

Arg. Hector Cepeda Godoy.

SIKAT

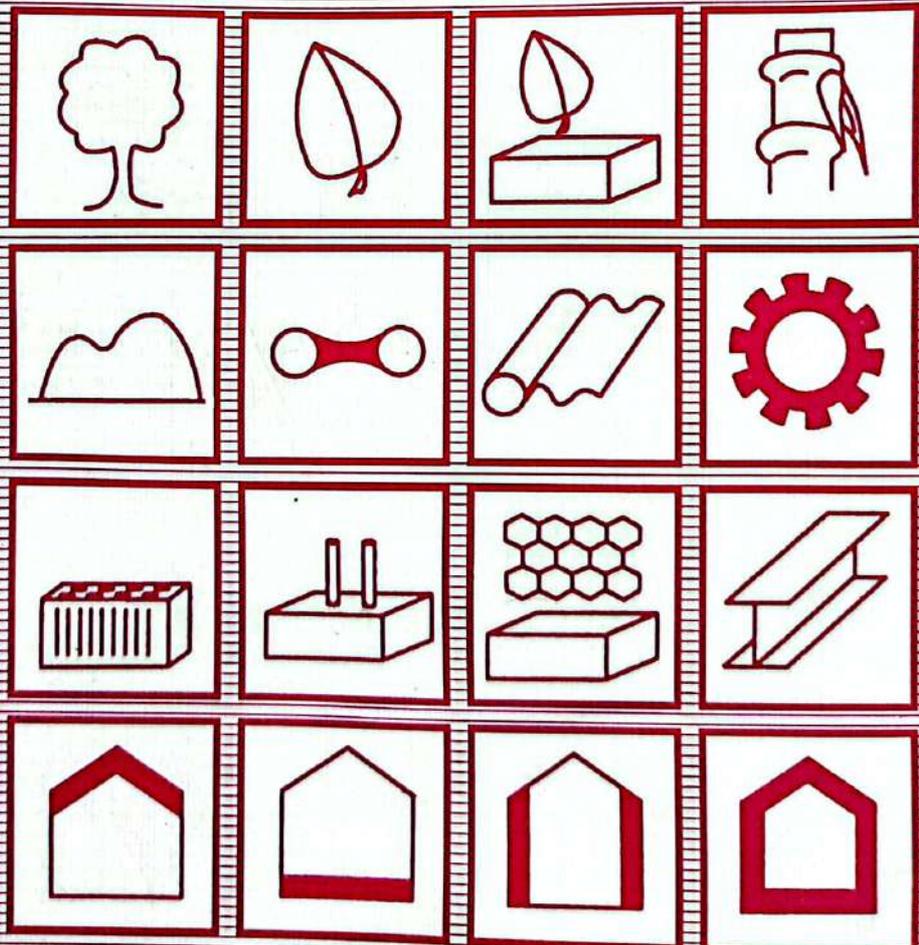
it

gate

Materiales de construcción apropiados

Catálogo de Soluciones Potenciales
Revisado Edición Ampliado

Roland Stulz
Kiran Mukerji



Arg. Héctor Cepeda
Abril 2015

SIGAT

it

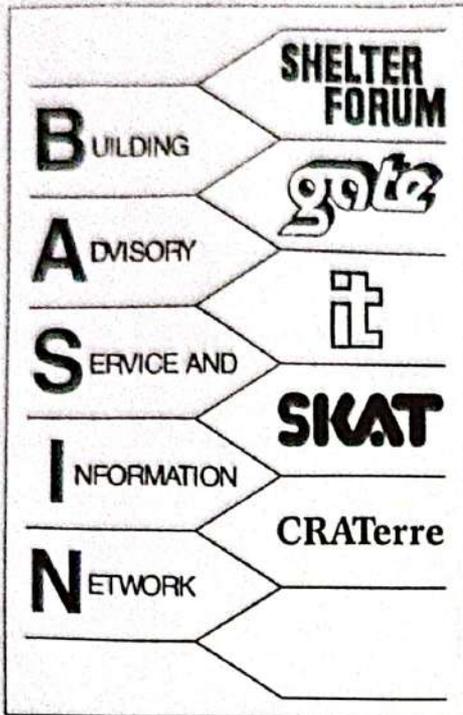
gate

Materiales de construcción apropiados

Catálogo de Soluciones Potenciales
Revisado Edición Ampliado

Roland Stulz
Kiran Mukerji

Primera edición	1981, SKAT
Revisado edición ampliado	1993, SKAT & IT Publications
Autores	Roland Stulz, Switzerland Kiran Mukerji, Germany
Ilustraciones	Kiran Mukerji, Roland Stulz
Traducción	J. Reiser, C. Dominguez
Copyright	SKAT, Switzerland, 1993, 1997
Comentarios	Please send any comments to SKAT Vadianstrasse 42 CH-9000 St. Gallen, Switzerland
Distribución por	IT Publications 103-105 Southampton Row London WC1B 4HH, UK
ISBN	3 908001 55 2



BASIN

Building materials and construction technologies that are appropriate for developing countries, particularly in the low-income sector, are being developed, applied and documented in many parts of the world. This is an important prerequisite for providing safe, decent and affordable buildings for an ever-growing population.

But such new developments can do little to improve the building situation, as long as the information does not reach potential builders. The types and sources of information on standard and innovative building technologies are numerous and very diverse, making access to them difficult.

Thus, in order to remedy this drawback, Shelter Forum, GATE, ITDG, SKAT, CRATerre are cooperating in the Building Advisory Service and Information Network, which covers five principal subject areas and coordinates the documentation, evaluation and dissemination of information.

All five groups have a coordinated database from which is available on Documents, Technologies, Equipment, Institutions, Consultants as well as on Projects and Programs. In addition, printed material or individual advice on certain special subjects is provided on request. Research projects, training programs and other field work can be implemented in cooperation with local organizations, if a distinct need can be identified and the circumstances permit.

BASIN is a service available to all institutions and individuals concerned with housing, building and planning in developing countries, but can only function efficiently if there is a regular feedback. Therefore, any publications, information, personal experiences, etc. that can be made available to BASIN are always welcome and will help BASIN to help others.



