, 2011).

Para fines de esta investigación, definiremos el suelo-cemento como una mezcla íntima entre suelo, cemento Portland y agua. Cuando esta mezcla se compacta adecuadamente a una humedad óptima, produce, luego de la reacción química entre el cemento y el agua, un material duro, duradero y de bajo costo.

Muchos investigadores concuerdan en que el término suelo-cemento es poco preciso al momento de referirse a la mezcla entre el suelo y el cemento. Estos prefieren definirlo como “suelo tratado con cemento”. Esto bajo la premisa de que este nombre tiene la ventaja de una flexibilidad apropiada para hacer clasificaciones más certeras. Por ejemplo, se puede clasificar al “suelo tratado con cemento” por el tipo de suelo, tipo de cemento utilizado y la clase de tratamiento usado.

2.4.1 VENTAJAS DEL SUELO-CEMENTO

Algunas de las ventajas asociadas al suelo-cemento consisten en que:

- Mejora notablemente las propiedades físicas y mecánicas de un determinado suelo, lo que hace que sea un material con un enorme potencial para ser usado en edificaciones.
- Comparado con la tierra, tiene un mejor desempeño (durabilidad) ante condiciones adversas.
- Comparado con ciertos sistemas tradicionales (albañilería), brinda soluciones para emergencias constructivas, en un menor plazo.
- Implica una construcción versátil y sencilla de realizar.
- Posee un bajo costo de implementación.
- Presenta un reducido impacto ambiental.

2.4.2 PROPIEDADES

Para poder hacer uso de un material en la construcción de viviendas es imperante conocer sus propiedades físicas, mecánicas y tecnológicas. Por tal motivo, en este apartado se mostrarán las propiedades más resaltantes del suelo-cemento.

a. Resistencia a la compresión simple

La resistencia a la compresión simple es un indicador del nivel de reacción de la mezcla y del endurecimiento que presenta (Serigos, 2009). Este valor suele incrementarse progresivamente con el tiempo hasta llegar a un límite.

El ensayo está normado mediante el ASTM D1633. Consiste en elaborar una probeta de 4" de diámetro y 8" de largo. Es importante destacar que las muestras deben estar en su densidad máxima y humedad óptima. Una vez extraídas de los moldes, se mide el diámetro y se coloca en un recipiente dentro de una cámara húmeda por 7 días. Luego se sumergen en agua por no menos de 4 horas. El siguiente paso es colocar la probeta en la máquina compresora. Esta máquina aplica una fuerza hasta que la probeta se rompe. El resultado es el esfuerzo de compresión simple máximo que puede soportar la muestra (Torrente y Sagüés, 1974). Sin embargo, existen muchos factores que influyen en este ensayo. A continuación se detallarán los más importantes.

Tiempo: este influye claramente en los valores de compresión simple, como se puede apreciar en la Figura 2.3. Todos los ensayos realizados muestran que la resistencia se incrementa significativamente durante los primeros 90 días. Luego de este tiempo, aumenta lentamente hasta alcanzar un límite.

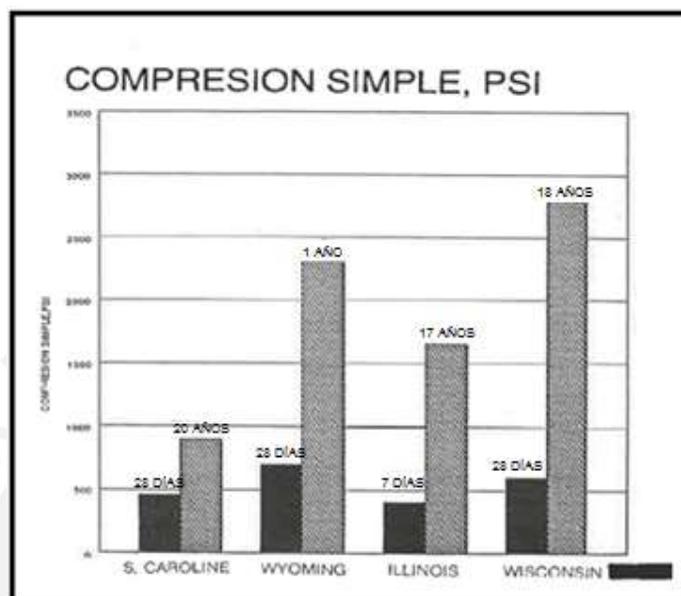


Figura 2.3 Resultados de compresión (De La Fuente, 1995)

Contenido de cemento: la resistencia aumenta proporcionalmente al contenido de cemento en la mezcla (ver Figura 2.4), hasta alcanzar cierto límite. Sin embargo, existen algunos suelos que disminuyen sensiblemente su resistencia con contenidos de cemento entre 3 y 5%, pero para contenidos mayores, aumentan su resistencia hasta llegar a su límite. Esto se debe al efecto de encapsulamiento del cemento causado por las partículas de las arcillas.

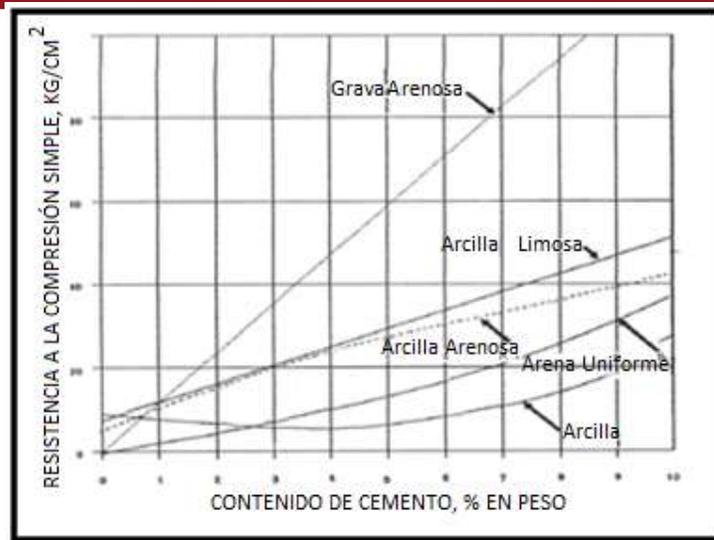


Figura 2.4 Influencia del contenido de cemento en los suelos (De La Fuente, 1995)

Por otra parte, el contenido de cemento también debe ser minuciosamente controlado pues podría generar un agrietamiento considerable que puede reducir mucho la resistencia del material. El fenómeno descrito decrece con la proporción de cemento hasta un mínimo, para luego aumentar. Se puede concluir que existe un contenido de cemento específico que minimiza el agrietamiento. La Figura 2.5 describe cualitativamente para dos tipos de suelo, lo descrito en el presente párrafo.

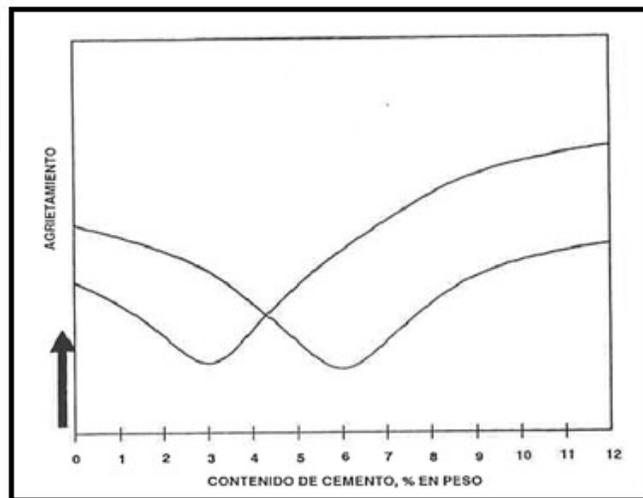


Figura 2.5 Influencia del contenido de cemento en el agrietamiento (De La Fuente, 1995)

Grado de pulverización y eficiencia en el mezclado: mientras el suelo tenga un grado de pulverización mayor y un mejor mezclado, la probeta alcanzará una mayor resistencia. Los suelos granulares no presentan mayor dificultad al momento de realizar el mezclado. Sin

embargo, los suelos finos requieren mucho trabajo para lograr un buen mezclado. En este tipo de suelos es extraño encontrar una eficiencia mayor al 80%. Generalmente, estos rangos están alrededor del 60%.

Compactación: una buena compactación mejora a la resistencia a la compresión. Esta puede ser ineficiente si se ejecuta después de dos horas de realizada la mezcla, debido a que un remoldeo posterior destruye los vínculos ya existentes en el suelo-cemento (De La Fuente, 1995).

Curado: al igual que con el concreto, el curado tiene un impacto favorable en la resistencia del suelo-cemento. Es por ello que se debe controlar cuidadosamente.

Tipo de suelo: si en la mezcla utilizamos solo un suelo granular, el resultado será una mezcla dura y frágil. Si utilizamos solo un suelo fino, obtendremos una mezcla menos dura y más plástica. Se obtiene una resistencia mayor a la compresión simple en suelos con una buena granulometría. La Tabla 2.4 muestra la resistencia a la compresión simple de ciertos suelos con un mismo contenido de cemento.

Tabla 2.4 Resistencia a la compresión simple del suelo-cemento (De La Fuente, 1995)

TIPO DE SUELO	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE. (kg/cm ²)	
	7 días	28 días
GRAVAS Y ARENAS (A-1, A-2 Y A-3)	21 - 42	28 - 70
SUELOS LIMOSOS (A-4 Y A-5)	17 - 35	21 - 63
SUELOS ARCILLOSOS (A-6 Y A-7)	14 - 28	18 - 42

b. Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión varía de manera proporcionada con la resistencia a la compresión simple. El cociente entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión (R_f/RCS) varía generalmente entre 1:3 a 1:5 (ACI 230, 1997). Para mezclas de baja resistencia, la relación entre el esfuerzo de flexión y compresión simple es de 1:3, mientras que para las mezclas de alta resistencia la relación es de 1:5. La Figura 2.6 muestra la relación existente entre el esfuerzo de flexión (psi) y el esfuerzo de compresión simple (psi).

Por otro lado, diversos autores afirman que la resistencia a la flexión varía proporcionalmente al peso volumétrico máximo de la mezcla. Además, el suelo-cemento

tiene una gran capacidad para distribuir cargas, lo que hace de él un buen material para la construcción de pavimentos. En lo referente a la tasa de crecimiento de la resistencia a la flexión con el tiempo, es mucho menor a la tasa de crecimiento de la resistencia a la compresión.

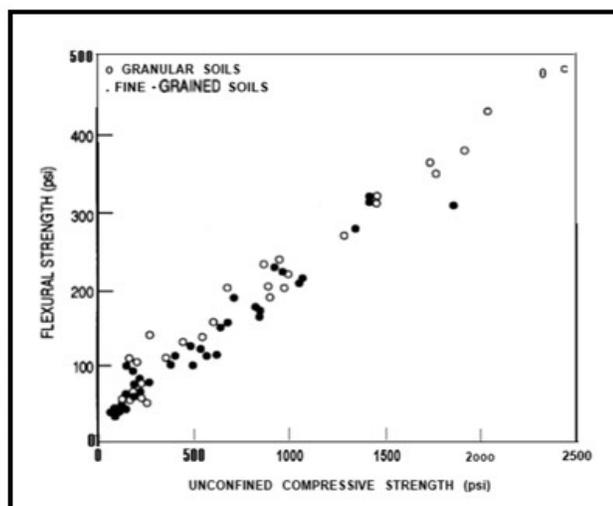


Figura 2.6 Relación entre los esfuerzos de flexión y de compresión (ACI 230, 1997)

Módulo de rotura

El módulo de rotura está definido como el esfuerzo máximo en una fibra cuando se produce la rotura. El procedimiento para realizar este ensayo es el siguiente: se coloca un bloque prismático entre soportes separados por 25 cm. Luego, se aplica una carga de 250 kg en el centro del bloque, y se incrementa paulatinamente hasta que se produzca la rotura (De La Fuente, 1995). Con el resultado de cinco bloques, se aplica la siguiente fórmula:

$$R = \frac{3}{2} * \frac{D*P}{L*e^2} \quad (5)$$

Donde:

R = Módulo de rotura (kg/cm²).

D = Distancia entre apoyos (cm).

P = Carga (kg).

L = Ancho del bloque (cm).

e = Espesor del bloque (cm).

El comité del ACI 230 en su “State of art report of soil-cement” (1997) presenta una relación matemática entre el módulo de rotura y el esfuerzo de compresión simple. Dicha expresión se detalla a continuación:

$$R = 0.51 * (f'c)^{0.88} \quad (6)$$

Donde:

R = módulo de rotura (psi).

f'c = esfuerzo de compresión simple (psi).

Con esta expresión se puede demostrar que la relación que existe entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del suelo-cemento varía de 0.18 (suelos de alta resistencia) a 0.45 (suelos de baja resistencia). Es importante resaltar que el módulo de rotura a los 28 días es 1.1 a 2 veces mayor al que se obtiene a los 7 días (De La Fuente, 1995).

Por último, para bloques tratados en el Perú “se especifica que: un valor de R mayor o igual a 3.5 kg/cm² es bueno y si es menor, malo o inconveniente” (De La Fuente, 1995).

c. Contracción transversal

Diversos ensayos han demostrado que la contracción se da en función del contenido de cemento en la mezcla. En algunos suelos, la contracción disminuye a medida que se aumenta la cantidad de cemento hasta llegar a un cierto límite. Una vez alcanzado este límite, cualquier aumento en la cantidad de cemento aumentará la contracción trasversal hasta llegar a un máximo, y finalmente tendrá tendencia a disminuir a medida que se siga aumentando la cantidad de cemento. En la Figura 2.7 se muestra de manera cualitativa el fenómeno descrito para tres tipos de suelo diferentes.

Las características de la pasta de cemento y la granulometría de un suelo granular influyen marcadamente en la contracción del mismo. Por otra parte, en suelos arcillosos la contracción está influenciada por el porcentaje de la fracción arcillosa. A mayor fracción, mayor será la contracción.

Se ha encontrado aditivos que mitigan la contracción transversal. Entre los más resaltantes podemos encontrar a la cal, el cloruro de sodio y el calcio. Los sulfatos de sodio, presentes en los cementos expansivos, han sido útiles por sus propiedades para disminuir la contracción transversal (De La Fuente, 1995).

Un curado muy prolongado puede ser contraproducente en suelos arenosos. Sin embargo, para suelos arcillosos es muy favorable. Por último, la contracción puede disminuir si se mejora la compactación.

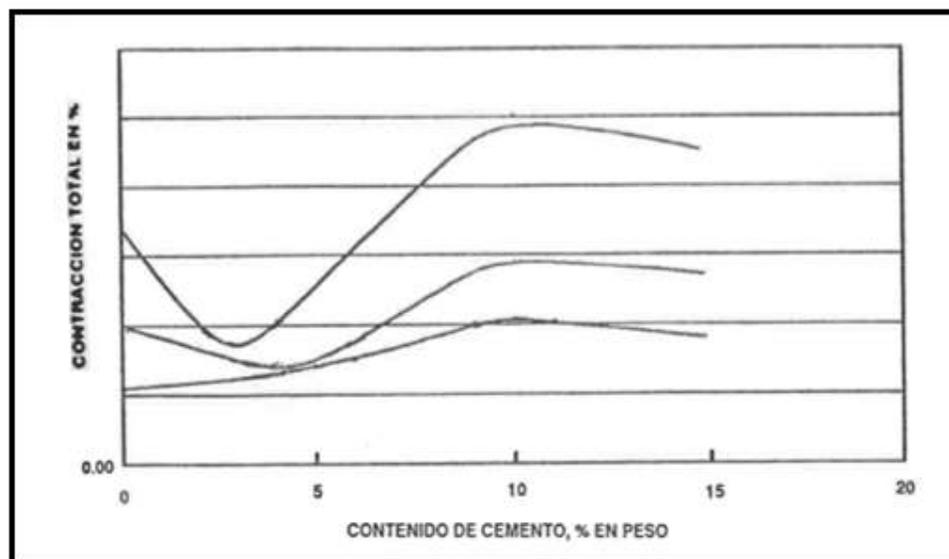


Figura 2.7 Variación de la contracción con el contenido de cemento (De La Fuente, 1995)

d. Agrietamiento

El agrietamiento es uno de los efectos que puede reducir la vida útil de los elementos y generar diseños ineficientes. No obstante, un diseño realizado por profesionales calificados y con un correcto manejo en obra puede mitigar, en gran medida, este nocivo efecto.

En todas las construcciones de suelo-cemento se puede observar la formación de grietas por contracción relativamente poco espaciadas, lo cual era de esperarse, pues es una característica de este material.

Al igual que con el concreto, las cargas y las deformaciones en el suelo-cemento pueden generar un agrietamiento importante a lo largo del tiempo. Otro factor influyente en el agrietamiento consiste en los cambios físico-químicos de los componentes de la mezcla. No obstante, solo influyen en el agrietamiento a corto plazo. Finalmente, los cambios en el contenido del agua libre producirán los mayores efectos en el agrietamiento a corto y largo plazo.

En los primeros días de hidratación del cemento se producen agrietamientos significativos que se reducen paulatinamente en los meses siguientes, mientras dura el secado de la mezcla compactada. Cuando se trata de suelos arcillosos, el tiempo necesario para que se hidrate el cemento es aproximadamente de 45 días (De La Fuente, 1995).

Las características del suelo por tratar; las sales, óxidos y diferentes compuestos que están presentes en el suelo; las características del cemento; la cantidad de cemento (véase la Figura 2.5); las características del agua a usar; y el contenido de agua en la mezcla están identificados como los principales factores que influyen en el agrietamiento del suelo-cemento.

Cuando se hacen mezclas en base a un suelo granular, el agrietamiento se da básicamente en función del contenido de cemento en la mezcla, del curado y de la eficiencia en la compactación. En los suelos cohesivos, el agrietamiento depende del porcentaje y características de los finos. Un mayor contenido de arcilla aumentará el agrietamiento.

Las grietas no siempre deben interpretarse como producto de esfuerzos excesivos en la estructura, ya que son características inherentes al suelo-cemento. Existen dos tipos de grietas: las profundas y las superficiales. Las profundas son las que atraviesan todo el espesor del elemento, mientras que las superficiales tienen una profundidad comprendida entre 2.5 y 7 cm aproximadamente. Por otro lado, según el ancho de las grietas se pueden clasificar en finas y gruesas, siendo las finas las que tienen un ancho de hasta 0.1 mm (De La Fuente, 1995).

e. Resistencia a la absorción de agua y congelamiento

La resistencia a la absorción depende del contenido de finos presente en la mezcla, al igual que del contenido de cemento. En líneas generales, el suelo-cemento tendrá suficiente resistencia a la absorción del agua. No obstante, se debe evitar que el agua penetre a la estructura, más aún cuando se trata de suelos con contenidos altos de finos plásticos. La Figura 2.8 muestra la relación que existe entre la expansión debida a la absorción del agua y el contenido de cemento.

En cuanto a la congelación, el suelo-cemento alcanza buena resistencia (De La Fuente, 1995). Esta dependerá básicamente de la cantidad y el tipo de cemento utilizado. Por esta propiedad, el suelo-cemento es un material idóneo para las construcciones en climas fríos.

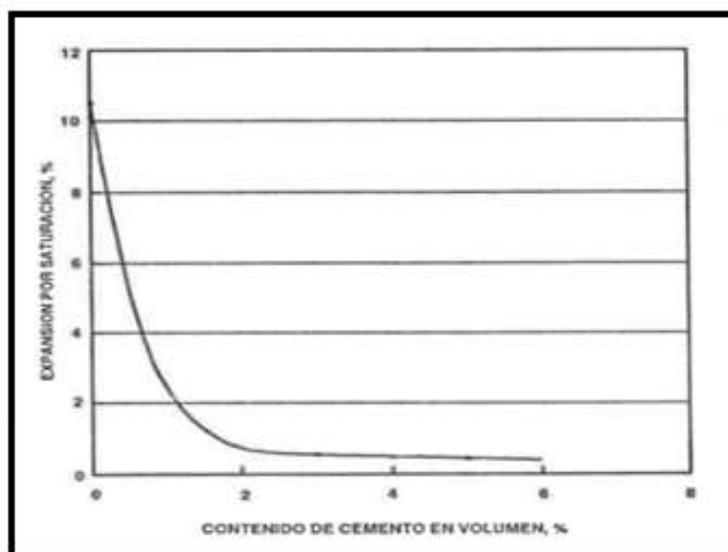


Figura 2.8 Efecto del tratamiento con cemento a una arcilla expansiva (De La Fuente, 1995)

f. Permeabilidad

Al aumentar el contenido de cemento, disminuye la permeabilidad del suelo. Los factores más influyentes son el tipo de suelo, la cantidad de cemento usado y la compactación lograda. Esta es una característica a tener en cuenta cuando se plantea el uso de este material con fines de impermeabilización, como en cimentaciones de rellenos sanitarios u obras de almacenamiento de líquidos. La Tabla 2.5 muestra los resultados de los ensayos de permeabilidad realizados en laboratorio para varios tipos de suelos.

Estudios realizados por el American Concrete Institute (ACI, 1997) indican que la permeabilidad disminuye con el tiempo, debido a la habilidad de auto repararse del suelo-cemento. En el mismo estudio detallan que la permeabilidad disminuye en época de verano, pues el aumento de temperatura hace que, por medio de la expansión térmica, se cierren las grietas. El caso contrario ocurre en la temporada de invierno.

Tabla 2.5 Permeabilidad para diversos suelos y contenidos de cemento (ACI 230, 1997)

Permeability of cement-treated soils

ASTM soil classification	Dry density, lb/ft ³	Moisture content, percent	Cement content percent by weight	K coefficient of permeability ft per yr, 10 ⁻⁶ cm/sec	Gradation analysis, percent passing					Cement* required, mm by weight
					#4 (4.75 mm)	#10 (2.0 mm)	#40 (425 μm)	#200 (75 μm)	#005 (75 μm)	
Standard Ottawa sand	108.2	10.8	0	48,800	(100 percent passing #20 (850 μm); 0 percent passing #30 (600 μm))					—
	112.8	9.4	5.3	6900						
	117.6	9.7	10.5	76						
Graded Ottawa sand	103.2	13.7	0	16,300	100	100	28	2	—	—
	104.7	13.6	5.4	470						
	107.4	12.3	10.5	21						
Fine sand (SP)	101.0	12.2	0	750	100	100	91	7	1	—
	100.9	13.2	3.2	560						11.5
	103.6	12.3	6.5	190						
	105.3	12.0	9.5	21						
Silty sand (SM)	100.8	14.9	0	5000	100	100	96	13	12	2
	99.9	14.7	3.2	1400						
	104.0	15.1	6.4	60						
Fine sand (SP)	100.1	16.0	0	360	99	99	96	6		61
	105.8	14.8	6	20						
	109.3	13.5	12.2	1						
Fine sand (SP)	101.0	13.8	3.1	140	100	100	94	2		—
	106.7	13.3	6.3	33						11.0
	108.2	13.4	—	0.3						
	108.8	13.4	9.6	0.02						
Fine sand (SP)	112.5	11.0	0	36	—	97	—	—	11	4
	115.8	10.4	5.5	5						
Fine sand (SP)	111.7	12.0	0	23	100	99	—	—	9	3
	115.2	11.7	5.5	8						
Silty sand (SM)	121.9	9.6	0	16	98	94	66	20	18	5
	125.5	8.0	8.6	0.1						
Silty sand (SM)	117.9	10.8	0	10	99	97	69	16	12	4
	123.0	8.1	8.9	2						
Silty sand (SM)	112.5	11.5	0	3	—	98	—	—	12	5
	115.0	12.3	5.5	5						
Silty sand (SM)	118.7	11.0	9.1	0.1	100	99	88	36	25	7
	119.2	10.5	—	—						
Silty sand (SM)	125.0	—	0	16	100	75	41	13	12	5
		10.1	3.3	0.4						5.0
			7.3	0.07						

*Cement requirement based on ASTM Standard Freeze-Thaw and Wet-Dry Tests for soil-cement mixtures and PCA paving criteria.

2.4.3 DISEÑO DE MEZCLAS

a. Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento

La mayoría de suelos pueden ser empleados para la producción de suelo-cemento. Sin embargo, cuando se requiere de un diseño con un consumo mínimo de cemento, la cantidad de suelos aptos se reduce.

Un suelo apto es aquel que demanda un contenido de cemento del 5 a 12% respecto al peso del suelo (Toirac, 2008). Otro factor para determinar si un suelo es apto, es la trabajabilidad que permita la producción de los elementos.

Otras características de un suelo apto es que debe ser estable ante la contracción, llegar a la resistencia de diseño en el menor tiempo posible y poseer una absorción de agua adecuada.

Normalmente, los suelos que tienen una buena proporción entre las fracciones gruesa y fina generan una granulometría variada, lo que los convierte en suelos aptos. De igual forma, la plasticidad debe aportar con una determinada cohesión al suelo-cemento. Esta mejora la trabajabilidad y aumenta el aislamiento térmico.

La Tabla 2.6 presenta los rangos granulométricos adecuados para garantizar las buenas propiedades de la mezcla.

Tabla 2.6 Distribución granulométrica en suelos aptos para suelo-cemento (Toirac, 2008)

Tamiz	% que pasa
3"	100
N° 4	100 – 50
N° 40	100 – 15
N° 200	50 – 10

Con respecto a los límites de Atterberg se definen los siguientes rangos admisibles:

- Límite líquido < 45%.
- Límite plástico < 18%.

Una forma general de clasificar a los suelos aptos para las mezclas de suelo-cemento consiste en dividirlos en dos tipos: suelos eficientes y suelos deficientes.

Un suelo eficiente es aquel que necesita una proporción relativamente pequeña de cemento para reaccionar y de esta forma garantizar, efectivamente, todos los requerimientos estructurales para los que fue diseñado. Dentro de esta categoría podemos encontrar los siguientes suelos:

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

Los suelos arenosos y suelos con grava con un contenido aproximado de 10% de limo y 35% de arcilla tienen las propiedades más favorables, y requieren de una pequeña cantidad de cemento para un endurecimiento adecuado.

Los suelos con deficiencia de partículas finas permiten tener un buen suelo-cemento, pero la cantidad de cemento a utilizar es mayor que para los suelos arenosos con un pequeño porcentaje de finos. Un ejemplo de este tipo de suelos es la arena de playa.

Los suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad brindan las características necesarias para elaborar un suelo-cemento satisfactorio. Sin embargo, la cantidad de cemento a utilizar es mayor.

Un suelo deficiente es aquel que solo reacciona ante una proporción relativamente alta de cemento. Entre los principales podemos nombrar los siguientes:

- Suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad.
- Suelos orgánicos.

Los suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad, debido a su baja resistencia y alta plasticidad, necesitan de contenidos elevados de cemento para brindar una mezcla satisfactoria. Mientras que los suelos orgánicos, por sus propiedades expansivas y su baja capacidad portante no permite realizar una mezcla satisfactoria.

Después de analizar las mezclas con diversos tipos de suelo, se llega a la conclusión de que existe un suelo ideal. Este garantiza el buen funcionamiento de la mezcla y asegura un contenido mínimo de cemento. El suelo ideal presenta la siguiente granulometría (Toirac, 2008):

- Máximo contenido de arena 80% (óptimo del 55 al 75%).
- Máximo contenido de limo 30% (óptimo del 0 al 28%).
- Máximo contenido de arcilla 50% (óptimo del 15 al 18%).
- El 100% del suelo debe pasar por el tamiz de 4,75 mm (#4).

Se debe buscar que el suelo a utilizar tenga una granulometría muy parecida a la del suelo ideal. Además, hay que recordar que siempre podemos modificar la granulometría de un suelo utilizando el método explicado en el punto 2.2.3.

b. Método corto de la Portland Cement Association (PCA)

Este método no necesariamente indica la mínima cantidad de cemento que debe tener una mezcla para que se comporte adecuadamente, pero casi siempre proporciona un valor que se encuentra dentro de los rangos de seguridad establecidos por la PCA.

Para poder aplicar este método, se requiere que el suelo cumpla las siguientes características:

- Contenido de finos inferior al 50%.
- Contenido de arcilla inferior al 20%.
- Retenido en la malla #4 menor al 45%.
- Ausencia de cantidades apreciables de materia orgánica.

El método tiene dos variantes: la primera (A) se aplica en los suelos que pasan totalmente el tamiz #4, y la segunda (B) en suelos que retienen en la malla #4.

Variante A: para realizar la mezcla se debe realizar la siguiente secuencia:

- I. Mediante la Figura 2.9 y los resultados de la granulometría, se determina el máximo peso volumétrico.
- II. Una vez estimado el máximo peso volumétrico y con el porcentaje de material más fino que 0,05 mm, se obtiene el porcentaje de cemento por peso con la ayuda de la Figura 2.10. Con este contenido de cemento, se realiza el ensayo Proctor.
- III. Con los resultados obtenidos del Proctor (máximo peso volumétrico seco y humedad óptima) se recurre nuevamente a la Figura 2.10 y se calcula el nuevo contenido de cemento.
- IV. Se toman tres testigos para realizar las pruebas de calidad requeridas (ver apartado 2.4.4). Estas muestras deben tener siete días de curado húmedo y cuatro horas de saturación por inmersión en agua, inmediatamente antes de ser ensayadas (De La Fuente, 1995).
- V. Se verifica que el promedio de la resistencia a la compresión obtenida en los tres testigos sea mayor al valor mostrado en la Figura 2.11. En caso contrario, aumentar en 2% el contenido de cemento y regresar al punto II.

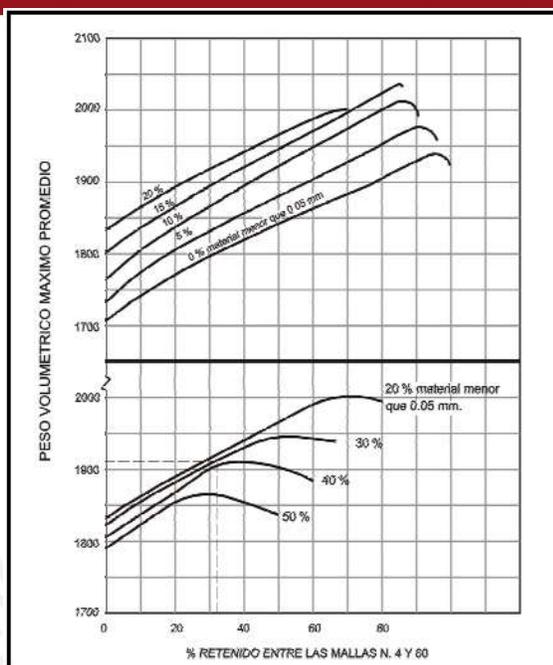


Figura 2.9 Estimación del peso volumétrico máximo promedio para la variante A (De La Fuente, 1995)

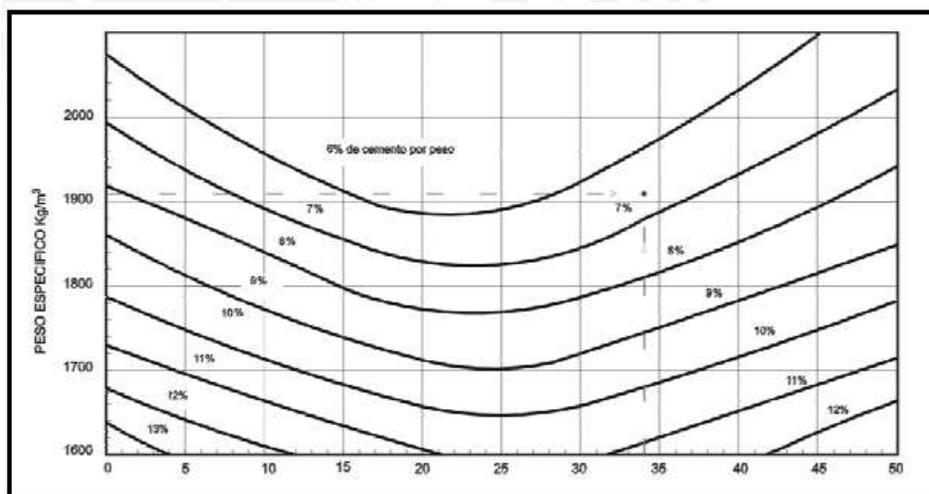


Figura 2.10 Obtención del contenido de cemento para la variante A (De La Fuente, 1995)

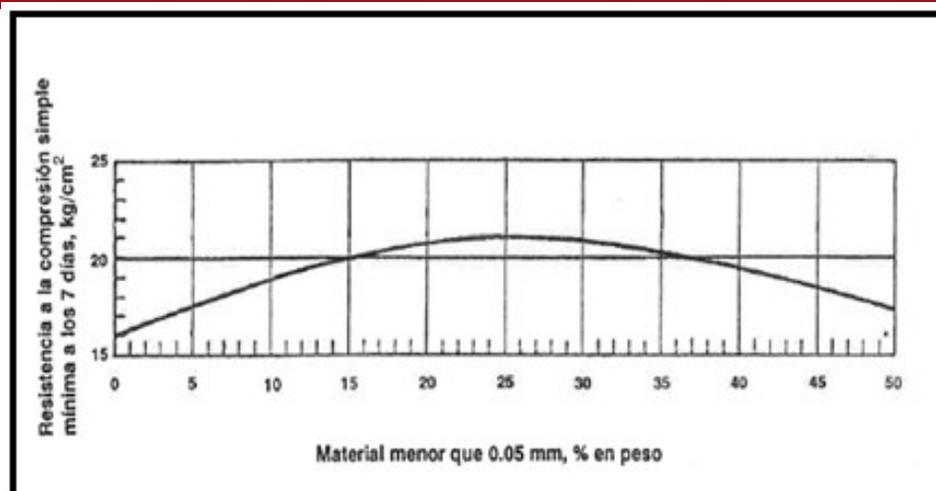


Figura 2.11 Resistencia mínima a la compresión simple (De La Fuente, 1995)

Variante B: en la presente variante, se deben realizar los siguientes pasos:

- I. Obtener el peso volumétrico máximo mediante la Figura 2.12.
- II. Con el peso volumétrico, el porcentaje de material más fino que 0,05 mm y el porcentaje retenido en la malla #4, se determina, mediante la ayuda de la Figura 2.13, el contenido de cemento. Se prepara un Proctor con la mezcla de suelo y el contenido de cemento hallado.
- III. Con los resultados del Proctor y los porcentajes anteriores se determina el nuevo contenido de cemento mediante la Figura 2.13.
- IV. Se toman testigos para realizar las pruebas de calidad requeridas (ver apartado 2.4.4). Los requisitos de las muestras son los mismos anotados en el punto IV de la variante A.
- V. Se determina la resistencia a la compresión mínima permisible mediante la Figura 2.14. De obtenerse un valor menor, se añade 2% más de cemento y se regresa al punto II.

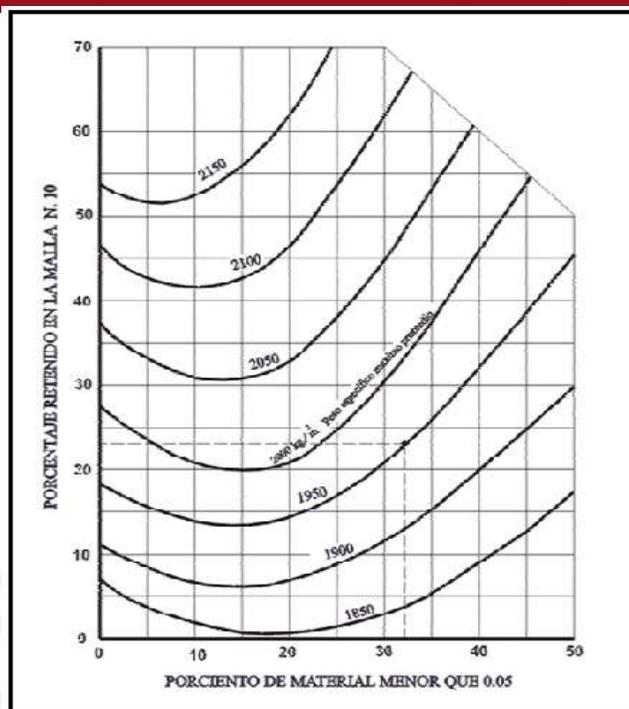


Figura 2.12 Estimación del peso volumétrico máximo promedio para la variante B (De La Fuente, 1995)

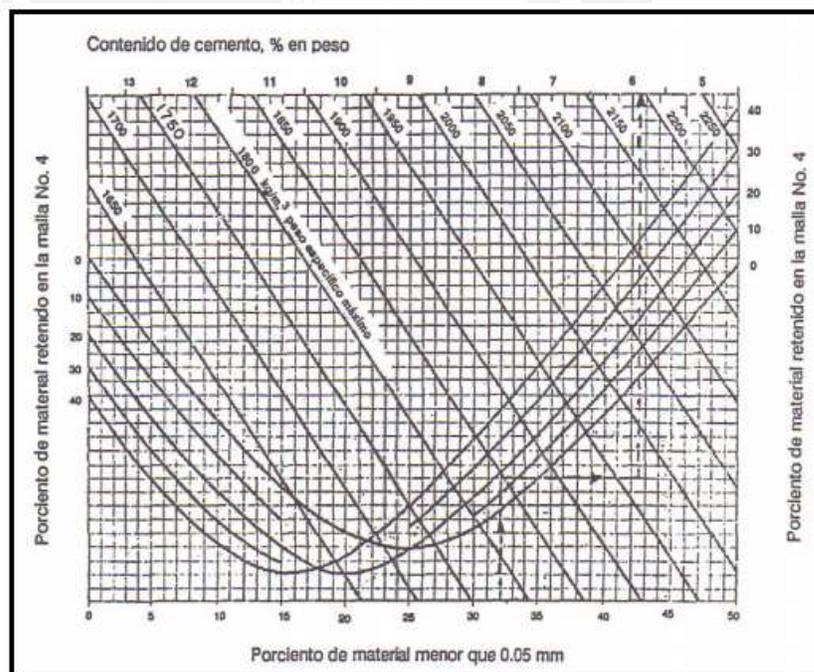


Figura 2.13 Obtención del contenido de cemento para la variante B (De La Fuente, 1995)

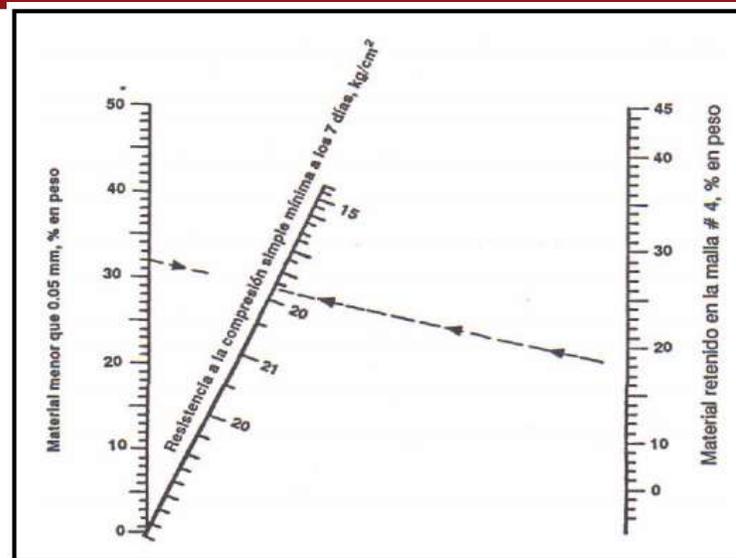


Figura 2.14 Obtención de las resistencias a la compresión simple para mezclas (De La Fuente, 1995)

c. Método de acuerdo a su composición granulométrica

Este método consiste en añadir una determinada cantidad de cemento en peso acorde a la composición granulométrica del suelo a estabilizar. Con ese propósito se han creado muchas tablas, de las cuales resalta la propuesta por la PCA (Tabla 2.7).

Una vez realizada la mezcla, se deja reposar por dos días. Transcurrido este tiempo, se someten las probetas a piquetes con un punzón o alguna herramienta similar. Si es posible penetrar más de 6 mm en la muestra y el sonido generado al golpearlo es claro y sólido, se considera un contenido de cemento adecuado.

Tabla 2.7 Contenido de cemento para diferentes granulometrías (De La Fuente, 1995)

GRUPO DE SUELO SEGUN LA AASHO (SUCS)	PORCIENTO DE CEMENTO REQUERIDO % EN PESO	CONTENIDO DE CEMENTO ESTIMADO PARA LA PRUEBA DE COMPACTACION % EN PESO.	CONTENIDO DE CEMENTO PARA PRUEBA DE HUMEDAD-SECADO. % EN PESO
A-1-a (GW,GP,SW,SP)	3 - 5	5	3 - 4 - 5 - 7
A-1-b (SW,SP,GM,SM,GP)	5 - 8	6	4 - 6 - 8
A-2 (GM,SM,G.C,SC)	5 - 9	7	5 - 7 - 9
A-3 (SP)	7 - 11	9	7 - 9 - 11
A-4 (ML,OL,CL,SM,SC)	7 - 12	10	8 - 10 - 12
A-5 (CH,MH,ML,OL)	8 - 13	10	8 - 10 - 12
A-6	9 - 15	12	10 - 12 - 14
A-7	10 - 16	13	11 - 13 - 15

2.4.4 PRUEBAS ESPECIALMENTE DISEÑADAS PARA SUELO-CEMENTO

Para garantizar el comportamiento adecuado de una mezcla de suelo-cemento se necesitan realizar las siguientes pruebas especialmente diseñadas.

a. Prueba a la compresión simple

Para realizar esta prueba, se toman como referencia las normas ASTM D1632 y ASTM D1633. La teoría desarrollada es la de Mohr-Coulomb. El propósito de esta prueba es medir si se llega a la compresión de diseño. Generalmente se toman mediciones a los 2, 7 y 28 días. El procedimiento para realizar este ensayo es el indicado en el apartado 2.4.2.a. Los resultados esperados a los siete días se muestran en la Figura 2.11.

b. Prueba de humedecimiento y secado

Esta prueba tiene como propósito simular las fuerzas de compresión y tensión que se originan en la masa debido a los cambios de humedad. Se toma como referencia la norma ASTM D559.

Existen dos variantes para este método. El primero para suelos con material retenido en la malla #4, y el segundo para suelos sin material retenido en la malla #4. El procedimiento de ensayo es el mismo para las dos variantes; sin embargo, la forma de preparar la muestra es diferente. Para mayor información consultar la norma ASTM D559.

El prerrequisito para iniciar el ensayo es que los especímenes a utilizar (“a” y “b”) hayan sido curados por un periodo de siete días. Luego, se saturan los especímenes por inmersión durante cinco horas. A continuación, se colocan en un horno a 71°C por 24 horas. Posterior al secado, se somete a un cepillado solo a la probeta “a”. El cepillo aplica una fuerza de 1,36 kg pasando dos veces por el mismo sitio. Esto se hace con el fin de saber cuál es la pérdida por cepillado y cuál es el cambio de volumen debido solo al ciclo de humedecimiento y secado.

Por último, se debe calcular la pérdida de suelo de las muestras y compararla con los valores de la Tabla 2.8, propuesta por la PCA.

Tabla 2.8 Porcentaje máximo de pérdidas en mezclas de suelo-cemento (De La Fuente, 1995)

Tipo de suelo	Clasificación AASHO	Máximo de pérdidas
Gravas y arenas	A-1, A-3, A-2-4, A-2-5	14 %
Suelos limosos	A-2-6, A-2-7, A-4, A-5	10 %
Suelos arcillosos	A-6, A-7	7 %
* Este criterio puede modificarse de acuerdo a las condiciones climáticas regionales, según la PCA.		+

c. Prueba de hielo-deshielo

El objetivo de este procedimiento empírico es simular lo más aproximadamente posible las condiciones severas del fenómeno de hielo-deshielo y, mediante un determinado análisis, evaluar los posibles daños a la mezcla. Este ensayo toma como referencia la norma ASTM D560.