Shelter

Advisory Service provided by

SAS/BASIN
Shelter Forum
P.O. Box 39493
22 Chiromo Access Road
Off Riverside Drive
Nairobi, Kenya
Phone: + 254 - 2 - 442108
Fax: + 254 - 2 - 445166
e-mail: itkenya@commsol.sprint.com

SHELTER FORUM

Shelter Forum (SF) is a coalition of non-governmental organizations, which deal with issues on affordable shelter in Kenya. The main goal of SF is to enhance access to affordable shelter for all, particularly the poorest, among whom the most vulnerable are women and children, through advocacy, extension and networking.



Advisory Service provided by

WAS/BASIN
GATE-GTZ
P.O. Box 5180
D-65 726 Eschborn
Federal Republic of Germany

GATE

Phone: + 49 - 6196 - 79 3190
Fax: + 49 - 6196 - 79 7352
e-mail: hannah.schreckenbach@GTZ.de

GATE (German Appropriate Technology Exchange) a programme of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, acts as a centre for the dissemination and promotion of appropriate technologies for developing countries.



Cements and Blenders

Advisory Service provided by

CAS/BASIN
ITDG
Myson House
Railway Terrace
Rugby CV21 3HT
United Kingdom
Phone: + 44 - 1788 - 560631
Fax: + 44 - 1788 - 540270
e-mail: itdg@gn.apc.org

IT

The Intermediate Technology Development Group (ITDG) is an independent British charity, founded by Dr. E.F. Schumacher, author of Small is Beautiful, to help increase the income-generating and employment opportunities of small-scale industrial activities in developing countries.



Roofing

Advisory Service provided by

RAS/BASIN
SKAT
Vadianstrasse 42
CH-9000 St.Gallen
Switzerland

SKAT

Phone: + 41 - 71 - 228 54 54
Fax: + 41 - 71 - 228 54 55
e-mail: info@skat.ch

SKAT (Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management) is a documentation centre and consultancy group which is engaged in promoting appropriate technologies in the Third World.



Earth Building

Advisory Service provided by

EAS/BASIN
CRATerre - EAG
Maison Levrat, Parc Fallavier
BP 53
F - 38092 Villefontaine Cedex
France
Phone: + 33 (0) 474 95 43 91
Fax: + 33 (0) 474 95 64 21
e-mail: craterre-eag.villefontaine@grenoble.archi.fr

CRATerre

CRATerre, the International Centre for Earth Construction, is a specialised unit of the school of Architecture of Grenoble, dedicated to the promotion of earth as a building material.