Para realizar el ensayo se debe seguir el siguiente procedimiento. Primero, las muestras deben ser curadas durante por lo menos siete días. Luego, se colocan los especímenes en un refrigerador a una temperatura menor a -23°C por 24 horas. A continuación, se colocan las muestras en un cuarto húmedo con una temperatura de por lo menos 21°C por 24 horas y, posteriormente, se raspan con un cepillo normalizado, dos veces por lado. El procedimiento de la refrigeración y el descongelamiento se debe repetir doce veces. Por último, se secan las muestras en un horno a 100°C , se calculan sus pesos secos y se determina la variación en peso de cada espécimen. Estas variaciones deben estar dentro de los rangos estipulados en la Tabla 2.8.

d. Prueba de compactación

El propósito de esta prueba es obtener el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima para una mezcla de suelo-cemento. El criterio es el mismo que el del ensayo Proctor. Este ensayo está regido por la norma ASTM D558.

CAPÍTULO 3: DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURACIÓN DE UN MODELO DE VIVIENDA

Para tener una comparación objetiva entre el suelo-cemento y la albañilería confinada se ha propuesto un modelo de vivienda cuyos diseños arquitectónico y estructural se presentan en los siguientes artículos. En capítulos posteriores se analizarán los procedimientos constructivos y los costos bajo los sistemas planteados.

3.1 FUNDAMENTO ARQUITECTÓNICO

El diseño de una casa de bajo costo responde a las exigencias actuales del paisaje urbano del Perú. Sin necesidad de ir muy lejos, en la ciudad de Lima observamos un continuo éxodo del interior, lo cual causa, en la mayoría de los casos, que los migrantes, en busca de una vivienda digna, recurran a la formación de los asentamientos humanos.

Fuera de Lima, el panorama es diferente a la realidad mostrada en la capital. Los pobladores de las diversas regiones tienen otro concepto de una vivienda nueva. Ellos no demandan reubicarse, si no que están en busca de una forma más adecuada de residencia, que se adapte a sus necesidades básicas (Sánchez, 2015), la cual, como se puede observar en el modelo posteriormente presentado, cumpla con los tres preceptos de la arquitectura Vitruviana.

El primer precepto, Venustas, engloba todo lo relacionado con la belleza y estética, teniendo en cuenta lo que estos términos representan. Este concepto, controvertido en muchos casos, no solo hace referencia al ornato o decoración que se pueda presentar, los cuales siempre están sujetos a los gustos particulares de cada individuo. Para partir desde un punto de vista universal se considerará la estética del diseño basada en la simetría que este mismo presenta, tanto desde el punto de vista arquitectónico como estructural, tomando como principales características su equilibrio entre “el todo” y sus componentes, haciendo que se conforme un conjunto armonioso que cause en el usuario un sentimiento de sosiego, que deriva en una sensación de deleite.

El segundo precepto, Utilitas, es el que nos ayuda, probablemente con mayor objetividad, a distinguir entre una arquitectura mediocre y una brillante. Usando la funcionalidad como jurado, y ciñéndonos a la conocida frase “lo que no funciona, no sirve”, muestra un parámetro de diseño: funcionalidad, la cual es la característica más importante para quien va a habitar este espacio. El precepto indicado muestra que cada usuario tiene una necesidad

compleja que debe ser solucionada en un espacio específico, especialmente concebido para satisfacerla sin recurrir a soluciones atípicas. Además, cada espacio debe ser diseñado de forma que satisfaga los requerimientos del uso que le dará el interesado. Este concepto también abarca la relación existente entre los espacios creados. Esta debe ser armoniosa, creando una sinergia entre cada espacio individual y el producto final.

Por último, se tiene el concepto de Firmitas, el cual está referido a la resistencia, firmeza y rigidez en el diseño arquitectónico. Para cumplir con este precepto, el diseño ha sido ideado de tal forma que la arquitectura y la estructura estén en total armonía. Esto permite una estructuración eficiente que cumple con todos los requisitos obligados por las diversas normas, sin alterar significativamente el diseño arquitectónico.

El diseño trabajado ha sido concebido tomando en cuenta los preceptos anteriormente descritos, y con la intención de obtener una vivienda de bajo costo. Se cuenta con un área de 56 m², que bajo los estándares actuales podría ser considerado como una solución no adecuada para una vivienda; no obstante, este planteamiento demuestra categóricamente todo lo contrario.

De la distribución mostrada en la Figura 3.1, se puede observar que para una familia nuclear (padre, madre e hijo), el espacio es más que suficiente para que realicen las actividades básicas: comer, dormir y socializar. Cada una de estas se realizan en un espacio específico dentro de la vivienda, llegando a solaparse en algunos casos, de forma que se crean las interrelaciones espaciales que aseguran el funcionamiento óptimo del hogar, pero siempre teniendo en cuenta que existe un ambiente principal e idóneo para el cual está pensada cada posible actividad.

Al ubicar la zona privada (habitaciones) en la parte posterior, no solo se logra asegurar la serenidad necesaria para que el individuo descanse, sino que invita al usuario a transitar por la zona social (comedor, sala) para llegar a la recámara. De esta forma, se suple de manera eficaz dos de las necesidades básicas: dormir y socializar.

El proyecto ha sido diseñado de tal forma que la sala representa el eje principal de las actividades desarrolladas dentro de la casa, pues es en ese ambiente donde se desarrollan la mayor cantidad de actividades sociales. Al ser el centro, genera un flujo alrededor que permite la interacción entre las diversas acciones que se pueden desarrollar en toda la casa. A su vez, permite a la sala interactuar con cualquier actividad que se desarrolle en paralelo

sin interferir con alguna labor no deseada. Esta característica es muy importante pues asegura la percepción de privacidad que tiene el usuario.

Al referirse a la funcionalidad de cada espacio, se ha de tener en cuenta que al área prevista para cada uno se le debe restar el sitio ocupado por los mobiliarios y equipos, dejando lo sobrante como el área donde el individuo se moverá, transitará e interactuará con los muebles, realizando con holgura la función para la cual fue diseñado cada espacio.

Por todas estas razones expuestas se puede concluir que el diseño, a pesar de sus limitaciones en lo referente al área en planta, cumple con creces las obligaciones para las cuales fue planteado. De esta forma se brinda una opción que armoniza la solución arquitectónica con el suelo-cemento, alternativa a las ya existentes en el mercado actual y a las usadas en los nuevos, pero ineficientes, centros poblados.

3.2 DISEÑO ARQUITECTÓNICO

Tomando en cuenta las disposiciones antes descritas, en la Figura 3.1 se aprecia el diseño arquitectónico propuesto. Se ha considerado una vivienda dentro de un área rural de mayor tamaño y que no colinda con otra en ninguno de sus linderos.

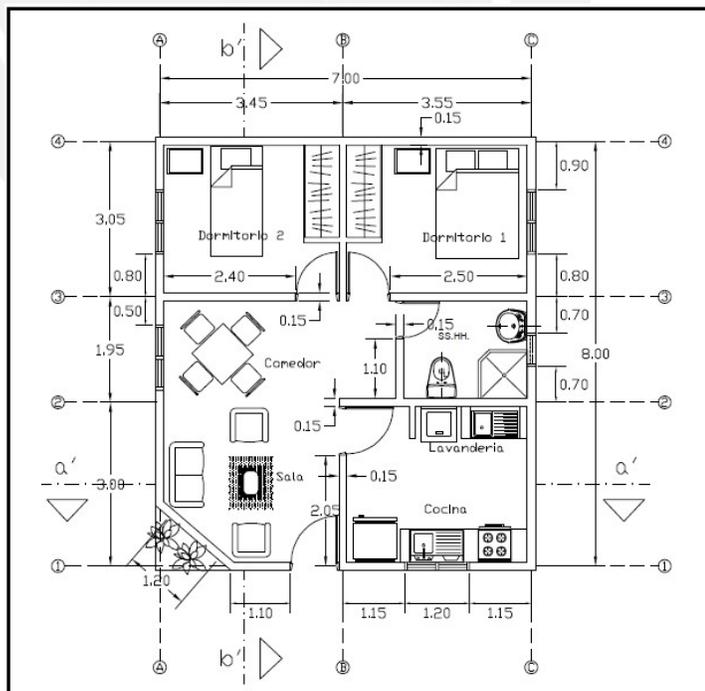


Figura 3.1 Modelo de vivienda propuesto

Características:

- Área: 56 m²
- Área de habitaciones: 10.7 m² y 10.50 m²
- Número de baños: 1

3.3 ESTRUCTURACIÓN

Para el diseño de la vivienda bajo la modalidad de suelo-cemento se utilizó la norma E.080 Adobe (RNE, 2006f), y para la vivienda de albañilería confinada se utilizó la norma E.070 Albañilería (RNE, 2006e).

En los apartados siguientes se muestra, en planta, la estructura de ambos sistemas.

3.3.1 SUELO-CEMENTO

La estructuración de la vivienda de suelo-cemento (Figura 3.2) presenta una diferencia respecto al plano de arquitectura. Todos los muros son de 0.30 m de espesor y el aparejo es de “cabeza”.

Las dimensiones del bloque de suelo-cemento son 0.3 m de largo, 0.15 m de alto y 0,075 m de ancho.

Para mejorar el comportamiento estructural, se ha creído conveniente reforzarla con una malla polimérica puesto que “(se) crea un material compuesto, provisto de resistencia a la tracción y capacidad de desplazamiento importante” (Silva, 2010).

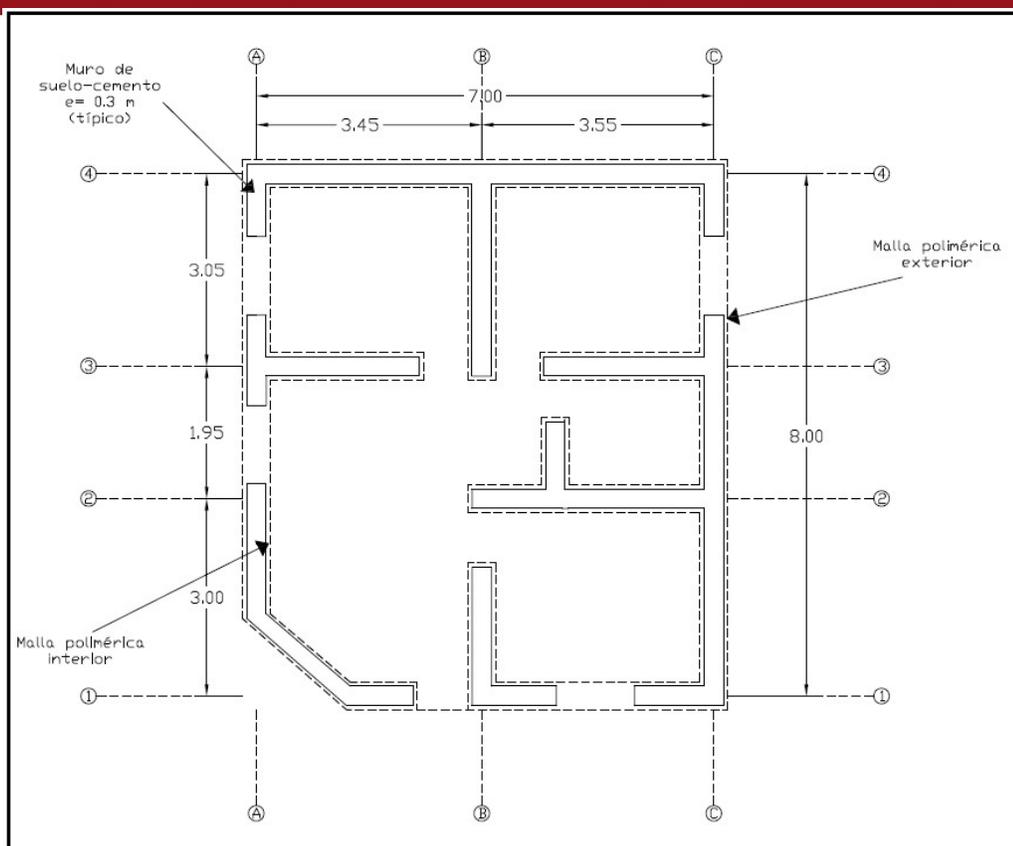


Figura 3.2 Estructuración de vivienda de suelo-cemento reforzada con geomalla

3.3.2 ALBAÑILERÍA CONFINADA

Para este caso se cumple totalmente con la arquitectura propuesta. Todos los muros son de 0,15 m de espesor y presenta un solo tipo de columnas y de vigas: C1 y VS-1, ambas con una sección de 0,15 m x 0,20 m. La Figura 3.3 muestra la estructuración en albañilería confinada.

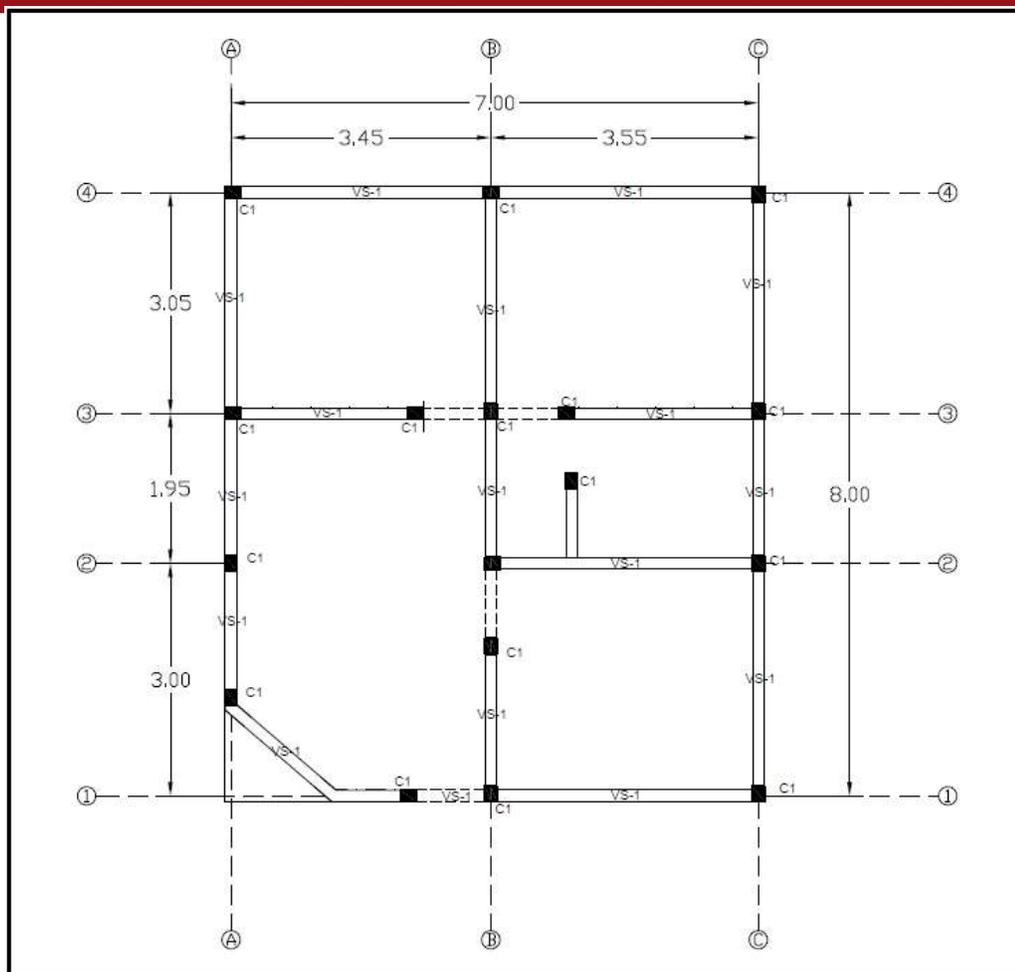


Figura 3.3 Estructuración de vivienda de albañilería confinada

CAPÍTULO 4: ANALISIS DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS

4.1 PROCESOS CONSTRUCTIVOS PARA UNA VIVIENDA DE SUELO-CEMENTO

Al momento de conceptualizar la idea de una vivienda, los diseños arquitectónico y estructural son muy importantes, debido a que en esta etapa se plantea lo que serán las bases para todas las especialidades del proyecto. En esta fase convergen las diversas corrientes estilísticas que puedan verse involucradas en la arquitectura y todas las teorías que están presentes en el diseño estructural.

Lamentablemente, el concepto, en su expresión misma, no es suficiente para satisfacer la necesidad para la cual fue concebido. Es imperante hacer esa idea tangible para todos. Por tal motivo, se define una nueva fase en el proyecto: la etapa de la construcción.

Esta fase, al igual que las anteriores, es muy importante debido a los diversos factores que están involucrados. Es aquí donde se pueden aplicar diversos controles para asegurar la calidad del producto y que la presentación sea lo más fidedigna posible de la idea original.

Por las razones anteriormente expuestas, se ha creído pertinente dedicar todo un capítulo para orientar acerca del correcto manejo del material suelo-cemento para una vivienda de bajo costo.

4.1.1 OBRAS PRELIMINARES

El primer punto de interés, al momento de realizar cualquier tipo de construcción, es la ejecución de las obras preliminares. Ellas están referidas a todas las actividades necesarias para la construcción de la edificación; sin embargo, no guardan ninguna relación directa con la estructura de la obra.

Un aspecto a tener en cuenta es determinar si se necesita realizar demoliciones. Esta actividad consiste en derribar cualquier estructura que exista en la zona escogida para la construcción de la vivienda. Recordar uso del equipo de protección personal adecuado.

El siguiente paso es la limpieza del terreno, actividad que se puede realizar en paralelo con la demolición. El objetivo de esta tarea es dejar el área de trabajo libre de cualquier obstáculo que dificulte la etapa de trazo y replanteo.

Una vez que el terreno está libre de obstáculos se procede a la verificación del nivel del área de trabajo. Para realizar esta tarea se puede recurrir al método de “la manguera de agua”, basado en el principio de los vasos comunicantes.

En el caso que se tenga desniveles importantes, se debe llenar con material de préstamo (procedente una ubicación diferente) o se puede usar el material excedente que se tenga. Sin importar su origen, el material de relleno se debe compactar.

Es muy importante asegurar que el terreno se encuentre lo más nivelado posible pues, de no ser así originará esfuerzos en la estructura para los cuales no fue diseñada, lo que generará un comportamiento deficiente para las solicitaciones en servicio.

Una vez que se tiene el terreno nivelado, el siguiente paso a realizar es el replanteo. Esta actividad consiste en delimitar sobre el área de trabajo (terreno) los elementos que se indican en los planos, especialmente, los ejes. Para mayor información respecto al replanteo se puede consultar el libro de Josep Crespell i Serra, “Replanteo de obras de edificación”.

Como comentario general al trazo de los ejes en el terreno, es imperante que se verifique la ortogonalidad de los muros. En este caso, como se trata de una vivienda prácticamente rectangular se debe cumplir que las diagonales midan aproximadamente igual. Si no fuera así, hay un error en el replanteo.

Teniendo todos los ejes marcados, se trazan las dimensiones en planta (ancho) de los cimientos en el terreno, y se procede a excavar la profundidad indicada en los planos. Los residuos generados deben ser tratados bajo las disposiciones del Decreto Supremo N° 057-2004-PCM: Ley general de residuos sólidos.

4.1.2 CIMIENTOS Y SOBRECIMENTOS

Los cimientos son la parte de la estructura que se encuentra bajo el nivel del terreno. Sus principales funciones son transferir las cargas de toda la construcción al suelo, anclar la estructura, y aislar los muros. Como se puede observar, es un elemento de suma importancia en la edificación.

Existen muchos tipos de cimentaciones. Sin embargo, la más usual para las edificaciones pequeñas, como la que se muestra en el capítulo 3, es la que se denomina “cimientos corridos”, los cuales se construyen debajo de todos los muros de la casa.

Cuando se tiene previsto emplear muros de suelo-cemento, los cimientos corridos y sobrecimientos deben ser preparados de forma tal que resistan las dos sollicitaciones más resaltantes: estructurales y relativas a la humedad.

La profundidad de los cimientos corridos varía de acuerdo con la capacidad del suelo de apoyo y, también, de acuerdo a los prejuicios del constructor. Sin embargo no debe ser menor a 0,80 m por debajo del nivel del suelo (SENCICO, 2006d).

En lo referente al ancho de los cimientos, depende mucho de las cargas que están transfiriendo; sin embargo, para construcciones pequeñas donde los muros tienen un ancho promedio de 0,35 m se acostumbra a colocar un ancho para los cimientos de 0,40 m y una profundidad de 0,8 m (De la Fuente, 2011). La capacidad portante del suelo influye mucho; será criterio del ingeniero si aumenta o reduce el ancho del cimiento.

Siguiendo las recomendaciones de los párrafos anteriores, no se debería tener problemas respecto al comportamiento estructural de los cimientos; sin embargo, es responsabilidad del ingeniero revisar detalladamente el contexto de la estructura y verificar si las recomendaciones son aplicables.

La estructura comprendida entre la parte superior de la cimentación y la base del muro recibe el nombre de sobrecimiento. Su elevación, respecto al nivel del suelo, está en función de la cantidad de precipitación que podría caer sobre el terreno. Para las regiones secas bastará una altura de 0,15 a 0,20 m; para las zonas con una cantidad de precipitaciones intermedia se recomienda una altura de sobrecimientos de al menos de 0,35 m y para las regiones húmedas, la altura debería ser de 0,45 m como mínimo (Toirac, 2008). Se exigen estas alturas con el fin de proteger al muro de la humedad. Por otro lado, el ancho de los sobrecimientos es igual al ancho de los muros de la edificación.

Como se mencionó en los párrafos arriba, la humedad es un problema que es necesario tener en cuenta debido al impacto negativo que podría tener sobre los muros. No basta con controlar el problema debido a las precipitaciones, sino que también es necesario proteger el muro de las escorrentías superficiales. Para este propósito se diseñan diversos tipos de drenaje en función del contexto en el que se encuentre la cimentación.

A manera de ejemplo, se toma el caso en que existe infiltración con una acumulación prolongada, la cual se puede originar en suelos con una superficie pobre de drenaje o en pendientes con dirección al muro. La Figura 4.1 muestra el caso expuesto.