SISTEMA DE INFORMACION

Sección Introductoria
(páginas blancas)

Como utilizar el Catálogo	!
Contenido	C
Introducción	I

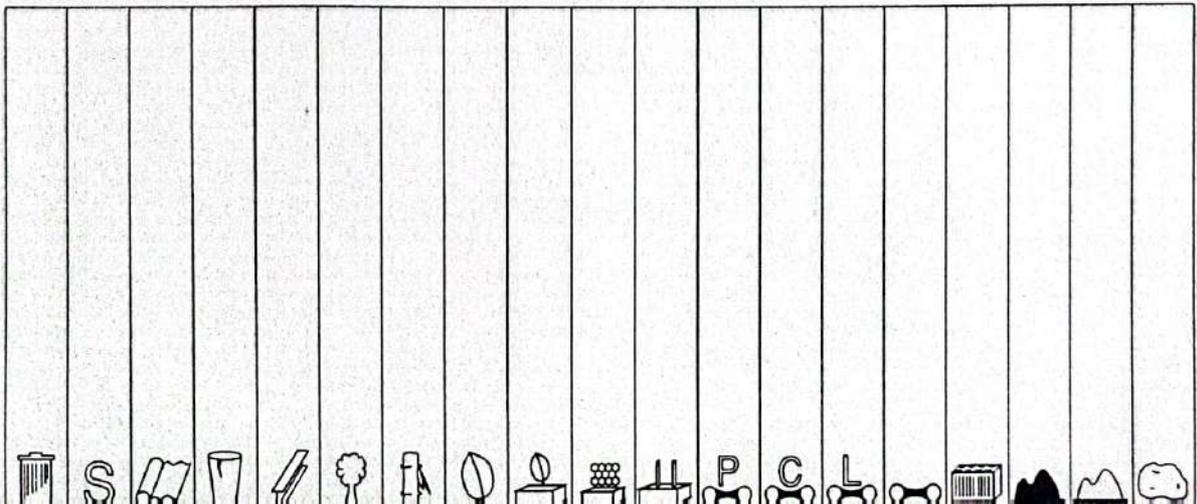
Anexos
(triángulo negro en la parte superior de la página)

Maquinaria y Equipos	
Factores de Conversión	In./cm
Direcciones Utiles	
Bibliografía	
Abreviaturas	
Indexación - Uso	

Elementos para la Construcción
(Información Fundamental: triángulo negro en la parte superior de la página)
(Ejemplos: páginas blancas)

Cimientos	
Pisos y Lozas	
Muros	
Techos	
Sistemas de Construcción	
Medidas Protectoras	

Materiales de Construcción
(Información Fundamental: triángulo negro en la parte superior de la página)
(Ejemplos: páginas blancas)



COMO UTILIZAR EL CATALOGO

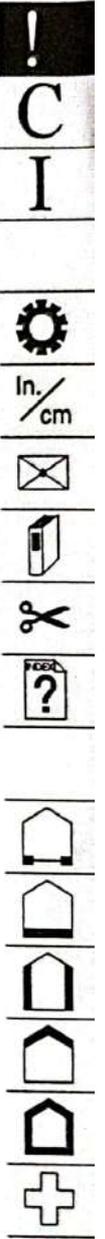
Este catálogo tiene tres partes importantes:

Primera Parte
INFORMACION FUNDAMENTAL
 Esta parte contiene información general sobre las materias primas, el procesamiento y utilización de los **MATERIALES DE CONSTRUCCION**, pautas para diseñar los **ELEMENTOS DE CONSTRUCCION** y consejos prácticos sobre **MEDIDAS DE PROTECCION**

Segunda Parte
EJEMPLOS
 Esta parte es un **CATALOGO** de aplicaciones tradicionales y experimentales de **MATERIALES DE CONSTRUCCION** para cada categoría de los **ELEMENTOS DE CONSTRUCCION**

Tercera Parte
ANEXOS
 Esta parte esta diseñada para facilitar la implementación práctica de las tecnologías presentadas en este catálogo.

La información se puede encontrar de varias formas, como se muestra en el cuestionario siguiente:

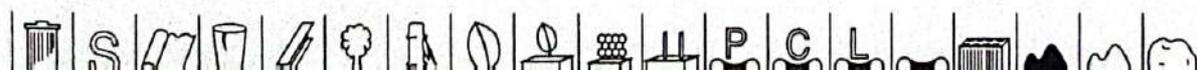


Preguntas	Sección(es) con este (os) signo(s)	Respuestas Bajo estos Encabezados
¿Es adecuada para la construcción la tierra disponible localmente?		Pruebas de laboratorio y de campo.
¿Qué ocurre cuando el cemento se fragua?		Hidratación del cemento.
¿Cuáles son los problemas de emplear el bambú, y cómo se resuelven?		Problemas, remedios.
¿Qué tipo de techo es apropiado para climas cálidos-seco?		Techos para clima cálido-seco.
¿Cómo se hacen los muros de mampostería resistentes a los movimientos sísmicos?		Movimientos Sísmicos: Medidas Protectoras
¿Qué tipos de techos se pueden construir con ferrocemento?	 	Techos de Ferrocemento
¿Cómo se pueden construir casas con bloques de tierra?	 	Bóvedas y cúpulas de ladrillo de barro
¿Dónde se puede obtener información sobre los materiales de construcción en Guatemala?		Guatemala
¿Qué bibliografía se recomienda sobre puzolana?		08. Puzolana
¿Qué se entiende por «pfa» y en qué página se encuentra?		Buscar «P» en abreviatura

Se recomienda a los lectores no emplear este catálogo sin antes haber leído la INTRODUCCION.

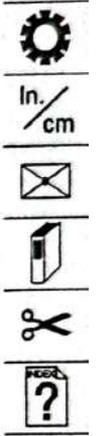
CONTENIDOS

SISTEMA DE INFORMACION	I
COMO UTILIZAR EL CATALOGO	III
CONTENIDOS	V
INTRODUCCION	IX
INFORMACION FUNDAMENTAL SOBRE MATERIALES DE CONSTRUCCION	1
PIEDRA	3
TIERRA, SUELO, LATERITA	7
ESTABILIZADORES	27
PRODUCTOS DE ARCILLA COCIDA	35
AGLOMERANTES	45
CAL	49
CEMENTO	59
PUZOLANAS	63
CONCRETO	69
FERROCEMENTO	75
FIBRA Y MICRO CONCRETO	81
FIBRAS NATURALES, HIERBA, HOJAS	89
BAMBU	93
MADERA	99
METALES	109
VIDRIO	113
PLASTICOS	115
AZUFRE	117
DESECHOS	121
INFORMACION FUNDAMENTAL SOBRE ELEMENTOS DE CONSTRUCCION	131
CIMENTOS	133
PISOS Y ENTREPISOS	139
MUROS	141
TECHOS	147
SISTEMAS DE CONSTRUCCION	153
INFORMACION FUNDAMENTAL SOBRE MEDIDAS DE PROTECCION	155
AGENTES BIOLÓGICOS	157
FUEGO	161
VIENTO Y LLUVIA	163
MOVIMIENTOS SISMICOS	167



EJEMPLOS DE MATERIALES DE CIMENTACION	171
CIMENTOS DE PIEDRA NATURAL	173
CIMENTOS DE TIERRA APISONADA	175
CIMENTOS DE LADRILLOS	177
CIMENTACIONES DE CONCRETO	179
PILOTES DE TIRAS DE BAMBÚ	183
CIMENTACIÓN CON POSTES DE MADERA	185
 EJEMPLOS DE MATERIALES DE PISO.....	 189
PISOS DE TIERRA ESTABILIZADA	191
ELEMENTOS DE BARRO COCIDO Y CONCRETO	193
ENTREPISOS Y CUBIERTAS PREFABRICADAS DE HORMIGON	197
PISOS DE BAMBÚ	201
PISOS DE MADERA	203
PISO DE CONCRETO DE AZUFRE	207
ACABADOS USUALES PARA PISOS	209
 EJEMPLOS DE MATERIALES PARA MUROS Y CERRAMIENTOS	 215
MUROS DE BLOQUES DE PIEDRA	217
MUROS DE TIERRA APISONADO (TAPIAL)	219
MUROS DE BLOQUES DE TIERRA PRENSADA	223
MUROS DE TIERRA REFORZADOS CON BAMBÚ	227
MUROS DE LADRILLO (ARCILLA COCIDA)	231
BLOQUES DE CONCRETO HUECOS	233
MUROS DE BAMBÚ	235
PANELES DE MADERA	237
MUROS DE CONCRETO DE AZUFRE	241
MUROS DE DESECHOS AGRICOLAS	243
 EJEMPLOS DE MATERIALES DE CUBIERTA	 245
TECHO DE BOBINAS DE TIERRA	247
TECHO DE BLOQUES DE TIERRA - CEMENTO	249
TECHOS DE TEJAS DE ARCILLA	251
CONOIDE DE YESO Y FIBRAS DE SISAL	253
TECHO PREFABRICADO DE CANALES DE CONCRETO	255
TECHOS DE FERROCEMENTO	257
SABANAS DE FIBROCEMENTO CORRUGADAS	261
TEJAS DE MICROCONCRETO TMC (MORTERO VIBRADO)	265