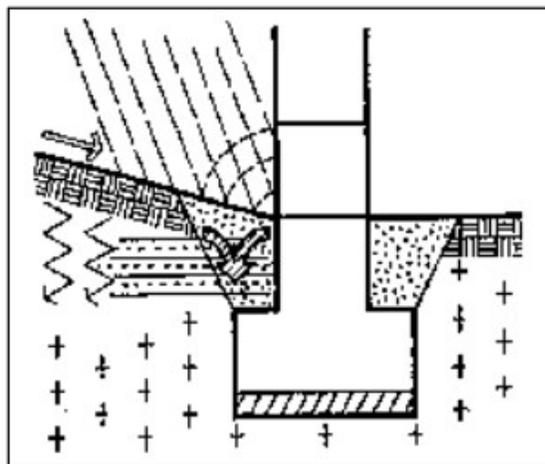


Figura 4.1 Infiltraciones en el relleno y acumulación prolongada (Guillaud, et al. 1995)

Para solucionar el problema en mención, se recomienda sellar las caras expuestas de la cimentación con pasta de cemento y recubrir el sello de cemento con pintura a base de betún, además de construir un pequeño dren de escorrentía. La Figura 4.2 muestra uno de los diseños propuestos.

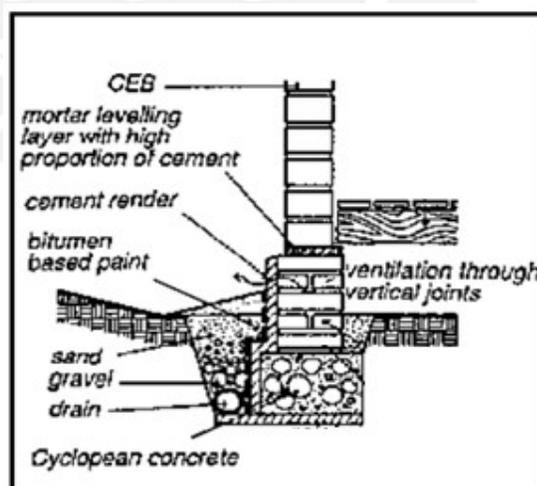


Figura 4.2 Solución para la acumulación de escorrentía superficial (Guillaud, et al. 1995)

Señaladas las características más resaltantes acerca de los cimientos, a continuación se indica el procedimiento a seguir para construirlos. En primer lugar se humedece ligeramente la

superficie del suelo en la base. A continuación se colocan piedras de 6" a 8" de tamaño, las cuales serán como máximo el 50% del volumen total y deberán estar completamente rodeadas de la mezcla. Luego se vierte una mezcla de 1 parte de cemento por 12 de hormigón (Neves, 2011). El nivel a rellenar es hasta 0,10 m debajo del nivel del terreno.

Terminados los cimientos comienzan las actividades para los sobrecimientos. La primera labor es preparar los encofrados con la altura pertinente. Una vez listos, se coloca piedra de 6" y se vierte la misma mezcla que se usó en los cimientos, hasta 0,10 m del borde superior del encofrado.

Como se propone reforzar la casa con geomallas, según lo recomendado por Vargas, Torrealva y Blondet, se coloca a lo largo de todos los sobrecimientos una malla de aproximadamente 2,20 m, que permita dejar un ancho libre de 0,9 m a cada lado. Para asegurarla, se colocan piedras encima. Luego se vierte la mezcla hasta culminar el nivel del sobrecimiento. La Figura 4.3 muestra lo indicado líneas arriba.

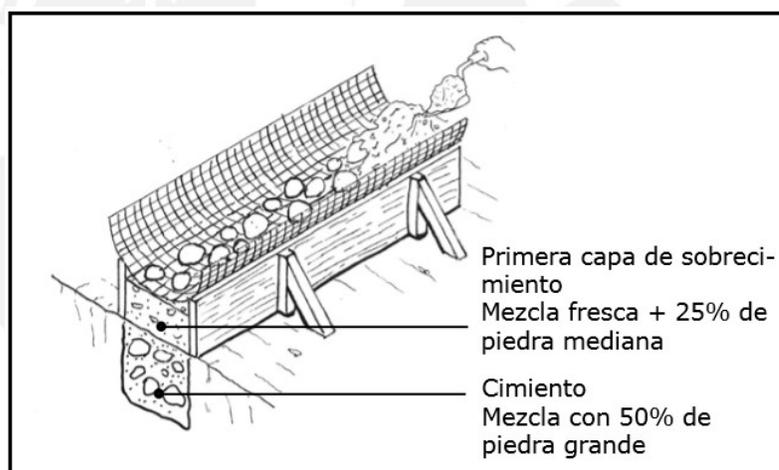


Figura 4.3 Colocación de mallas en sobrecimientos (Vargas, Torrealva y Blondet, 2007)

Otra recomendación es aislar las cimentaciones del suelo, con el fin de evitar que se infiltren salitre y sulfatos a los muros. Un método práctico es colocar capas de polietileno (bolsas plásticas) en todo el contacto de la cimentación con el suelo.

4.1.3 MORTERO

El mortero es una mezcla de suelo, cemento y agua cuyas proporciones son previamente calculadas. Su uso garantiza una buena unión entre los elementos de albañilería.

El uso de mortero en los bloques de suelo-cemento está justificado por las siguientes razones:

- Garantiza la unión entre los elementos de albañilería en ambos sentidos (vertical y horizontal).
- Permite que las fuerzas sean transferidas entre los elementos y las distribuye uniformemente en todas las superficies en contacto.
- Compensa cualquier defecto en la horizontalidad de la albañilería.

El mortero debe tener una consistencia adecuada y una buena cohesión. Debido a que los bloques de suelo-cemento tienen una elevada capacidad de succión de agua, es necesario que el mortero presente capacidad de retención de líquidos. Por último, debe tener una resistencia a compresión y resistencia a la erosión por lo menos igual a la de los bloques.

Para la elaboración de un adecuado mortero se recomienda que el tamaño máximo de las partículas sea de 5 mm y tenga una consistencia arenosa. “La proporción de cemento usado debe ser incrementada por un factor de 1,5 o 2 para lograr la misma resistencia de los bloques de suelo-cemento” (Guillaud, et al. 1995). Otra forma para la dosificación del mortero está en relación de 1 medida de cemento por 3 de suelo (1:3) (Méndez de Hasbun, s/f a).

Después de diversos ensayos realizados acerca del espesor de las juntas, se llegó a la conclusión de que la mejor opción es limitar el ancho de junta a 10 mm (De La Fuente, 2011). El espesor máximo que permite la norma peruana es de 15 mm (RNE, 2006e).

El mortero preparado debe ser usado como máximo una hora y media después de haber sido mezclado, de lo contrario comenzará a fraguar (Méndez de Hasbun, s/f a). No se le podrá añadir más agua que la de mezclado, la cual debe estar limpia y libre de ácidos.

4.1.4 MUROS

Definimos a los muros como la interacción que existe entre las unidades de albañilería y el mortero. Ellos, los muros, limitan un determinado espacio arquitectónico. La forma más común es la prismática, donde dos de sus dimensiones (largo y alto) son considerablemente mayores que el ancho. Pueden ser portantes o tabiques.

Es difícil imaginar un ambiente sin una iluminación adecuada y un espacio de ingreso. Por esta razón, cuando se diseña un muro siempre se tiene en consideración la posible inclusión de alguno de los elementos que garanticen los aspectos mencionados. Sin embargo, se proponen las siguientes recomendaciones para no afectar la capacidad resistente del muro.

En primer lugar, se debe evitar colocar vanos muy cerca a las esquinas. La razón es que en las esquinas hay mayor concentración de esfuerzos; por lo tanto, la presencia de una abertura debilitará el muro.

No es recomendable diseñar varios vanos en un mismo muro, pero en el caso que exista más de uno, la distancia entre ellos debe ser adecuada. La Figura 4.4 muestra las distancias mínimas recomendadas para el diseño de aberturas.

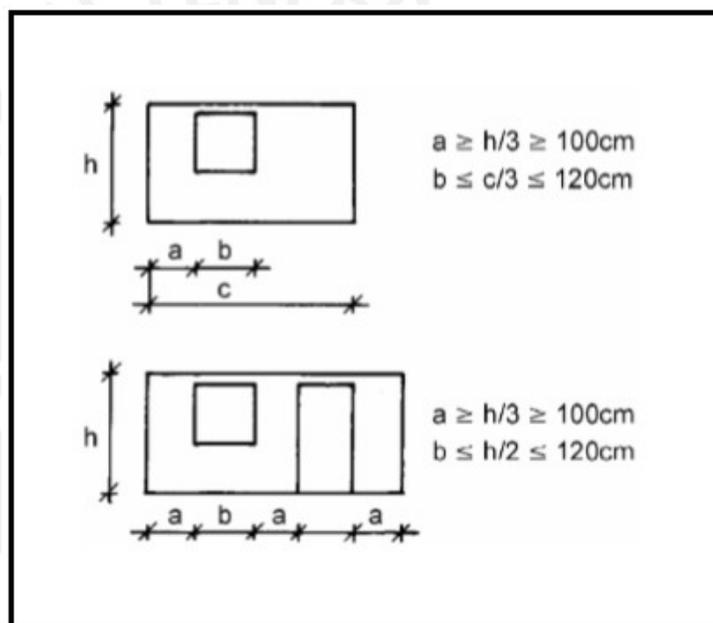


Figura 4.4 Recomendaciones para el diseño de vanos (Minke, 2005)

En lo referente a los dinteles, Minke sugiere que deben penetrar por lo menos 0,4 m en la mampostería con el fin de obtener una buena traba, y así el muro tendrá un buen comportamiento estructural (Minke, 2005). No obstante, este desempeño puede ser mejor si el dintel actúa como viga solera y el tabique bajo la ventana se aísla del resto del muro o es construido con un material flexible como, por ejemplo, madera o quincha. La Figura 4.5 muestra lo descrito en el presente párrafo.

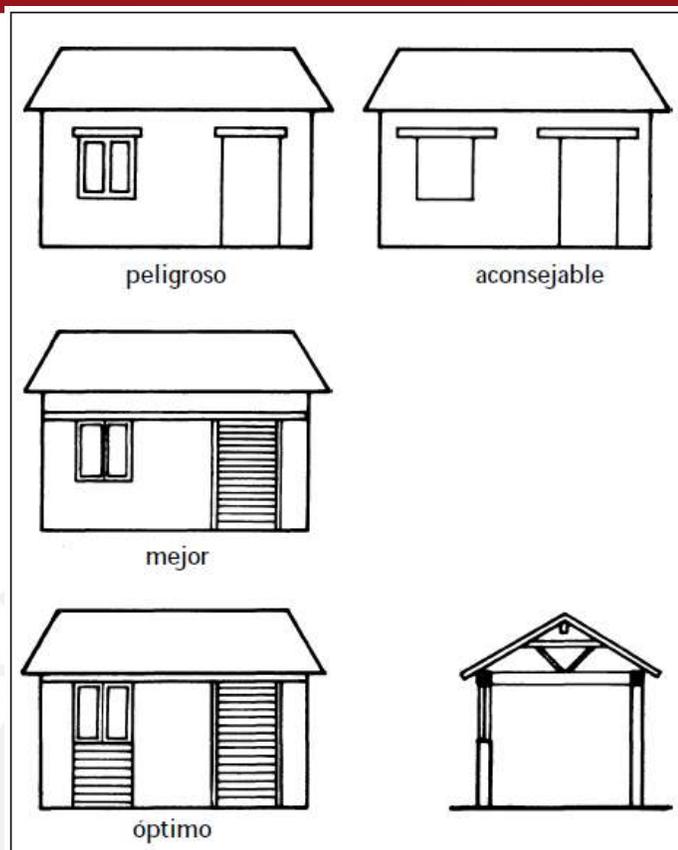


Figura 4.5 Soluciones para el dintel (Minke, 2005)

En la Figura 4.6 se puede observar cuatro tipos de errores al momento de diseñar o construir un muro. El primero es que una ventana y la puerta están muy cerca de la esquina. En líneas anteriores se explicó el porqué se debe evitar.

El segundo error es que los vanos están muy cerca entre sí. Estos deberían estar separados por lo menos 1 m, distancia que se puede reducir si se toman las medidas adecuadas en la construcción.

Tercero, el número de vanos es demasiado para ese muro. Respecto a este punto, el criterio del ingeniero decide cuándo son un exceso, pero como regla general se puede considerar la longitud total de vanos como máximo el 35% de la longitud del muro (Minke, 2005).

Cuarto, los dinteles de los vanos no penetran lo suficiente en el muro para generar una buena ligadura. Una solución a este problema es correr todo el dintel. El inconveniente con esta solución es que la parte superior al dintel se debilita.

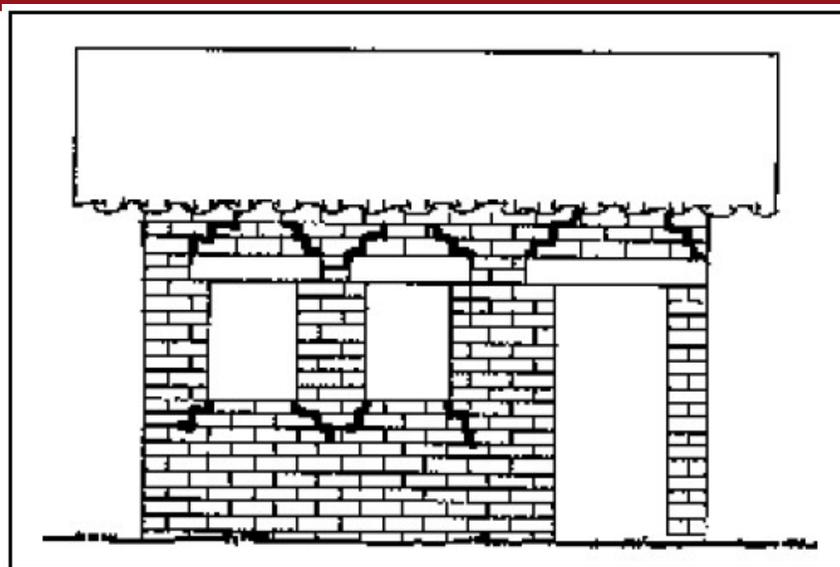


Figura 4.6 Errores comunes en muros (Guillaud, 1995)

La Figura 4.6 también muestra que un diseño deficiente genera grietas en el muro, las cuales facilitan el deterioro del muro por erosión como resultado de la vulnerabilidad a la humedad. Para evitar este problema, se recomienda colocar sobre el alféizar de la ventana una pequeña plancha de madera con una ligera inclinación de forma tal, que evite que el agua escurra sobre los muros (Guillaud et al., 1995).

Por último, en lo que se refiere al diseño previo, se recomienda tener una planta simétrica y lo más cuadrada posible, así como una buena densidad de muros en ambos sentidos.

Para comenzar con la construcción del muro se debe humedecer las unidades de mampostería; sin embargo, se debe controlar este humedecimiento debido a que los bloques se expanden y se contraen en función de la humedad. Colocar un bloque muy húmedo generará fisuras en el muro al secarse.

Para el asentado del muro se emplea el procedimiento de construcción convencional. Recordar que las juntas deben ser de 10 mm aproximadamente. Para el caso de las juntas verticales se debe llenar hasta la mitad en la hilada correspondiente y cuando se coloca el mortero para la siguiente hilada se completa la mitad que falta. Usar el cordel y la plomada para verificar la horizontalidad y verticalidad del muro, respectivamente.

Para fijar la malla de refuerzo, se coloca en el mortero de la junta horizontal rafia transversal al muro, separadas como máximo 0,3 m, cada 3 hiladas. La longitud aproximada de estas

fibras es de 0,70 m, debiendo sobrar 0,15 m de cada lado del muro para sujetar la malla. Se deben colocar rafias en la hilada inmediata inferior a las ventanas (Vargas, Torrealva, Blondet, 2007).

Si se detiene el trabajo en una determinada hilada, cada bloque expuesto debe ser rayado y humedecido al momento de reanudar las actividades. De esta forma se asegura la adherencia con la construcción nueva. Se sugiere adoptar la recomendación de la norma E.070 y limitar la altura máxima de asentado a 1,2 m.

Recordar que se trata de bloques de suelo-cemento; por tal motivo, es conveniente curar mediante riego o laminado los muros periódicamente durante la construcción.

4.1.5 INSTALACIONES

En toda vivienda funcional son básicos los servicios de luz, agua y desagüe. Ellos deben ser instalados de forma tal que no representen un riesgo para la estructura ni los habitantes.

Se recomienda que la instalación de las montantes de agua sea adosada a los muros, debido a que se evitan perforaciones innecesarias; además de permitir una rápida refacción en el caso se presente una avería.

Las montantes serán alimentadas por una derivación instalada en el piso de suelo-cemento y será alimentada por la acometida de agua.

Respecto a las instalaciones del desagüe, debido a que la vivienda es de un solo piso, se recomienda habilitar la red adosada a los muros. Al igual que con la instalación de agua, se evita debilitar el muro. Vale la pena resaltar que se debe tener cuidado al momento de instalar la red de desagüe pues se debe reducir la posibilidad de contaminar la red de agua.

Finalmente, las instalaciones eléctricas, al igual que las anteriores, serán externas a la pared. Todo el sistema de cableado será protegido por unas canaletas y será adosado a los muros y al techo según corresponda.

Para mayor información respecto a las instalaciones se recomienda revisar “Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería” del ingeniero Ángel San Bartolomé. Los procedimientos para las instalaciones en adobe son aplicables para los muros de suelo-cemento.

4.1.6 INTERFAZ MURO-TECHO

Con el fin que todos los muros de la edificación se comporten como un solo sistema, se recomienda “amarrarlos” mediante una viga solera. Además de enlazarlos, la viga transmite las cargas provenientes del techo uniformemente a lo largo de los muros. De esta manera se evitan los problemas de punzonamiento.

Debido a que producto de los sismos ocurre una concentración de esfuerzos en las esquinas, se recomienda Minke recomienda que se rigidicen mediante un arriostre. Por tal motivo, como se aprecia en la Figura 4.7, la parte superior de la esquina del muro ha sido rigidizada mediante un elemento de madera clavado a la viga solera (Minke, 2005).

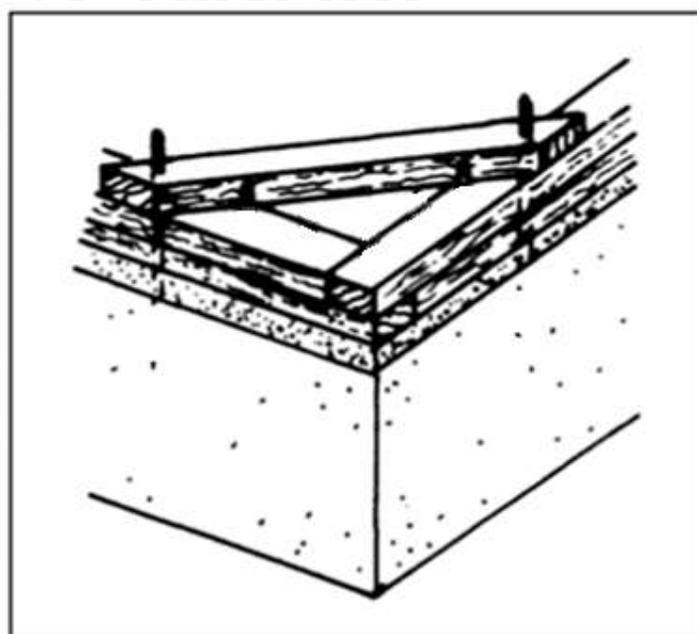


Figura 4.7 Rigidización de esquinas (Minke, 2005)

El primer paso para construir la viga solera es rellenar las juntas verticales y colocar una junta horizontal de 20 mm. Luego sobre esta capa se colocan dos piezas de madera de 4" x 4" sobre todos los muros, las cuales se deben colocar a cada lado del mismo.

Para asegurar su buen desempeño estructural se unirán las dos piezas de madera con travesaños de madera colocados cada 1,2 m a lo largo del muro. El espacio entre las piezas de madera será rellenado con mortero (Guillaud et al., 1995).

4.1.7 MALLA DE REFUERZO

Se coloca la malla de refuerzo sobre la viga solera a ambos lados del muro y se tiempla. Luego, se amarra a las rafías de arriba hacia abajo. Recordar que en la parte inferior del muro se debe empalmar con la malla de anclaje. Para realizar esta actividad se requiere un mínimo de dos personas, una para templar la malla y otra para amarrarla. Se repite el mismo procedimiento para la otra cara del muro.

Los traslapes horizontales deben ser de 0,15 m como mínimo y amarrados con rafia. Para el caso de puertas y ventanas, la malla se corta, se dobla y se amarra según indica la Figura 4.8.

Para mayor información acerca de las mallas de refuerzo y su procedimiento constructivo revisar la publicación de los ingenieros Vargas Newman, Torrealva y Blondet: “Construcción de casas saludables y sismorresistente de adobe reforzado con geomallas” (Primera edición, 2007).

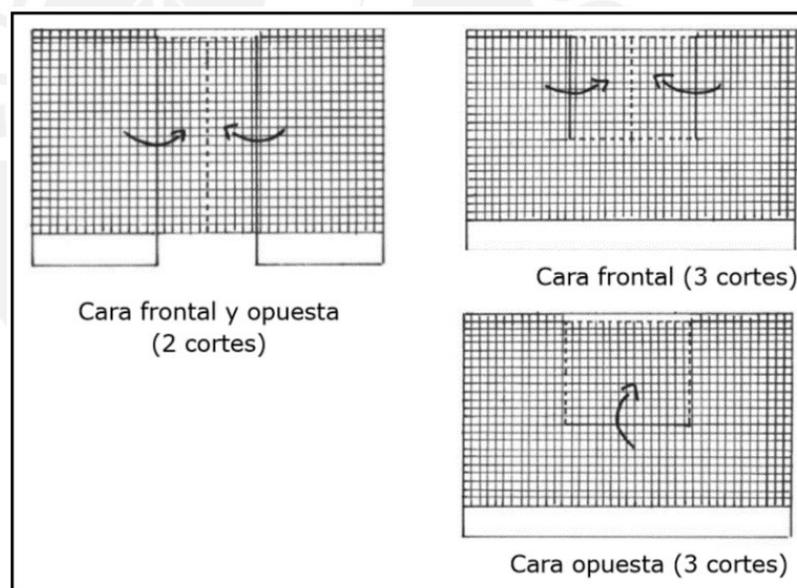


Figura 4.8 Corte de malla para puertas y ventanas (Vargas, Torrealva, Blondet, 2007)

El tarrajeo del muro se realiza después de colocar el techo. Se recomienda hacerlo en dos capas, con el fin que la segunda cubra las fisuras en la primera. El material a usar será el mismo que en el mortero.