TECHOS DE PAJA DE TALLO RIGIDO DURABLES	269
ESTRUCTURAS DE BAMÚ PARA TECHOS	273
ESTRUCTURA DE TECHO DE MADERA ROLLIZA	279
TEJAS DE BAMBÚ Y MADERA	285
CUBIERTA DE PLANCHAS METÁLICAS CORRUGADAS	289
EJEMPLOS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	291
BOVEDAS Y CUPULAS DE LADRILLOS DE BARRO	293
ESTRUCTURAS ASÍSMICAS DE BARRO Y BAMBÚ	297
VIVIENDA DE ADOBE	301
SISTEMA MODULAR DE BLOQUES DE TIERRA ENTRELAZADOS	303
SISTEMA "LOK BILD"	305
SISTEMA DE PREFABRICACION CON PEQUEÑOS	309
PANELES Y COLUMNAS	309
SISTEMA CONSTRUCTIVOS CON FERROCEMENTO	315
SISTEMA CONSTRUCTIVO FIBRACRETO	319
CONSTRUCCIÓN "BAMBOOCRETE"	321
VIVIENDAS DE BAMBÚ	323
CABAÑA PREFABRICADA DE MADERA	331
CASA DE MADERA PREFABRICADA	333
CASAS DE MADERA PARA ZONAS INUNDADAS	335
VIVIENDA PROTOTIPO DE CAL-"RHA"	339
ANEXOS	341
MAQUINARIAS Y EQUIPOS	343
MOLINO DE BOLAS PARA PRODUCIR CEMENTO PUZOLANICO	344
FACTORES DE CONVERSION PARA EL SI DE UNIDADES	369
DIRECCIONES UTILES	375
BIBLIOGRAFIA	399
ABREVIATURAS	427



INTRODUCCION

Propósito de Este Catalogo

El Año Internacional de las Necesidades de Techo (IYSH 1987) fue iniciada por las Naciones Unidas para llamar la atención del mundo sobre la crítica situación existente en las viviendas en los países en desarrollo. Mientras son numerosos los problemas en los aspectos político, social y económico, también existe una gran necesidad por soluciones técnicas apropiadas, y es sobre esto que trata el libro.

Hoy en día se encuentra disponible información suficiente sobre materiales y tecnologías de construcción para los países en desarrollo, pero son muy pocas las personas y en menor medida los constructores de casas locales que tienen acceso a esta información. Es por ello que este catálogo ha sido preparado para arquitectos e ingenieros, instituciones educativas y científicas, productores y suministradores de materiales de construcción, y para todos aquellos, que practiquen la construcción de viviendas de bajo costo en todo el mundo.

El propósito de este catálogo es:

- Resumir datos técnicos e información práctica de gran número de publicaciones, permitiendo al lector identificar soluciones apropiadas para, casi, cualquier problema de construcción en viviendas de bajo costo en países en desarrollo, sin tener que estudiar libros voluminosos, los cuales se incrementan cada año.
- Registrar métodos y materiales tradicionales, así como métodos que aún se encuentran en estado experimental, pero que son prometedores en el futuro.
- Proporcionar información teórica básica, unida con numerosos ejemplos prácticos sobre el uso de materiales de construcción, los cuales unidos seguramente generará ideas para una serie de nuevos métodos de

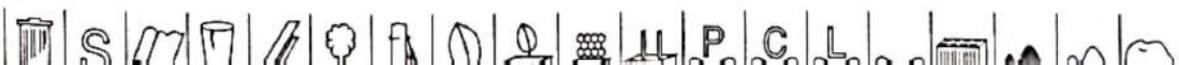
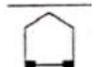
construcción, con una visión de reducción de costos, tiempo, energía, desechos y contaminación.

- Contribuir al intercambio de información y experiencia a nivel mundial entre todas las personas involucradas en la investigación, desarrollo e implementación de construcciones de viviendas más apropiadas en los países en desarrollo.

Selección de Materiales de Construcción Apropriados

No podemos generalizar la característica de "apropiado" de algún material o tecnología de construcción. Las siguientes preguntas muestran los principales factores que determinan la calificación de apropiado:

- ¿El material se producen localmente o es parcial o totalmente importados?
- ¿Es barato, se encuentra en abundancia y/o es fácilmente renovable?
- ¿Se produce en una fábrica lejana (costos de transporte); requiere equipo y máquinas especiales, o puede ser producido a bajo costo al pie de la obra? (La buena calidad y durabilidad a menudo son más importantes que un costo inicial bajo).
- ¿Su producción y uso requiere de un gran consumo de energía, y causa desechos y contaminación? ¿Existe un material alternativo aceptable que elimine estos problemas?
- ¿El material y la técnica de construcción son aceptables climáticamente?
- ¿Los materiales y la técnica de construcción proporcionan suficiente seguridad contra los peligros naturales comunes (por ejemplo, fuego, agente biológicos, lluvias fuertes, huracanes, movimientos sísmicos)?



- ¿Los materiales y la tecnología pueden ser utilizados y entendidos por los trabajadores locales, o se requiere de especialización y experiencia?
- ¿Es posible realizar reparaciones y cambios con los medios locales?
- ¿El material es socialmente aceptable? ¿Es considerado de baja categoría u ofende alguna creencia religiosa? ¿Es compatible con los materiales y las construcciones de edificaciones cercanas?

Nota Importante:

Se pide que los lectores tengan en cuenta los siguientes puntos:

- Pese a que un objetivo importante en la elaboración de este manual ha sido el hacerlo tan exhaustivo como fuera posible, no puede considerarse completo y no representa un análisis científico de la tecnología constructiva.
- Toda la información técnica que se encuentra en este manual fue tomado de las publicaciones y de las hojas de datos de los productores. Por ello, ninguno de los autores o editores puede ser responsables de cualquier imprecisión.
- Los elementos y la información general de los materiales de construcción presentada en este manual ha sido tratado principalmente dentro del contexto de construcción de bajo costo de uno o dos pisos. La construcción de multi-planta requiere de cuidado considerables en la estructura y se recomienda la asesoría de expertos.
- Una vivienda no puede ser construida sin contar con los conocimientos fundamentales de materiales de construcción y construcciones. Desafortunadamente, los materiales y las tecnologías de construcción apropiados son considerados generalmente demasiado simples y pueden ser manejados por personas sin especialización o entrenamiento. Los deficientes resultados -e incluso las fallas- han generado una gran crítica y han generalizado la creencia que las tecnologías apropiadas son "tecnologías inferiores". Por ello, es importante enfatizar que un material que ha fallado o se ha comportado pobremente no era evidentemente apropiado para esa aplicación en particular, o ha sido producido y empleado incorrectamente.

Los materiales de construcción que son producidos con tecnologías apropiadas, por esta razón, tiene que ser preparados y utilizados con el mismo conocimiento y cuidado que un producto de alta tecnología.

Agradecimientos

Muchos lectores a las ediciones anteriores de este libro enviaron útiles comentarios y sugerencias que han influenciado enormemente en el trabajo de esta nueva edición. Los autores están extremadamente agradecidos por todas las problemas tomados para comunicarnos tan valiosa información y esperan que esta nueva edición genere una respuesta similar.

Los autores agradecen sinceramente a SKAT, ITDG y GATE por su apoyo y cooperación, y particularmente por su comprensión y paciencia, ya que la preparación de este libro tomó más tiempo de lo esperado. Especiales agradecimientos a Hannah Schreckenbach de GATE a sus comentarios y sugerencias detalladas, y por proporcionar muchas ilustraciones útiles.