4.1.8 TECHO

Debido a que la vivienda será implementada en un lugar de fuertes lluvias, se ha considerado realizar el techo a dos aguas con una pendiente de 18° (Tejada, 2001).

El techo estará conformado por tejas colocadas sobre una torta de barro y paja, la cual será vaciada encima de un manto de cañas. Estos elementos se encuentran apoyados sobre correas que, a su vez, estarán sobre los tijerales de madera, que descansarán sobre las vigas soleras, garantizando así la distribución del peso del techo sobre la mayoría de los muros.

Respecto a los tijerales, se recomienda que las luces no sean mayores a 12 m y que el espaciamiento sea el mayor posible. Los elementos constituyentes de los tijerales (cuerdas, montantes, diagonales) deben estar compuestos por dos piezas paralelas como máximo.

Debido al poco peso y facilidad de clavado se invita a usar maderas del Grupo C (RNE, 2006a). El uso de las maderas del grupo mencionado generará un ahorro en las uniones, pues demandará un menor número de clavos. Por último, se recomienda que las secciones de todos los elementos tengan como mínimo 0,06 m de peralte y 0,04 m de ancho.

Para facilitar el diseño de los tijerales se recomienda revisar la publicación “Buena Tierra: apuntes para el diseño y construcción con adobe” del ingeniero Urbano Tejada. Para el caso propuesto, la estructuración de los tijerales será el mostrado en la Figura 4.9.

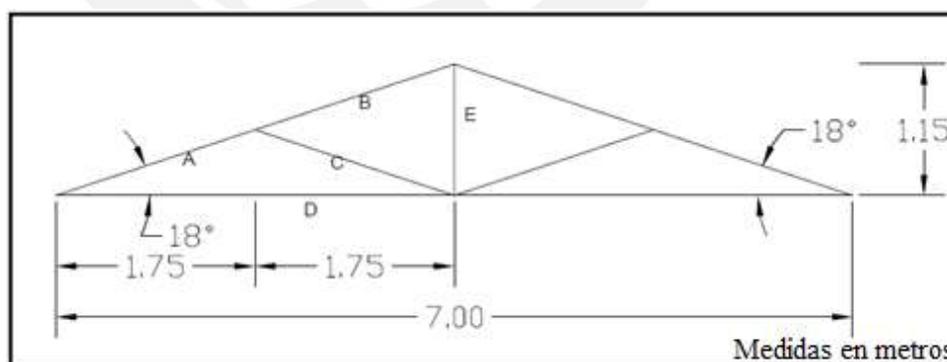


Figura 4.9 Tijeral típico para techo

Las medidas de los elementos, para un caso general, se obtienen usando la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Coeficientes para las luces de los elementos de los tijerales (Tejada, 2001)

Elemento	Fórmula general	Pendiente		
		1/2	5/12	1/3
A, B, C	$0,25 \sec(\alpha) L$	0,280	0,271	0,263
D	$0,5 L$	0,500	0,500	0,500
E	$0,5 \operatorname{tg}(\alpha) L$	0,250	0,208	0,167

Identificar la pendiente adecuada, en este caso 18° , y multiplicar el coeficiente de la Tabla 4.2 por la luz de tijeral:

$$L_{\text{elemento}} = \text{Coef} \times L_{\text{libre}} \quad (7)$$

Para el armado de los tijerales y la posterior unión con la viga solera se usa el procedimiento típico en la madera y se utilizarán clavos lanceros. Para mayor detalle acerca del trabajo en madera se puede consultar el “Manual de diseño para maderas del grupo andino” editado por la Junta del acuerdo de Cartagena.

Se debe asegurar la verticalidad de los tijerales y el arriostramiento lateral, por tal motivo se sugiere colocar viguetas de madera perpendiculares al plano de cada uno los tijerales. Además, estas viguetas, facilitarán la colocación de la cobertura del techo.

Una vez instalados los tijerales sobre la viga solera, se debe rellenar con bloques de suelo-cemento el espacio que queda libre entre las montantes, diagonales y verticales de los tijerales exteriores.

Por último, la longitud del techo debe ser tal que proteja de las lluvias a los muros exteriores paralelos a su eje. Se recomienda prolongar la longitud del techo más allá del eje de los muros transversales al eje del techo con el fin de que tengan una protección para la lluvia. La proyección en mención recibe el nombre de alero.

4.1.9 PISO

El piso propuesto para la edificación es suelo-cemento debido a la simpleza de ejecución y la gran cantidad de ventajas que tiene este sobre un piso de tierra.

El procedimiento para elaborar este piso es muy sencillo. El primer paso consiste en apisonar cuidadosamente todo el suelo “base” para evitar zonas débiles. Después, se colocan guías para determinar el nivel del piso.

Una vez que ya se tienen marcadas las guías de nivel se vierte la mezcla de suelo-cemento, cuya consistencia es similar a la del mortero. Luego se compacta hasta obtener una capa consistente de 0,08 a 0,1 m de espesor.

Se recomienda trabajar por tramos, pues el proceso debe durar dos horas como máximo desde que se incluye el agua de mezcla.

Una vez terminada la colocación del piso se debe curar el piso por lo menos por siete días, con el fin de que obtenga su resistencia máxima. Para el curado de este elemento se recomienda que se utilicen arrocetas.

4.1.10 CRONOGRAMA PROPUESTO

Con el fin de cuantificar el tiempo total de ejecución de la obra se propone el siguiente cronograma. Los rendimientos fueron tomados de los valores mínimos y promedio de la mano de obra proporcionada por la Organización Mundial del Trabajo.

La cuadrilla considerada para las labores varía de acuerdo a la tarea realizada. En el Anexo 4 se detallará la lista de actividades, la cuadrilla requerida y la duración estimada para las mismas. La Figura 4.10 muestra la curva S obtenida de la lista de actividades. Es importante resaltar que esta curva solo muestra el desarrollo del proyecto en cuanto a tiempo; en el siguiente capítulo se valorizará y se mostrarán los indicadores pertinentes.

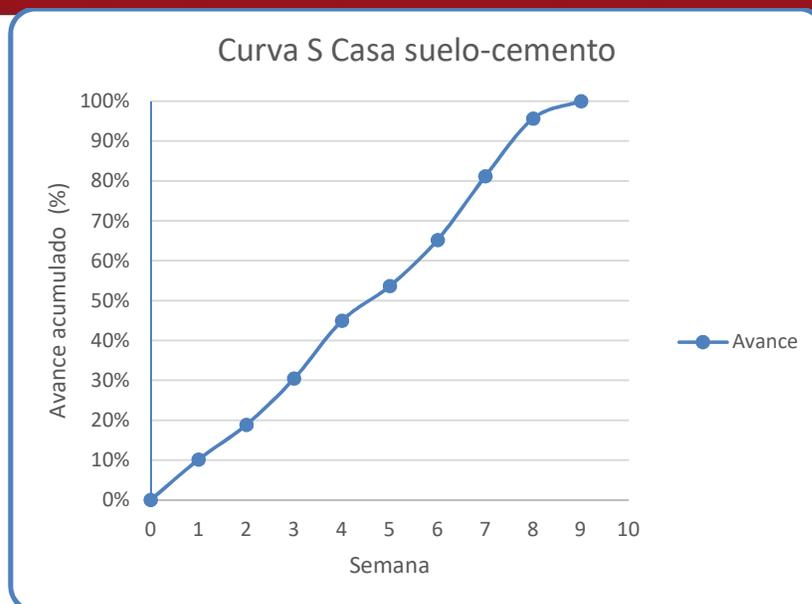


Figura 4.10 Curva S: Casa de suelo-cemento

4.2 PROCESOS CONSTRUCTIVOS PARA UNA VIVIENDA DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

En los siguientes apartados se comentará sucintamente los procesos constructivos para la albañilería. Para ampliar la información, se puede revisar la publicación “Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería” del ingeniero Ángel San Bartolomé.

4.2.1 OBRAS PRELIMINARES

No existe mayor diferencia entre los dos sistemas constructivos en lo que se refiere a este punto, por lo tanto las recomendaciones del apartado 4.1.1 son completamente aplicables para la vivienda de albañilería confinada.

4.2.2 CIMIENTOS Y SOBRECIMENTOS

Respecto a los cimientos, las recomendaciones acerca del proceso constructivo son las mismas. Referente a las especificaciones técnicas, la profundidad de cimentación será de 0,80 m (Norma técnica E.050).

Concerniente al sobrecimiento, éste será de concreto armado y la cuantía dependerá de la estructuración del sistema. La variación respecto al sistema constructivo anterior es que se debe fijar cuidadosamente el acero de refuerzo tanto longitudinal como transversal.

Otra diferencia notable respecto al otro sistema es que en los sobrecimientos se deben armar los refuerzos de los elementos de confinamiento. Se debe tener cuidado al momento de realizar esta tarea, pues se debe evitar el congestionamiento de acero en las intersecciones de las columnas de confinamiento con el refuerzo de los sobrecimientos.

Para el momento del vaciado es necesario contar con el equipo adecuado para compactar el concreto. De no disponerlo, se puede compactar de forma manual con el uso de una barra o pisón. El concreto no debe quedar sin compactar.

4.2.3 MUROS

El proceso para el asentado de muros es muy similar al del suelo-cemento. Como no habrá una malla que recubra todo el muro, no es necesario colocar rafia. Las unidades de mampostería de arcilla se deben de humedecer antes de ser utilizadas. Recordar que la altura máxima que se puede trabajar por día es de 1,2 m.

El mortero utilizado estará acorde a las disposiciones de la norma nacional de albañilería (Norma técnica E.070).

Respecto a la interfaz entre los muros y los elementos de confinamiento, se recomienda asentar los muros de forma tal que se produzca una conexión dentada. En caso considerar pertinente, se puede embutir un alambre #8, unos 0,4 m en la junta horizontal (cada dos hiladas) y 0,15 m en la columna, doblando 0,1 m verticalmente para asegurar un anclaje adecuado.

Una vez que se tenga la altura de muro lista, se preparan los encofrados de las columnas y vigas de confinamiento y se procede al vaciado de los mismos. Recordar que el vaciado debe ser monolítico y se deben curar apropiadamente los elementos de concreto mientras dure la obra.

4.2.4 INSTALACIONES

Para las instalaciones sanitarias se deja la abertura correspondiente. Cuando se instale la tubería, ésta se recubre con un alambre # 16. Se coloca refuerzo horizontal (alambre # 8) cada tres hiladas. Al final, se rellena con concreto fluido (una parte de cemento por seis de arena), creándose así una falsa columna.

Respecto a las instalaciones eléctricas, el procedimiento es similar, solo que no es necesario colocar refuerzo alguno. La relación cemento y arena del mortero a utilizar para muros portantes y no portantes debe estar comprendido entre 1:3 hasta 1:5. Tanto para este tipo de instalación, como para la anterior, nunca se debe picar el muro para colocar algún tipo de tubería. No se recomienda colocar instalaciones en los muros portantes.

Sin importar cuál sea el caso, no se debe, bajo ninguna circunstancia, doblar el acero de refuerzo longitudinal de los elementos de confinamiento para facilitar la instalación de servicios. Para mayor detalle, revisar la publicación recomendada al inicio del apartado 4.2.

4.2.5 TECHO

El techo propuesto para este sistema es el mismo que para la vivienda de suelo-cemento. Los procedimientos constructivos previamente indicados son aplicables a este acápite.

4.2.6 PISO

El piso para esta vivienda será de cemento pulido, debido a las ventajas que éste presenta sobre la tierra compactada; además de su bajo costo de implementación.

El procedimiento para este tipo de suelo es muy sencillo. Consiste en esparcir una mezcla de mortero sobre un suelo limpio hasta conseguir una capa de 0,07 m de espesor. La mezcla está en proporción de cemento y arena de 1:5.

4.2.7 CRONOGRAMA PROPUESTO

Igual que para el caso anterior, en el Anexo 4 se detallará el cronograma propuesto para este sistema constructivo; sin embargo, en este acápite se muestra la curva S correspondiente a la secuencia de actividades (Figura 4.11).

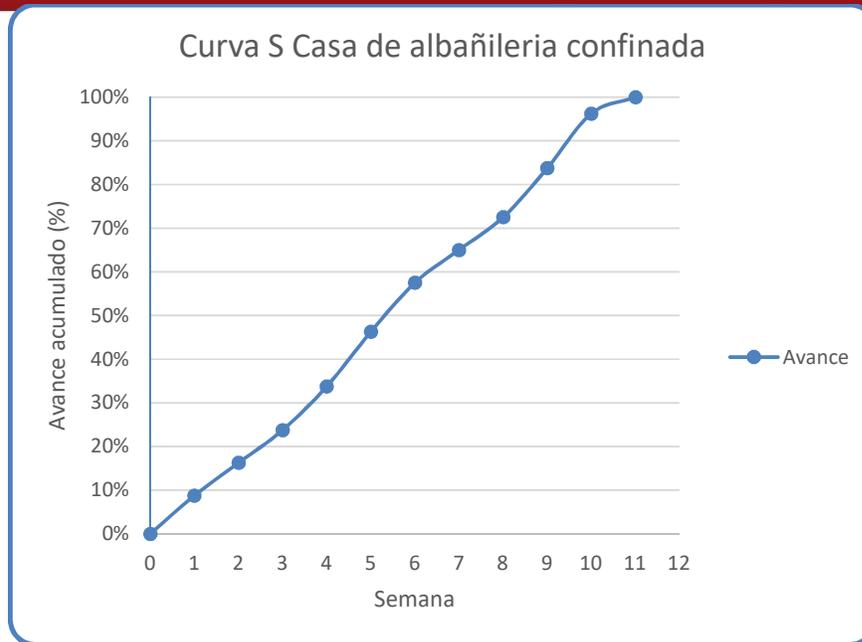
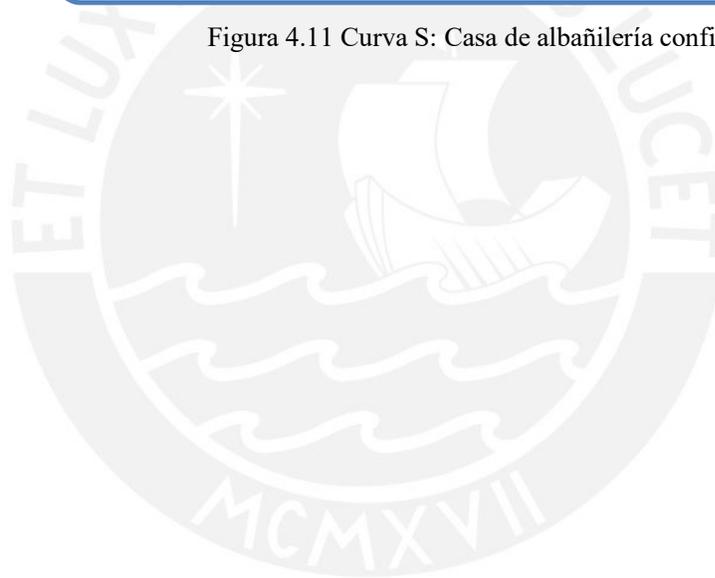


Figura 4.11 Curva S: Casa de albañilería confinada



CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE COSTOS DE LA VIVIENDA

Al momento de iniciar un nuevo proyecto, cualquiera que sea, es necesario conocer y cuantificar los costos asociados con el fin de escoger la mejor solución dentro las diversas alternativas que se dispongan para abordar el propósito.

En el presente capítulo se analizará el costo de construcción para cada tipo de vivienda.

5.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE UNA VIVIENDA DE SUELO-CEMENTO

Con el fin de estimar el costo de construcción de una vivienda de suelo-cemento, en conformidad con los planos, se desarrollará un metrado de materiales. Posteriormente, se elaborará un análisis de precios unitarios (APU) con el fin de valorizar el costo de construcción.

5.1.1 METRADO DE MATERIALES

La cantidad de materiales utilizados se presenta en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Materiales necesarios para la vivienda de suelo-cemento

Partida	Descripción	N° veces	Medidas			Parcial	Und.
			a	h	l		
1.00	Trazo y replanteo						
1.01	Trazado y replanteo	1	8		7	56	m ²
2.00	Movimiento de tierras						
2.01	Excavaciones para cimientos	1	0,6	0,9	43,6	23,5	m ³
2.02	Relleno con material propio	1	0,6	0,1	43,6	2,6	m ³
3.00	Cimentaciones						
3.01	Concreto ciclópeo 1:10(C:H) + 30% P.G. para cimientos	1	0,6	0,8	43,6	20,93	m ³
3.02	Concreto ciclópeo 1:8(C:H) + 25% P.M. para sobrecimientos	1	0,3	0,35	43,6	4,58	m ³
4.00	Encofrados						
4.01	Encofrados de sobrecimiento	1		0,7	43,6	30,52	m ²
5.00	Muros y tabiques						
5.01	Muro de bloques de suelo-cemento 0,3 x 0,15 x 0,075 m	1		2,7	43,6	117,7	m ²

6.00	Refuerzos de muros						
6.01	Malla polimérica	1		2,7	43,6	117,7	m ²
7.00	Elementos de amarre de muros						
7.01	Cuartón 4" x 4" x 12' para viga solera	30				480	pt
8.00	Revoques y enlucidos						
8.01	Tarrajeo de muros interiores con barro e= 20 mm	1		2,7	29,9	80,73	m ²
8.02	Tarrajeo de muros exteriores con barro e= 20 mm	1		2,7	29,8	80,46	m ²
9.00	Techo						
9.01	Tijerales	4				128	pt
	Cuartón 3" x 2" x 4' para montantes	1				(2)	
	Cuartón 3" x 2" x 12' para horizontales	2				(12)	
	Cuartón 3" x 2" x 6' para diagonales	6				(18)	
9.02	Cuartón 4" x 3" x 12' para arriostre	4				48	pt
9.03	Cuartón 3" x 3" x 14' para viguetas	12				126	pt
9.04	Torta de barro	1	8,4		9	75,6	m ²
9.05	Tejas para techo	1				110	und
10.00	Piso						
10.01	Piso de suelo-cemento e = 0,1 m	1				43	m ²
11.00	Instalaciones sanitarias						
11.01	Juego de baño	1				1	und
11.02	Lavadero	1				1	und
11.03	Lavarropa	1				1	und
12.00	Instalaciones eléctricas						
12.01	Puntos de luz	6				6	und
12.02	Puntos de corriente	10				10	und
12.03	Cableado y canalizaciones	1				1	und

5.1.2 ELABORACIÓN DE ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Un APU indica el costo por unidad de una determinada partida; por tal motivo, para elaborar un adecuado análisis se necesita conocer los rendimientos de mano de obra y los costos (jornal, materiales y herramientas) de la partida en cuestión. La Tabla 5.2 muestra los rendimientos de las partidas comunes proporcionados por la Organización Internacional del Trabajo (2003), los cuales fueron validados por la Cámara Peruana de la Construcción

(CAPECO, 2012). Además, en la misma tabla, se muestra el rendimiento obtenido empíricamente para el caso en el que CAPECO no da información alguna; éste fue obtenido a través de consultas realizadas a varios profesionales en el área de la construcción con materiales tradicionales. Por último, la Tabla 5.2, indica la cuadrilla (M.O.) con la que fue calculado el rendimiento.

Tabla 5.2 Rendimientos promedio (CAPECO, 2012)

Partida	CAPECO	Empírico	Und.	M.O.
Muros				
Asentado de bloque de suelo-cemento	6	-	m ² /día	2
Revoques y revestimientos				
Tarrajeo interior e = 0,02 m	15	-	m ² /día	2
Tarrajeo exterior e = 0,02 m	9	-	m ² /día	2
Pisos				
Piso de suelo-cemento e = 0,1 m	-	6,0	m ² /día	1

Para la partida referente al refuerzo con geomallas, se muestra en la Tabla 5.3 los valores para los rendimientos obtenidos de la tesis “Validación, ejecución y documentación de proceso constructivo del mejoramiento de un local escolar de adobe en el distrito de Chocos”, escrita por José Málaga y Víctor Arana.

Tabla 5.3 Rendimientos de partidas de refuerzo (Málaga y Arana, 2012)

Refuerzos con geomalla	Rend.	Und.	M.O.
Cortado de rafia	29,76	m ² /hh	1
Corte de geomalla	6,75	ml/hh	1
Amarrado de geomalla	2,36	m ² /hh	1
Colocación de geomalla	1,83	m ² /hh	2

Con los rendimientos mostrados en las Tablas 5.2 y 5.3 se procedió a elaborar el APU para las partidas características de la vivienda. Para el resto, se utilizarán los análisis propuestos en la revista Costos (Edición 253, abril 2015).

En el caso de los bloques de suelo-cemento se desarrollará un APU para tres tipos de suelos con diferentes porcentajes de cemento (ver Tabla 5.4). Por otro lado, las Tablas 5.5, 5.6 y 5.7 muestran los APU para los suelos mencionados en la Tabla 5.4. El costo de la mano de obra fue obtenido de la revista Costos (Edición 253, abril 2015) y los precios de los materiales de la publicación “Fijación de tarifas de conexión” (Electro Puno, 2011); estos últimos fueron comprobados con distribuidores de diferentes provincias.

A continuación se presentan los APU desarrollados para las partidas mencionadas.

Tabla 5.4 Peso específico promedio por tipo de suelo (Das Braja, 1999)

Tipo de suelo	γ (kN/m ³)	γ (Kg/m ³)	% de Cemento
Arena uniforme (SP)	14,5	1474	5
Arena limosa (SM)	16	1634	8
Arcilla (CL / CH)	13	1313	12

Tabla 5.5 Costo de bloque por unidad de suelo-cemento (Suelo SP)

Rend.	Und./día	600			Costo por und. (S/.)		0.27
Descripción del recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de obra							
Peón			hh	2	0,0267	5.20	0.14
							0.14
Materiales							
Tierra suelta			m ³		0,0032	0.00	0.00
Cemento			bls		0,007	15.22	0.11
Agua			m ³		0,001	4.59	0.01
							0.12
Equipos							
Herramientas manuales			%M.O.		5%		0.01
							0.01

Tabla 5.6 Costo de bloque por unidad de suelo-cemento (Suelo SM)

Rend.	Und./día	600			Costo por und. (S/.)		0.31
Descripción del recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de obra							
Peón			hh	2	0,0267	5.20	0.14
							0.14
Materiales							
Tierra suelta			m ³		0,0032	0.00	0.00
Cemento			bls		0,010	15.22	0.15
Agua			m ³		0,001	4.59	0.01
							0.16
Equipos							
Herramientas manuales			%M.O.		5%		0.01
							0.01

Tabla 5.7 Costo de bloque por unidad de suelo-cemento (Suelo CL-CH)

Rend.	Und./día	600			Costo por und. (S/.)		0.40
Descripción del recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de obra							
Peón			hh	2	0,0267	5.20	0.14
							0.14
Materiales							
Tierra suelta			m ³		0,0032	0.00	0.00
Cemento			bls		0,016	15.22	0.24
Agua			m ³		0,001	4.59	0.01
							0.25
Equipos							
Herramientas manuales			% M.O.		5%		0.01
							0.01

Para la elaboración de los bloques se utilizaron cantidades de cuatro, seis y diez bolsas de cemento Portland para las Tablas 5.4, 5.6 y 5.7, respectivamente.

Nota: El precio de la mano de obra responde solo a la remuneración básica vigente. La razón fundamental de esta consideración es que este tipo de proyecto está asociado a la autoconstrucción, donde solo se reconoce monetariamente el trabajo realizado y no los diversos tipos de beneficios.

Asumiendo el caso de la Tabla 5.7, el cual es el más desfavorable de los tres tipos de suelos propuestos, se muestra en la Tabla 5.8 el costo por m² de muro con un aparejo de cabeza. La cantidad de unidades de suelo-cemento fue calculada con la Fórmula (8).

$$CL = \frac{1}{(L+J_h)*(H+J_v)} \quad (8)$$

Donde,

CL = cantidad de ladrillos por m².

L = longitud de ladrillo = 0,14 m (muro de cabeza).

J_h = espesor de junta horizontal = 0,01 m.

H = altura del ladrillo = 0,07 m.

J_v = espesor de junta vertical = 0,01 m.

Tabla 5.8 Costo por m² de muro (Suelo CL-CH)

Rend.	m ² /día	6				Costo por m² (S/.)	75.91
Descripción del recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de obra							
Peón			hh	2	2,667	12.42	33.12
							33.12
Materiales							
Bloques de suelo-cemento			m ³		87	0.40	34.80
Cemento			bls		0,44	15.22	6.70
Arena			m ³		0,013	21.30	0.28
Agua			m ³		0,01	4.59	0.05
							42.80
Equipos							
Herramientas manuales			%M.O.		3%		0.99
							0.99

Para la colocación de la geomalla sobre los muros se considerará el análisis desarrollado en “Validación, ejecución y documentación de proceso constructivo del mejoramiento de un local escolar de adobe en el distrito de Chocos”, de Málaga y Arana, el cual se muestra en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9 Costo por m² de colocación de geomalla

Rend.	m ² /hh	1,83				Costo por m² (S/.)	19.60
Descripción del recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de obra							
Capataz			hh	0,1	0,0547	18.93	1.04
Peón			hh	1	0,5467	12.42	6.79
							7.83
Materiales							
Geomalla			m ²		2	5.12	10.24
Tijera			und		0,0556	17.50	0.97
Clavos			kg		0,0160	4.00	0.06
Rafia			ml		0,0160	7.00	0.11
							11.38
Equipos							
Herramientas manuales			%M.O.		5%		0.39
							0.39

La Tabla 5.10 muestra el análisis de costos por m² de piso de suelo cemento.

Tabla 5.10 Costo por m² de piso de suelo-cemento (Suelo CL-CH)

Rend.	m ² /día	6				Costo por m² (S./.)	21.27
Descripción del recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S./.)	Parcial (S./.)
Peón			hh	1	1,333	12.42	16.56
							16.56
Materiales							
Cemento			bls		0,24	15.22	3.65
Arena			m ³		0,010	1.58	0.02
Agua			m ³		0,01	21.30	0.21
							3.88
Equipos							
Herramientas manuales			%M.O.		5%		0.83
							0.83

Las Tablas 5.11 y 5.12 muestran el precio de tarrajeo por m² de muro interior y exterior, respectivamente.

Tabla 5.11 Costo por m² de tarrajeo con barro de pared interior

Rend.	m ² /día	15				Costo por m² (S./.)	6.07
Descripción del recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S./.)	Parcial (S./.)
Peón			hh	2	1,07	5.20	5.56
							5.56
Materiales							
Tierra seleccionada			m ³		0,015	0.00	0.00
Arena			m ³		0,015	1.58	0.02
Agua			m ³		0,01	21.30	0.21
							0.23
Equipos							
Herramientas manuales			%M.O.		5%		0.28
							0.28

Tabla 5.12 Costo por m² de tarrajeo con barro de pared exterior

Rend.	m ² /día	9				Costo por m ² (S/.)	9.51
Descripción del recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Peón			hh	2	1,7	5.20	8.84
							8.84
Materiales							
Tierra seleccionada			m ³		0,015	0.00	0.00
Arena			m ³		0,015	1.58	0.02
Agua			m ³		0,01	21.30	0.21
							0.23
Equipos							
Herramientas manuales			%M.O.		5%		0.44
							0.44

5.1.3 CÁLCULO DEL COSTO ASOCIADO A LA CONSTRUCCION

Con los resultados de los metrados, los APU realizados y los costos obtenidos (de la revista Costos y de cotizaciones en la región de la sierra), se presenta en la Tabla 5.13 el presupuesto para la vivienda de suelo cemento.

Tabla 5.13 Presupuesto general de construcción para una vivienda de suelo-cemento

Partida	Descripción	Parcial	Und.	P.U.	Costo
1.00	Trazo y replanteo				
1.01	Trazado y replanteo	56	m ²	1.93	108.08
2.00	Movimiento de tierras				
2.01	Excavaciones para cimientos	23,5	m ³	33.45	786.08
2.02	Relleno con material propio	2,6	m ³	19.11	49.69
3.00	Cimentaciones				
3.01	Concreto ciclópeo 1:10(C:H) + 30% P.G. para cimientos	20,93	m ³	166.34	3481.50
3.02	Concreto ciclópeo 1:8(C:H) + 25% P.M. para sobrecimientos	4,58	m ³	247.28	1132.54
4.00	Encofrados				
4.01	Encofrados de sobrecimiento	30,52	m ²	36.81	1123.44
5.00	Muros y tabiques				

5.01	Muro de bloques de suelo-cemento 0,3 x 0,15 x 0,075 m	117,7	m ²	75.91	8938.14
6.00	Refuerzos de muros				
6.01	Malla polimérica	117,7	m ²	19.60	2306.92
7.00	Elementos de amarre de muros				
7.01	Cuartón 4" x 4" x 12' para viga solera	480	pt	1.95	936.00
8.00	Revoques y enlucidos				
8.01	Tarrajeo de muros interiores con barro e= 20 mm	80,73	m ²	6.07	490.03
8.02	Tarrajeo de muros exteriores con barro e= 20 mm	80,46	m ²	9.51	765.17
9.00	Techo				
9.01	Tijerales	128	pt	1.95	249.60
9.02	Cuartón 4" x 3" x 12' para arriostre	48	pt	1.95	93.60
9.03	Cuartón 3" x 3" x 14' para viguetas	126	pt	1.95	245.70
9.04	Torta de barro	75,6	m ²	23.71	1792.48
9.05	Tejas para techo	110	Und	20.00	2200.00
10.00	Piso				
10.01	Piso de suelo-cemento e = 0.1 m	43	m ²	21.27	914.61
11.00	Instalaciones sanitarias				
11.01	Juego de baño	1	und	410.90	410.90
11.02	Lavadero	1	und	47.90	47.90
11.03	Lavarropa	1	und	44.90	44.90
12.00	Instalaciones eléctricas				
12.01	Puntos de luz	6	und	3.40	20.40
12.02	Puntos de corriente	10	und	2.70	27.00
12.03	Cableado y canalizaciones	1	und	128.00	128.00
				Total	S/. 26,292.68

Precios en soles.

5.1.4 CRONOGRAMA VALORIZADO

La Figura 5.1 muestra la valorización del cronograma mostrado en el capítulo anterior (ver Figura 4.10). Para realizar la presente gráfica se calcularon los costos por semana de cada una de las partidas y se obtuvo un subtotal semanal.

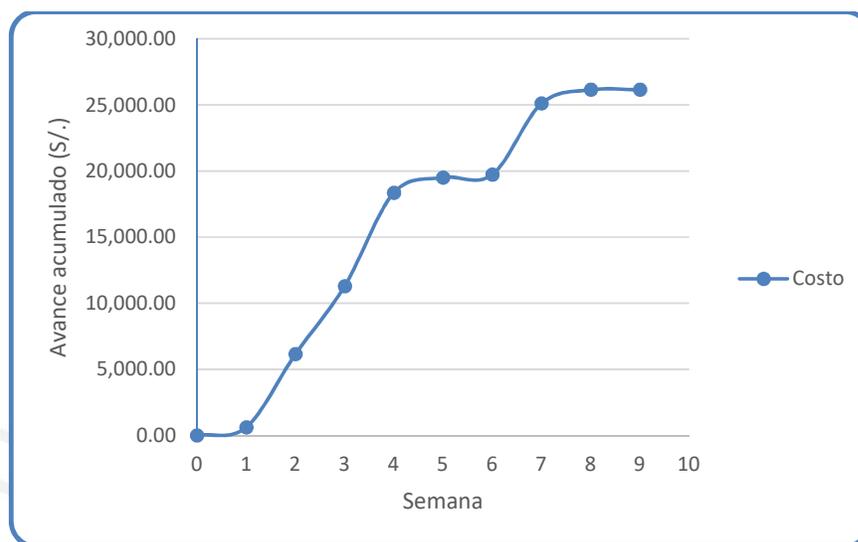


Figura 5.1 Curva S valorizada: Casa de suelo-cemento

5.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE UNA VIVIENDA DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

Con el fin de tener una referencia para comparar el costo de la vivienda de suelo-cemento se obtendrá el costo de una vivienda de albañilería confinada. El procedimiento será similar al usado en el acápite anterior.

5.2.1 METRADO DE MATERIALES

La Tabla 5.14 muestra los metrados calculados para la vivienda analizada. Los pesos del acero de refuerzo fueron estimados mediante los datos proporcionados por la Tabla 5.15.

Tabla 5.14 Metrados para la vivienda de albañilería confinada

Partida	Descripción	N° veces	a	h	l	Parcial	
1.00	Trazo y replanteo						
1.01	Trazado y replanteo	1	8		7	56	m ²
2.00	Movimiento de tierras						
2.01	Excavaciones para cimientos	1	0,6	0,9	43,6	23,5	m ³

2.02	Relleno con material propio	1	0,6	0,1	43,6	2,6	m ³
3.00	Cimentaciones						
3.01	Concreto ciclópeo 1:10(C:H) + 30% P.G. para cimientos	1	0,6	0,8	43,6	20,93	m ³
3.02	Concreto armado f'c = 175 kg/cm ² para sobrecimientos	1	0,15	0,35	43,6	2,29	m ³
4.00	Encofrados						
4.01	Encofrados de sobrecimiento	1		0,7	43,6	30,52	m ²
4.02	Encofrados de columnas	17	0,8	2,7		36,72	m ²
4.03	Encofrado de vigas	1	0,5		43,6	21,8	m ²
5.00	Muros y tabiques						
5.01	Muro de ladrillo corriente de soga mezcla C:A 1:5	1		2,7	43,6	117,7	m ²
6.00	Elementos de confinamiento						
6.01	Columna C1 concreto f'c = 210 kg/cm ²	17	0,15	0,2	2,7	1,38	m ³
6.02	Viga VS-1 concreto f'c = 210 kg/cm ²	1	0,15	0,2	51,3	1,54	m ³
7.00	Acero de refuerzo						
7.01	Acero de refuerzo para sobrecimiento	1				158	Kg
7.02	Acero de refuerzo para columna	1				207	Kg
7.03	Acero de refuerzo para viga	1				185	Kg
8.00	Revoques y enlucidos						
8.01	Tarrajeo de muros interiores mezcla C:A 1:5 e= 15 mm	1		2,7	29,9	80,73	m ²
8.02	Tarrajeo de muros exteriores mezcla C:A 1:5 e= 15 mm	1		2,7	29,8	80,46	m ²
9.00	Techo						
9.01	Tijerales	4				128	pt
	Cuartón 3" x 2" x 4' para montantes	1				(2)	
	Cuartón 3" x 3" x 12' para horizontales	2				(12)	
	Cuartón 3" x 2" x 6' para diagonales	6				(18)	
9.02	Cuartón 4" x 3" x 12' para arriostre	4				48	
9.03	Cuartón 3" x 3" x 14' para viguetas	12				126	pt
9.04	Torta de barro	1	8,4		9	75,6	m ²
9.05	Tejas para techo					110	und
10.00	Pisos						
10.01	Piso de cemento pulido e = 2"					47,7	m ²
11.00	Instalaciones sanitarias						

11.01	Juego de baño	1			1	und
11.02	Lavadero	1			1	und
11.03	Lavarropa	1			1	und
12.00	Instalaciones eléctricas					
12.01	Puntos de luz	6			6	und
12.02	Puntos de corriente	10			10	und
12.03	Cableado y canalizaciones	1			1	und

Tabla 5.15 Peso estimado de acero según elemento (Grupo Polpaico, 2005)

Elemento	Peso del acero por m ³
Cimentaciones	30 – 40 kg/m ³
Muros	65 – 85 kg/m ³
Pilares	130 – 170 kg/m ³
Losas	55 – 75 kg/m ³
Vigas	100 – 140 kg/m ³

5.2.2 ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL POR RATIOS

La Tabla 5.16 muestra el precio en nuevos soles de la vivienda construida bajo el sistema constructivo de albañilería confinada. Los precios requeridos para valorizar las partidas fueron obtenidos de la revista Costos.

Tabla 5.16 Presupuesto general de construcción para una vivienda de albañilería confinada

Partida	Descripción	Parcial	Und.	P.U.	Parcial
1.00	Trazo y replanteo				
1.01	Trazado y replanteo	56	und	1.93	108.08
2.00	Movimiento de tierras				
2.01	Excavaciones para cimientos	23,5	m ³	33.45	786.08
2.02	Relleno con material propio	2,6	m ³	19.11	49.69
3.00	Cimentaciones				
3.01	Concreto ciclópeo 1:10(C:H) + 30% P.G. para cimientos	20,93	m ³	166.34	3481.50
3.02	Concreto armado f'c = 175 kg/cm ² para sobrecimientos	2,29	m ³	375.13	859.05
4.00	Encofrados				
4.01	Encofrados de sobrecimiento	30,52	m ²	37.16	1134.12
4.02	Encofrados de columnas	36,72	m ²	53.51	1964.89
4.03	Encofrado de vigas	21,8	m ²	60.85	1326.53

5.00	Muros y tabiques				
5.01	Muro de ladrillo corriente de soga mezcla C:A 1:5	117,7	m ²	79.73	9384.22
6.00	Elementos de confinamiento				
6.01	Columna C1 concreto f'c = 210 kg/cm ²	1,38	m ³	470.18	648.85
6.02	Viga VS-1 concreto f'c = 210 kg/cm ²	1,54	m ³	296.40	456.46
7.00	Acero de refuerzo				
7.01	Acero de refuerzo para sobrecimiento	158	kg	4.03	636.74
7.02	Acero de refuerzo para columna	195	kg	4.03	785.85
7.03	Acero de refuerzo para viga	207	kg	4.03	834.21
8.00	Revoques y enlucidos				
8.01	Tarrajeo de muros interiores mezcla C:A 1:5 e= 15 mm	80,73	m ²	17.47	1410.35
8.02	Tarrajeo de muros exteriores mezcla C:A 1:5 e= 15 mm	80,46	m ²	23.14	1861.84
9.00	Techo				
9.01	Tijerales	128	pt	1.95	249.60
9.02	Cuartón 4" x 3" x 12' para arriostre	48	pt	1.95	93.60
9.03	Cuartón 3" x 3" x 14' para viguetas	126	pt	1.95	245.70
9.04	Torta de barro	75,6	m ²	23.71	1792.48
9.05	Tejas para techo	110	und	20.00	2200.00
10.00	Pisos				
10.01	Piso de cemento pulido e = 2"	47,7	m ²	36.89	1759.65
11.00	Instalaciones sanitarias				
11.01	Juego de baño	1	und	410.90	410.90
11.02	Lavadero	1	und	47.90	47.90
11.03	Lavarropa	1	und	44.90	44.90
12.00	Instalaciones eléctricas				
12.01	Puntos de luz	6	und	3.40	20.40
12.02	Puntos de corriente	10	und	2.70	27.00
12.03	Cableado y canalizaciones	1	und	128.00	128.00
				Total	S/. 32,748.58

Precios en soles.

5.2.3 CRONOGRAMA VALORIZADO

La Figura 5.2 muestra la valorización del cronograma mostrado en el capítulo anterior (ver Figura 4.11).

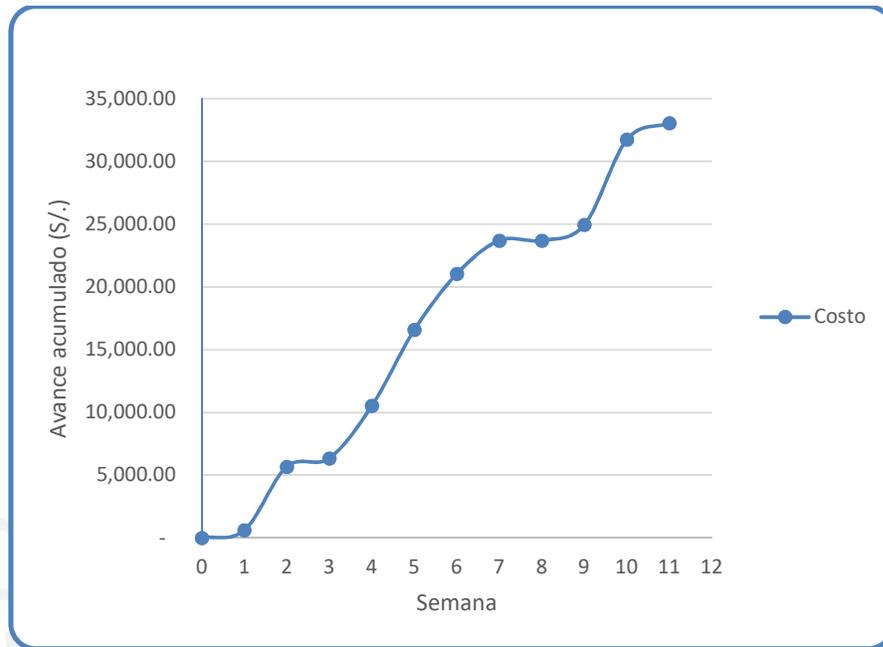


Figura 5.2 Curva S valorizada: Casa de albañilería confinada

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS

Con el fin de discernir entre las opciones presentadas, el presente capítulo compara las diversas fases constructivas y los costos asociados de cada una de estas.

6.1 ANÁLISIS CON RELACIÓN A LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Este apartado muestra las diferencias existentes a nivel de construcción de una casa de suelo-cemento y una de albañilería confinada.

6.1.1 CIMENTACIONES

El proceso de construcción de los cimientos es similar en ambos sistemas. Para obtener un funcionamiento óptimo se invita a seguir las recomendaciones mencionadas en el capítulo pertinente.

Respecto a los sobrecimientos, sí hay diferencia. Para la vivienda de suelo-cemento se utiliza un concreto ciclópeo con una cantidad mayor de cemento respecto a la de los cimientos; a diferencia del sistema de albañilería confinada, en el cual se propone el uso de concreto armado.

El uso de sobrecimiento armado para la vivienda de albañilería es una ventaja porque, garantiza un asentamiento uniforme a lo largo de todo el muro, pues es más rígido que un sobrecimiento de concreto sin reforzar. Otra ventaja es que brinda confinamiento en todos los bordes del muro.

Debido a que el uso de concreto armado implica trabajos con las barras de refuerzo, se necesita contar con una persona que, además de trabajar con acero, posea la habilidad de leer planos, lo cual hace necesario emplear mano de obra capacitada. En el caso del suelo-cemento no es necesaria una persona con estas habilidades, pues el sistema constructivo es similar al de los cimientos.

El hecho que se utilice concreto armado para las cimentaciones hace que el tiempo para la construcción sea mayor comparado con el necesario para la cimentación de suelo-cemento.

Como se ha mencionado en la presente tesis, el agua y la humedad representan un gran riesgo para las construcciones de suelo-cemento, por tal motivo se requiere una protección

adicional que puede consistir en una zanja de drenaje o una capa aisladora de cemento sobre las caras del sobrecimiento. Dependiendo de la severidad de este problema se puede optar por una o por la combinación de estas soluciones.

Tener en cuenta que estas recomendaciones repercuten directamente en el flujo de las actividades haciéndolas, en la mayoría de casos, más esforzadas; sin embargo, para el adecuado funcionamiento del sistema en general es necesario seguir las indicaciones presentadas.

6.1.2 MUROS Y RECUBRIMIENTOS

El proceso constructivo de los muros es similar para ambos sistemas, pues las unidades de albañilería tienen la misma técnica para el asentado. La diferencia importante es que los bloques de suelo-cemento se deben fabricar y tienen que ser curados por un periodo aproximado de siete días. Sin embargo, el curado no influye significativamente en el desarrollo de las tareas programadas pues, debido a la bajísima complejidad de esa acción, se puede desarrollar en paralelo a las actividades previas, o inclusive antes de las mismas.

Por otro lado, en ambos sistemas las unidades deben ser humedecidas antes de ser asentadas, pero, con una organización adecuada, esa labor tampoco debería ser causa de retraso.

Otra diferencia apreciable es que, en los muros de suelo-cemento, se deben colocar cintas rafia para sujetar el refuerzo, provocando que el asentado del muro sea ligeramente más trabajoso.

Por último, la presencia de cemento en el sistema implica utilizar alguna técnica de curado también para el muro; sin embargo, esta tarea no influye en el tiempo de ejecución del proyecto pues se puede realizar en paralelo a otras actividades.

6.1.3 REFUERZOS DE LOS MUROS

Debido a que las unidades de mampostería no son resistentes a las fuerzas de tracción y tienen un comportamiento frágil, se implementan diversos refuerzos que puedan mitigar estas deficiencias.

Para la construcción de suelo-cemento se tiene la opción de reforzarla con malla, polimérica o electro-soldada. Se escogió la malla polimérica debido al buen comportamiento que tiene respecto a las sollicitaciones sísmicas y el tipo de falla asociado (dúctil).

Respecto a los elementos de confinamiento de los ladrillos de arcilla, el procedimiento constructivo es el tradicional manejo de concreto en obra. Dependiendo de la interfaz entre los muros y las columnas, se puede o no optar por el refuerzo horizontal. Al igual que con los sobrecimientos, se necesita mano de obra capacitada para estos elementos, pues son de concreto armado. También deben ser curados. En cambio, la mano de obra para instalar la malla de refuerzo no es necesaria que sea calificada, pues son actividades simples, tales como tensar la malla y amarrarla a la rafia instalada en el muro.

El empleo de elementos de confinamiento no presenta dificultad elevada a nivel constructivo, pero el uso de elementos de concreto armado demanda tiempo para desarrollar el conjunto de actividades necesarias para su correcto funcionamiento (detallado del refuerzo, colocación, compactado y curado del concreto).

En líneas generales, el sistema de suelo-cemento es más sencillo de realizar y más rápido, no necesita mano de obra especializada y presenta un comportamiento adecuado (Alderete et al. 2011), que es comparable con el de los muros tradicionales de mampostería de arcilla.

Es importante recordar que la rapidez con la que se puede construir un sistema se traduce en un importante ahorro económico.

6.1.4 TECHO

El techo propuesto es el mismo para ambos sistemas. Se invita a revisar las recomendaciones que aparecen el apartado 4.1.8 para un óptimo funcionamiento.

6.1.5 INSTALACIONES

La diferencia entre ambos sistemas es en la forma en que se instalan los servicios en la vivienda. Como se mencionó en el capítulo 4 las instalaciones en la vivienda de suelo-cemento son adosadas, mientras que en la albañilería confinada son instaladas dentro de unas falsas columnas.

La diferencia en mención hace que el procedimiento para el asentado del muro de albañilería confinada sea más trabajoso, pues se debe dejar los espacios para las instalaciones y luego rellenar este espacio con concreto fluido. En cambio, el suelo-cemento no tiene este problema, lo que se traduce en que el tiempo necesario para realizar el asentado de unidades sea mucho menor en este caso.

6.2 ANÁLISIS CON RELACIÓN A LOS COSTOS

El presente apartado presenta las observaciones respecto al costo de los dos sistemas analizados, para luego compararlos entre sí. El costo total de la vivienda se disgrega en partidas con el fin de ver la incidencia de cada una de ellas en el costo general del proyecto.

6.2.1 RESPECTO A LA VIVIENDA DE SUELO-CEMENTO

La Figura 6.1 muestra el porcentaje respecto al costo total de cada una de las partidas analizadas.

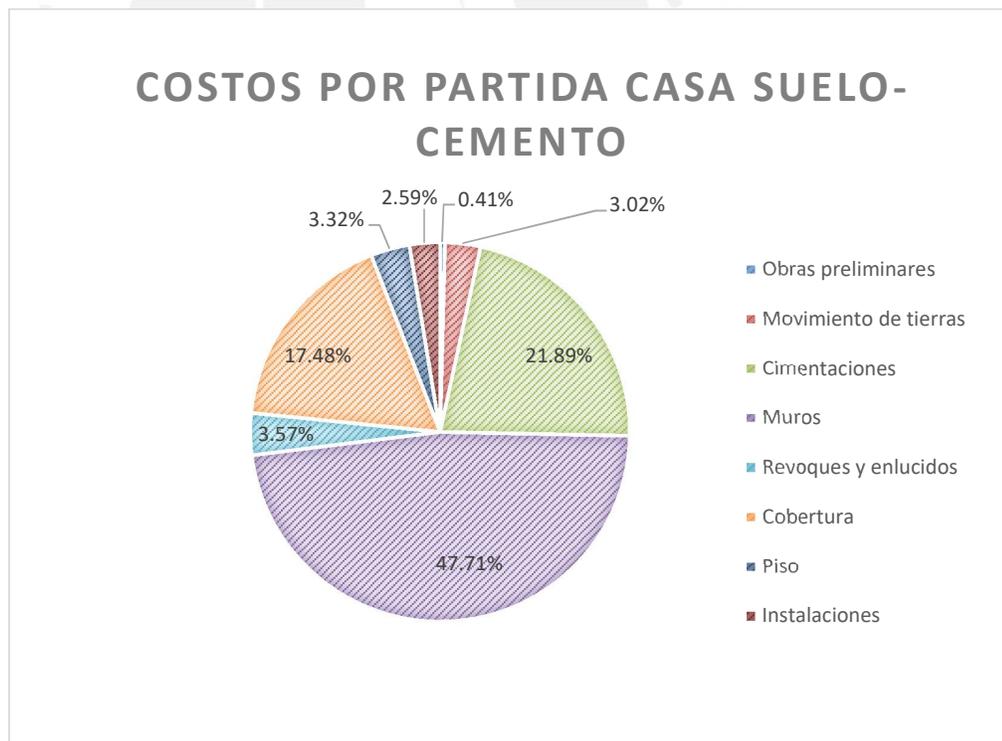


Figura 6.1 Costos por partida de casa de suelo-cemento

En la figura mostrada se observa que la partida más costosa es la de los muros, con casi el 50% del presupuesto designado para la construcción de la vivienda. En segundo lugar, se

tiene la partida de las cimentaciones, la cual tiene un valor aproximado de la mitad de la anterior. El costo de ambas partidas representa aproximadamente el 70% del presupuesto general.

Este análisis permite determinar, entre todas, cuáles son las partidas más influyentes y hacerles un seguimiento detallado con el fin de evitar contratiempos, pues se infiere que ante un eventual problema que se tenga en cualquiera de esas dos partidas identificadas como principales, se generará un sobrecosto. Por tal motivo, se recalca que la partida de cimentaciones y, en especial, la partida de muros deben ser cuidadosamente monitoreadas.

También se debe identificar y controlar las partidas que tienen algún tipo de incidencia en la construcción y mantenimiento de las partidas económicamente más importantes. En este caso específico se debe controlar los procedimientos de las instalaciones, en especial las sanitarias, debido a que estas representan un riesgo para la partida más costosa (muros) y por ende, para todo el proyecto tanto en construcción como en mantenimiento.

Para detallar aún más la inversión acerca de los muros, la Figura 6.2 muestra los costos de cada una de las sub-partidas que están involucradas en la construcción de los muros de suelo-cemento.

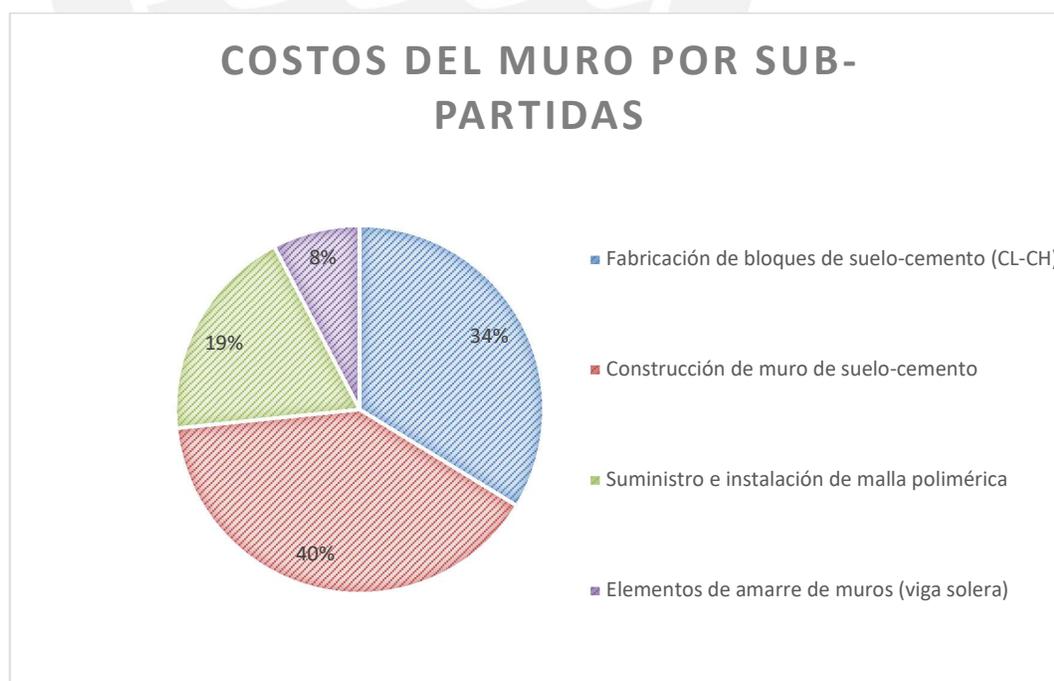


Figura 6.2 Detalle del costo del muro de suelo-cemento

Como se tenía previsto, el mayor costo está asociado al asentado de muro. Recordar que este costo incluye la elaboración de las unidades de mampostería; sin embargo, una cantidad apreciable (20%) es destinada para el refuerzo de los mismos.

Por otro lado, el costo indicado (muros) puede ser significativamente menor si se utiliza un suelo más acorde con la granulometría óptima, debido a que esta granulometría requiere una menor cantidad de cemento para ser estabilizado.

6.2.2 RESPECTO A LA VIVIENDA DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

Como se puede observar en la Figura 6.3, la distribución de costos es muy similar a la anterior, donde el costo mayor está relacionado con la construcción de los muros de mampostería de arcilla y sus respectivos refuerzos.

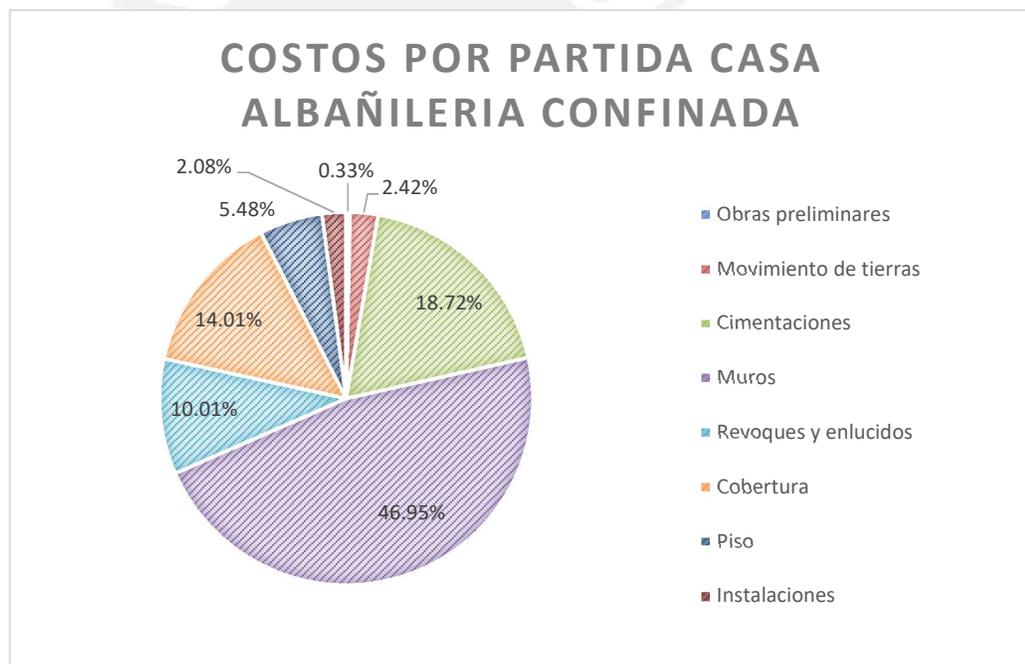


Figura 6.3 Costos por partida casa de albañilería confinada

Las observaciones respecto al costo son las mismas que para el sistema anterior, se debe controlar cuidadosamente la construcción de los muros y las cimentaciones.

En este caso en particular, no es necesario controlar a detalle las tareas relacionadas a las instalaciones pues, la presencia de agua no representa un riesgo considerable para los muros contruidos con mampostería de arcilla.

Con el fin de comprender los costos relacionados con la construcción de los muros se presenta la Figura 6.4, la cual muestra el detalle de los costos de construcción de la partida en mención.

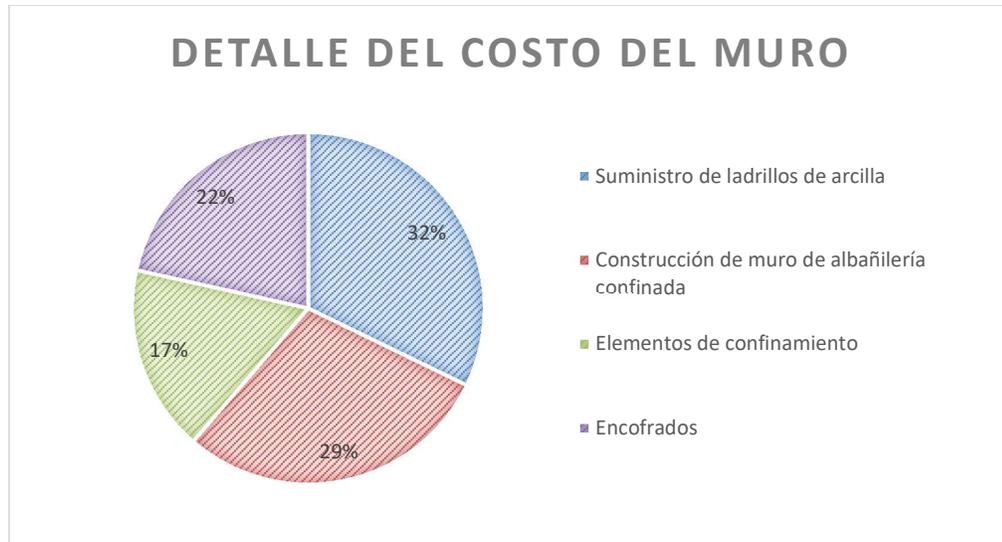


Figura 6.4 Detalle del costo del muro de albañilería confinada

6.2.3 COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE SISTEMAS

En el presente apartado se comparará los costos de cada sistema. La Tabla 6.1 muestra el costo general de cada uno. Se observa que el sistema constructivo de albañilería confinada es aproximadamente un 25% más costoso que el sistema con suelo-cemento.

Tabla 6.1 Precios finales de construcción

Sistema constructivo	Precio	Costo por m ²	Tiempo de construcción
Suelo-cemento	S/. 26,289.14	S/. 469.45	9 sem
Albañilería confinada	S/. 32,748,58	S/. 584.79	11 sem

La diferencia existente no implica necesariamente que el sistema más costoso sea mejor, solo indica que a nivel de proceso constructivo involucra un mayor número de partidas, partidas más costosas o mayor tiempo de ejecución. Todo esto se traduce en un mayor impacto económico.

Otra razón por la cual existe tal diferencia de precios es que el sistema de albañilería confinada, al usar concreto como material de construcción, eleva el costo debido a que se

necesita personal calificado para el correcto manejo del concreto en obra. Si bien, el suelo-cemento necesita mano de obra calificada, no la necesita en la misma cantidad que la albañilería confinada.

Los costos que se muestran en la Tabla 6.1 no necesariamente se deben disponer en su totalidad el primer día de obra, si no que se pueden ir asumiendo cuando corresponda, según se indica en las Tablas 6.2 y 6.3. Esto definitivamente es una ventaja, pues permite programar el dinero necesario para las actividades de la semana y brinda un poco más de tiempo para alcanzar el monto total de la construcción.

Tabla 6.2 Costo semanal de la vivienda de suelo-cemento

Semana	Costo	Costo Acumulado
Semana 1	S/. 620.98	S/. 620.98
Semana 2	S/. 5,530.37	S/. 6,151.35
Semana 3	S/. 5,148.21	S/. 11,299.56
Semana 4	S/. 7,059.88	S/. 18,359.43
Semana 5	S/. 1,152.87	S/. 19,512.30
Semana 6	S/. 226.20	S/. 19,738.50
Semana 7	S/. 5,368.03	S/. 25,106.53
Semana 8	S/. 1,045.25	S/. 26,152.53
Semana 9	S/. 136.61	S/. 26,289.14

Tabla 6.3 Costo semanal de la vivienda de albañilería confinada

Semana	Costo	Costo Acumulado
Semana 1	S/. 618.31	S/. 618.31
Semana 2	S/. 5,064.11	S/. 5,682.42
Semana 3	S/. 668.57	S/. 6,350.99
Semana 4	S/. 4,182.27	S/. 10,533.26
Semana 5	S/. 6,054.03	S/. 16,587.30
Semana 6	S/. 4,459.50	S/. 21,046.80
Semana 7	S/. 2,653.43	S/. 23,700.23
Semana 8	S/. 0.00	S/. 23,700.23
Semana 9	S/. 1,252.52	S/. 24,952.75
Semana 10	S/. 6,791.26	S/. 31,744.01
Semana 11	S/. 1,004.57	S/. 32,701.48

Una observación pertinente es que en la semana 8 de la construcción de albañilería confinada, el costo es cero, debido que en esta semana se realiza el curado y posterior desencofrado de los elementos de confinamiento para luego comenzar con las tareas relativas al techo.

La Figura 6.5 se elaboró con el fin de comparar cada una de las partidas respecto a su similar en el otro sistema.

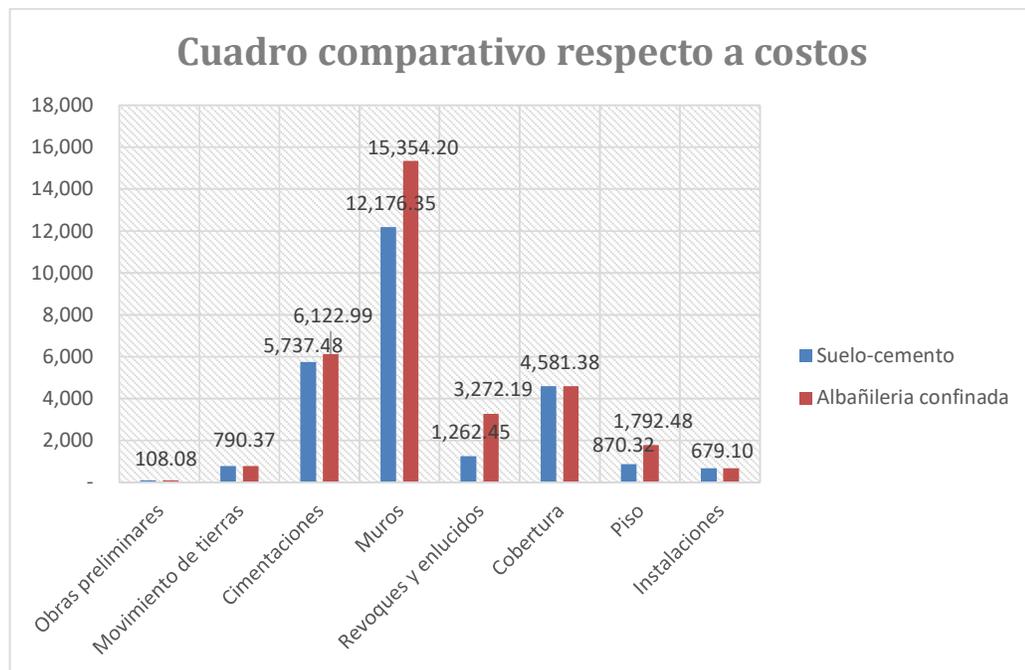


Figura 6.5 Comparativo de costos por partidas de ambos sistemas.

Del gráfico anterior se puede observar que las partidas de cimentaciones, muros, revoques y piso son más económicas en el sistema de suelo-cemento que la albañilería confinada.

El uso del concreto armado en la cimentación de la albañilería es el principal culpable de que la partida sea más costosa comparada con su similar en suelo-cemento. La diferencia de precios responde principalmente al mayor costo de los materiales y la cantidad de mano de obra necesarios para el sistema de albañilería.

Con respecto a los muros de suelo-cemento, a pesar de que se utiliza el material de la zona para la elaboración de las unidades de mampostería, el costo del muro aún sigue siendo alto. La razón fundamental es debido al tipo de aparejo que se utiliza (de cabeza), por lo que requiere de una mayor cantidad de material (bloque y mortero) para un metro lineal de muro. Una ventaja de esta situación es que al ser los muros más gruesos se vuelven térmicamente más efectivos, por lo que este elevado costo se podría interpretar como una inversión para un mejor aislamiento térmico.

En comparación con los muros de albañilería, el costo es menor debido a que los primeros, involucran, aparte del asentado, concreto armado y encofrado lo que hace que el precio de la partida suba considerablemente.

La diferencia entre los tarrajeos y enlucidos corresponde al material utilizado, mientras que en el suelo-cemento se aprovecha la misma mezcla utilizada para la elaboración de los bloques, en la albañilería se realiza con una mezcla de cemento y arena. Claramente, el uso del material de la zona en construcción reduce los costos por metro cuadrado.

Al igual que con los tarrajeos, la partida del piso es más económica en el sistema de suelo-cemento, pues este sistema propone al uso del mismo suelo-cemento para el piso de la vivienda. Como en el caso anterior, representa un ahorro pues se prioriza el uso de los materiales disponibles que tienen un costo cero a los sistemas convencionales de construcción.

Las partidas restantes las tareas realizadas fueron las mismas y tuvieron el mismo impacto económico.

En este apartado solo se han tratado los costos directos de la construcción, los cuales son los más importantes para una persona que planea construir su vivienda; sin embargo, estos se pueden extrapolar a proyectos de vivienda masiva donde entran a tallar los costos indirectos.

La vivienda de suelo-cemento se construye en nueve semanas, mientras que la casa de albañilería confinada se construye en once semanas. Este ahorro en el tiempo de construcción se puede traducir en un menor costo indirecto para las viviendas de suelo-cemento respecto a las viviendas de albañilería confinada.

CAPÍTULO 7: RECOMENDACIONES PARA UNA NORMA NACIONAL DE SUELO-CEMENTO

En el mundo existen muchos antecedentes de viviendas de suelo-cemento. Por ejemplo tenemos el uso masivo de construcción de suelo-cemento en un complejo habitacional en el distrito de Vegachi (Colombia), para mitigar la falta de vivienda (Municipio de Vegachi, 2007). Otro referente se encuentra en Francia, donde el grupo Le Village oferta casas de suelo-cemento (Le Village, 2013). Caso similar sucede en India, en un programa impulsado por el gobierno para otorgar vivienda a las personas desplazadas por algún tipo de conflicto (Un Habitat, s/f). Por lo que se demuestra que el uso del material es posible; sin embargo, para su correcto manejo, se debe investigar y proponer requisitos mínimos necesarios para garantizar el comportamiento requerido.

El presente apartado tiene como finalidad presentar recomendaciones recopiladas a lo largo de esta tesis con el propósito de brindar algunas pautas iniciales para la elaboración de una norma nacional de suelo-cemento.

Alrededor del mundo existen diversas normas de construcción acerca de este tipo de material. Entre las que podemos resaltar las normas brasileñas NBR 12025, NBR 13534; la colombiana NTC 5324; la india IS 2110; las africanas ARS 683, ARS 682; etc. Es por ello que se debería hacer una recopilación de estos documentos y determinar los aspectos que se podrían aplicar en el Perú, para enriquecer las recomendaciones aquí presentadas.

Las recomendaciones serán divididas en dos grandes grupos: tecnología del material y procedimientos constructivos.

7.1 EN RELACIÓN A LA TECNOLOGÍA DEL SUELO-CEMENTO

El agrietamiento en este tipo de elementos es muy perjudicial, pues altera considerablemente sus propiedades mecánicas, además de brindar una puerta de entrada de agua a los bloques de suelo-cemento, debilitándolos aún más.

Después de revisar los diversos ensayos realizados por diversos investigadores, se ha determinado que existe una cantidad de cemento en la mezcla que hace que el agrietamiento sea el mínimo absoluto. Por tal motivo, se recomienda limitar el contenido de cemento en las mezclas para evitar un agrietamiento excesivo y, de esta forma, evitar comprometer el comportamiento estructural de los elementos y del sistema.

Otro aspecto a considerar acerca del suelo-cemento, es el tipo de suelo que se estabiliza. Si bien todo tipo de suelo puede ser estabilizado, existen algunos que presentan un comportamiento más eficiente que otros.

Por ejemplo, en el caso de los suelos finos, la eficiencia de la reacción del suelo con el cemento es menor, haciendo más difícil el trabajo al momento de realizar las mezclas y, además, demandan un mayor contenido de cemento (Toirac, 2008). Otro aspecto a considerar en los suelos finos, como las arcillas, es que la hidratación del cemento se produce muy lentamente, en alrededor de 40 días.

Por las razones expuestas, se recomienda enfocar la posible norma a los suelos granulares y restringir el uso de suelos finos para la estabilización. En el caso que se disponga de un suelo fino, se podrían emplear los diversos métodos de corrección granulométrica.

Debido a que el material contiene cemento, el curado es vital para alcanzar la resistencia deseada. Lamentablemente, un curado prolongado no necesariamente es sinónimo de una mayor resistencia. Para algunos tipos de suelos (arenosos) un curado largo es contraproducente. Se recomienda que la posible norma analice a detalle el efecto del tiempo de curado para los diversos tipos de suelo y presente los métodos más pertinentes para este fin.

La norma debe contemplar el manejo en obra del suelo-cemento no solo bajo la modalidad de mampostería (bloques comprimidos), sino también como tierra apisonada, mampostería confinada, etc. Por otro lado, se puede extrapolar el concepto de estabilizante y utilizar otro tipo de materiales (cal, asfalto, etc.) para el mismo fin.

Como recomendación general, la norma nacional de suelo-cemento debe ser orientada a las recomendaciones prácticas, basadas en la experiencia que se tiene de construcciones similares, análoga a la norma E.080 Adobe (RNE, 2006f).

7.2 EN RELACIÓN A LOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

El Perú es un país con una actividad sísmica considerable. Afortunadamente, este fenómeno no es igual en todo el territorio; si no que conforme nos alejamos de la costa, la sismicidad va disminuyendo.

Por tal motivo, se debería aplicar la zonificación sísmica presentada en la norma E.030 Diseño Sismorresistente (RNE, 2006c), e identificar el tipo de refuerzo mínimo necesario para garantizar el adecuado comportamiento ante estos fenómenos para cada zona en cuestión. Eso garantizará al interesado en implementar el sistema, que se cumple con las disposiciones mínimas de seguridad y evitará que se incurra en sobre costos por utilizar un refuerzo mucho mayor al necesario.

Debido a que la humedad representa un riesgo elevado para las construcciones de suelo-cemento, la norma debería proponer y profundizar en sistemas de aislamiento o drenaje. De esta forma, se minimizaría los posibles daños, se elevaría la calidad de respuesta a lo largo del tiempo del sistema estructural y aumentaría su durabilidad.

El tipo de suelo sobre el cual construir es muy importante en este sistema. En casi la totalidad de los casos se utiliza como material principal la tierra del lugar donde se realizará la construcción. La norma debería mostrar algunos ensayos aplicables en campo que sirvan para tener una estimación inicial acerca del suelo que se va a utilizar. La recomendación anterior tiene el objetivo de ayudar a discernir los tipos de suelos apropiados para estas construcciones, no solo como material constructivo, sino también como tipo de suelo apropiado sobre el cual cimentar.

Además de las recomendaciones generales hasta aquí presentadas, las siguientes líneas describirán las recomendaciones específicas para algunos de los elementos que conforman el sistema general.

Respecto a los muros las pautas para un correcto funcionamiento son muy similares a las que se siguen para el adobe; sin embargo, se deberían profundizar las investigaciones relacionadas con el mortero. Actualmente solo se tienen recomendaciones de dosificaciones obtenidas empíricamente, por lo que no se puede entender el correcto funcionamiento de este elemento ante diversas sollicitaciones; recordemos que las fallas ocasionadas por los sismos generalmente se presentan en la interfaz mortero-bloque, por lo que es necesario un análisis más exhaustivo.

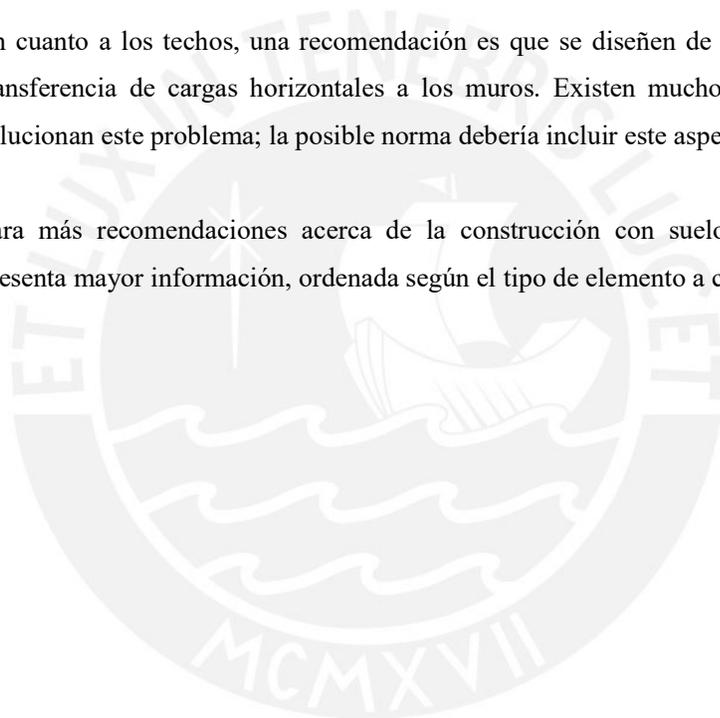
En lo concerniente a los refuerzos internos de los muros, no es muy recomendable el uso de cañas (un tipo de refuerzo común, en el país, para las construcciones de este tipo), debido a que encontrar material que sea estructuralmente apropiado es muy difícil. Mejor es reforzar los muros externamente.

Una última consideración respecto a los muros, es el tipo de protección y acabados que se les puede dar acordes a las solicitaciones climáticas y ambientales a las que serán expuestos, por lo que se debería incluir en la norma la forma más apropiada para proteger los muros según las condiciones ambientales existentes en el lugar de emplazamiento.

Otro aspecto importante es la interfaz entre el muro y el techo, que debe ser tal que permita, en primer lugar, una transmisión de cargas adecuada y, además, brindar un mayor arriostramiento a los muros, esencial para garantizar un comportamiento antisísmico adecuado. Entonces, la norma debería analizar los diferentes tipos de interfaz que existan y recomendar algunos para el tipo de riesgo sísmico que se tenga en el lugar de la edificación.

En cuanto a los techos, una recomendación es que se diseñen de tal forma que se evite la transferencia de cargas horizontales a los muros. Existen muchos diseños de techos que solucionan este problema; la posible norma debería incluir este aspecto también.

Para más recomendaciones acerca de la construcción con suelo-cemento, el capítulo 4 presenta mayor información, ordenada según el tipo de elemento a construir.



CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

Al finalizar la investigación presentada en esta tesis, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Queda demostrado que la implementación del suelo-cemento bajo la técnica constructiva de mampostería reforzada con mallas poliméricas es posible en el Perú, pues los procedimientos constructivos, además de ser similares a los de la mampostería confinada, no necesitan de una mano de obra calificada en todo el desarrollo del proyecto.
- Desde el punto de vista económico, la vivienda de suelo-cemento es completamente factible debido a que su costo de construcción es menor al de una de albañilería confinada. Y si la comparamos con los costos de mercado para otros tipos de vivienda, es mucho menor.
- Que el costo de la vivienda sea menor no implica que la seguridad integral del sistema sea deficiente, más bien prueba que muchas de las partidas no requieren materiales de costos elevados o personal calificado y especializado, para garantizar la buena práctica de los procedimientos y, por ende, un correcto funcionamiento. De hecho, existen alrededor del mundo un gran número de normas de construcción que regulan e incentivan el uso del suelo-cemento en países sísmicos como India, Colombia y México, pero siempre quedará a criterio del proyectista o del constructor determinar las características aplicables para su contexto constructivo.
- Después de realizar el cálculo para la producción de las unidades de suelo-cemento, se llegó a la conclusión que se trata de un material ecológico, pues los insumos industriales necesarios para la fabricación del bloque son mínimos; además, a diferencia del ladrillo de arcilla, no necesita ser cocido, por lo que existe un ahorro de recursos energéticos y de mano de obra.
- Por último, respecto a la tecnología del suelo-cemento, se deberían realizar investigaciones con el fin de entender mejor las diversas propiedades del material.

Bibliografía

1. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE
1997 State of art report on soil-cement.
EEUU: ACI Committee 230.
2. ASTM C127-04
2004 Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Gruesos.
EEUU: ASTM International.
3. ASTM D558-11
2011 Standard Test Methods for Moisture-Density (Unit Weight) Relations of Soil-Cement Mixtures.
EEUU: ASTM International.
4. ASTM D559/D559M-15
2015a Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures.
EEUU: ASTM International.
5. ASTM D560/D560M-15
2015b Standard Test Methods for Freezing and Thawing Compacted Soil-Cement Mixtures.
EEUU: ASTM International.
6. ASTM D1632-07
2007a Standard Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory.
EEUU: ASTM International.
7. ASTM D1633-00(2007)
2007 Standard Test methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders.
EEUU: ASTM International.
8. ASTM D2488-09a
2009 Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure).
EEUU: ASTM International.
9. ALDERETE, CARLOS ET AL.
2011 El suelo-cemento, un recurso tecnológico para la construcción de edificios. *Congreso de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos*.
Valladolid: Universidad de Valladolid.
10. BANCO BILBAO VIZCAYA ARGENTARIA (BBVA)
2014 Situación inmobiliaria.
Lima: Reporte de Unidad de Perú.
11. BARROS, L. P.
2010 Resistencia sísmica del suelo-cemento postensado en construcciones de baja complejidad geométrica. *Revista de la construcción volumen 9 N° 2*.
Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

12. BLONDET, MARCIAL; VILLA GARCÍA, GLADYS; BRZEV, SVETLANA
2003 Construcciones de adobe resistentes a los terremotos.
Lima: Contribución a la enciclopedia mundial de vivienda del EERI/IAEE.
13. BLONDET, MARCIAL
2005 Construcción y mantenimiento de viviendas de albañilería.
Lima: Fondo editorial PUCP.
14. CERDÁ ANTÚNEZ, ENRIQUE
1957 Casa campesina de suelo-cemento: juego de planos de construcción.
Bogotá: Centro interamericano de vivienda y planeamiento.
15. CID FALSETO, JAIME
2011a Características mecánicas del BTC Estudios de los ensayos a compresión. Congreso de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos.
Valladolid: Universidad de Valladolid.
16. CID FALSETO, JAIME
2011b Las normativas de tierra de construcción en el mundo. Informes de la construcción.
España: Informativos de la construcción.
17. CID FALSETO, JAIME
2011c Marco normativo de las construcciones con tierra.
España: Universidad Politécnica de Madrid.
18. CRATERRE; RIGASSI, VICENT
1995 Compressed earth block Manual of production, Vol. 1.
Alemania: Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien.
19. CRATERRE; GUILLAUD, HURBERT
1995 Compressed earth block Manual of design and construction, Vol. 2.
Alemania: Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien.
20. CRESPELL I SERRA, JOSEP
2012 Replanteo en obras de edificación.
Madrid: Tornapunta ediciones.
21. CRESPO VILLALAZ, CARLOS
2004 Mecánica de suelos y cimentaciones.
México: Limusa.
22. DAS, BRAJA
1999 Principio de ingeniería de cimentaciones.
México: Thompson editores.
23. DAS, BRAJA
2002 Fundamentos de ingeniería geotécnica.
México: Thompson editores.
24. DE LA FUENTE LAVALLE, EDUARDO.
2011 Casa de suelo-cemento
México: Colima.

25. DE LA FUENTE LAVALLE, EDUARDO
1995 Suelo Cemento: sus usos, propiedades y aplicaciones.
México: IMCYC.
26. DELGADO CONTRERAS, GENARO
2011 Costos y presupuestos en edificaciones.
Perú: Edicivil.
27. ELECTRO PUNO
2011 Fijación de tarifas de conexión.
Perú: Electro Puno.
28. GRAÑA MIRÓ QUESADA, JOSÉ
2011 Análisis y soluciones al problema de vivienda en el Perú.
Perú: Informes de la construcción.
29. GRUPO POLPAICO
2005 Manual del constructor.
Santiago de Chile: Grupo Polpaico.
30. GRUPO S10
2015 Precios de partidas.
Lima, Revista “Costos. Construcción, arquitectura e ingeniería”, edición 253, pp. 93 – 140.
31. GUTIÉRREZ, OSCAR
2011 Bloque de tierra comprimida como material constructivo.
Colombia: Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC).
32. INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO
s/f a Construcción de viviendas económicas con suelo – cemento monolítico.
Argentina: Revista Cemento.
33. INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO
s/f b Fabricación de ladrillos con mezclas de suelo y cemento Portland.
Argentina: Revista cemento.
34. INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO
s/f c Producción de bloques de suelo cemento.
Argentina: Revista cemento.
35. JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA
1985 Manual de diseño para maderas del grupo andino.
Colombia: Junta del Acuerdo Cartagena.
36. KIRSCHBAUM, CARLOS FEDERICO
2011a Ensayos de resistencia a la compresión de bloques de suelo-cemento.
España: Informes de la construcción.
37. KIRSCHBAUM, CARLOS FEDERICO
2011b Vivienda rural en suelo-cemento: Investigación, transferencia y autoconstrucción.
España: Universidad de Valladolid.

38. LE VILLAGE
2013 BTC Le Village - Cavaillon
Francia: Le Village.
39. MÁLAGA JOSÉ; ARANA VICTOR
2012 Validación, ejecución y documentación del proceso constructivo del mejoramiento de un local escolar de adobe en el distrito de Chocos.
Perú: Tesis PUCP.
40. MÉNDEZ DE HASBUN, PATRICIA
s/f a Construcción de una vivienda con mampostería de ladrillo de suelo-cemento confinado.
El Salvador: s/e.
41. MÉNDEZ DE HASBUN, PATRICIA
s/f b Mampostería de suelo-cemento confinada – Análisis de resultados.
El Salvador: s/e.
42. MÉNDEZ DE HASBUN, PATRICIA; LÓPEZ, MANUEL
s/f c Mampostería de ladrillo de suelo-cemento confinada.
El Salvador: s/e.
43. MERRIL, ANTHONY
1949 Casas de tierra apisonada y suelo-cemento.
Buenos Aires: Windsor.
44. MINISTERIO DE SALUD
2004 Marco institucional de los residuos sólidos en el Perú.
Perú: Dirección general de salud ambiental.
45. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO.
2016 Perú una ventana al bienestar.
Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
46. MINKE, GERNOT
2001a Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra.
Alemania: Universidad de Kassel.
47. MINKE, GERNOT
2001b Viviendas antisísmicas de tierra, resultados de investigación y ejecución en zonas sísmicas de los Andes.
Alemania: Universidad de Kassel.
48. MUNICIPIO DE VEGACHI
2007 Proyecto piloto de viviendas de interés social en bloque de tierra.
Colombia: Fundación para la Preservación, la Innovación y el Desarrollo de la Arquitectura en tierra.
49. NEVES, CECILIA; BORGES, OBEDE
2011 Técnicas de construcción con tierra.
Brasil: Rede ibero-americana proterra.

50. NEVILLE, ADAM
1988 Tecnología del concreto.
México: Limusa.
51. NTP 339.127
1999 Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.
Lima: Norma Técnica Peruana.
52. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA
s/f FAO Training. Consulta: 12 de octubre del 2016.

ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s08.
53. ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO (OIT)
2003 Rendimientos mínimos y promedio de la mano de obra en Lima.
Perú: Oficina Internacional del Trabajo.
54. Ottazzi Pasino, Gianfranco
1995 Recomendación para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial y bloques de suelo-cemento.
La Paz: Red Habiterra – CYTED.
55. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ (PUCP)
2012 Guía del laboratorio de mecánica de suelos.
Lima: s/e
56. RIVERA, GERARDO
s/f Concreto simple.
Colombia: Universidad del Cauca.
57. ROMARIÓN, RICARDO
s/f Análisis de costos de una vivienda rural de adobe.
Argentina: Universidad nacional de San Juan.
58. SAN BARTOLOMÉ RAMOS, ÁNGEL
2011 Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería.
Lima: Fondo editorial PUCP.
59. SÁNCHEZ AGUILAR, ANÍBAL
2015 Migraciones internas en el Perú.
Lima: Organización internacional para las migraciones.
60. SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (SENCICO)
2006a Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.010 Madera.
Perú: El Peruano 8 de junio.
61. SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (SENCICO)
2006b Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.020 Cargas.
Perú: El Peruano 8 de junio.

62. SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (SENCICO)
2014 Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.030 Diseño Sismorresistente.
Perú: SENCICO.
63. SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (SENCICO)
2006c Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.050 Suelos y cimentaciones.
Perú: El Peruano 8 de junio.
64. SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (SENCICO)
2006d Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.070 Albañilería.
Perú: El Peruano 8 de junio.
65. SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (SENCICO)
2006e Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.080 Adobe.
Perú: El Peruano 8 de junio.
66. SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (SENCICO)
2009 Manual de construcciones sismorresistente en adobe Tecnología de geomalla.
Perú: SENCICO.
67. SERIGOS, PEDRO ANTONIO
2009 Rigidez a baja deformación de mezclas de suelo de la formación pampeano y cemento portland.
Argentina: Universidad de Buenos Aires.
68. SILVA BERRÍOS, WILSON
2010 Construcción de casas sismorresistentes de adobe reforzado con geomallas (Diapositiva).
Consulta: 15 de junio del 2015.

http://www.academia.edu/27973869/Construcci%C3%B3n_de_Casas_Sismorresistentes_de_Adobe_Reforzado_con_Geomallas.
69. TEJADA SCHMIDT, URBANO
2001 Buena Tierra: apuntes para el diseño y construcción con adobe consideraciones sismorresistentes.
Lima: CIDAP.
70. TOIRAC CORRAL, JOSÉ
2008 El suelo-cemento como material de construcción. *Revista Ciencia y Sociedad. N°4*.
República Dominicana: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.
71. TORRENTE, MANUEL; SAGÜÉS, LUIS
1974 Estabilización de suelos: suelo-cemento.
s/l: Editores técnicos asociados.

72. UN HABBITAT
s/f Indian Housing Project.
India: Un Habbitat.
73. VARGAS NEUMANN, JULIO; TORREALVA, DANIEL; BLONDET, MARCIAL
2007 Construcciones de casas saludables y sismorresistente de adobe reforzado con geomallas.
Lima: Fondo editorial PUCP.
74. WALKER, MARÍA; RODRÍGUEZ, ARMANDO
2009 Expediente técnico Módulo básico de adobe reforzado con geomalla.
Perú: Dirección Académica de Responsabilidad Social (DARS), PUCP.