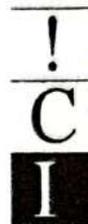
Los autores están profundamente agradecidos a los expertos internacionales que generosamente proporcionaron información y material ilustrativo, así como comentarios, sugerencias y consejos técnicos. No es posible incluir todos los nombres, pero debemos mencionar a Victor Beck (SKAT, St. Gallen), Lilia Casanova (RENAS-BMTCS, Manila), Profesor Lutz Christians (TU Berlin), Thomas Gieth (CTA, Asunción), Nicolas Hall (Londres), Urs Heierli (SDC, Dhaka), Neville Hill (TERRE, Portsmouth),

Hugo Houben (CRATerre, Villefontaine), Carlos Lola (ATI, Washington, D.C.), Kosta Mathey (TRIALOG, Munich), G.C. Mathur (NBO, Nueva Delhi), Profesor Gernot Minke (Gh Kassel), John Norton (DW, Fumel), Alvaro Ortega (Montreal), John Parry (ITW, Cradley Heath), Helmut Stiehler (GATE, Eschborn), Klaus Vorhauer (Karlsruhe), Wolfgang Willkomm (Hanover), Werner Wilkens (DESWOS, Cologne), Ad Wouters (CICAT, Delft).

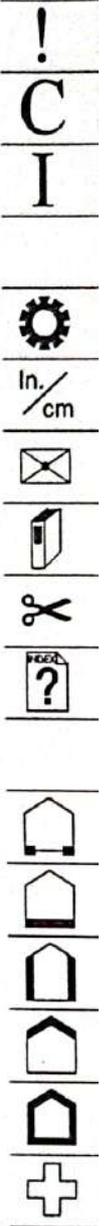
Las fuentes de información y de las ilustraciones han sido mencionadas cuando ha sido relevante. Las ilustraciones que no indican fuente pertenecen a los autores.

Los autores dan un agradecimiento especial a la Human Settlements Units de ESCAP/UNIDO Division of Industry, Human Settlements and Technology, a cuya solicitud Kiran Mukerji realizó una investigación sobre materiales y tecnologías de construcción en diez países asiáticos (Enero a Abril de 1987), por su autorización de usar parte del material recopilado durante la misión.

Y finalmente, un agradecimiento a César Dominguéz (Perú), por el apoyo en la traducción y preparación de esta edición en español, a Jorge Acevedo y Rubén Bancroff (Cuba), por la revisión de los originales traducidos al español.



INFORMACION FUNDAMENTAL SOBRE MATERIALES DE CONSTRUCCION



PIEDRA

Generalidades

La piedra natural es quizás el material de construcción más antiguo, abundante y duradero, se encuentra predominantemente en zonas montañosas. Varios tipos y formas de piedra natural también pueden procesarse para producir otros materiales de construcción.

Las principales rocas utilizadas en la construcción se dividen en tres categorías geológicas:

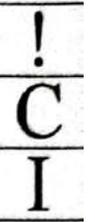
1. Rocas Igneas: generalmente cristalinas, formadas por el enfriamiento del magma fundido expulsado a través de las grietas de la corteza terrestre durante las erupciones volcánicas. Es por ésto que no pueden contener fósiles o caracoles. Los ejemplos más comunes: granito y piedras volcánicas.
2. Rocas Sedimentarías: comúnmente se encuentran en estratos, formadas por la desintegración y descomposición de las rocas ígneas debido al intemperismo (agua, viento, hielo), o por la acumulación de origen orgánico. Los ejemplos mas comunes: arena y piedra caliza.
3. Rocas Metamórficas: son rocas sedimentarías o ígneas transformadas estructuralmente, como consecuencia de altas temperaturas y elevadas presiones. Los ejemplos más comunes: pizarras (derivado de la arcilla), cuarcitas (de la arenisca) y mármol (de la piedra caliza).

La extracción de rocas es posible con herramientas simples, como perforadoras, cuñas y martillos, pero es esencial tener conocimiento y experiencia para asegurar cortes precisos. Las rocas duras, como el granito, requieren de un equipo mecanizado más sofisticado. La piedra natural puede ser utilizada directamente de la cantera, esto es, con su forma irregular, o se les puede dar forma con máquinas o herramientas sencillas, dependiendo del acabado

de la construcción. El material puede emplearse completamente, sin desechos.

Aplicaciones

- Piedra bruta para cimientos, pisos, muros, o en estructuras de techos planos en voladizo, en todos los casos con o sin mortero.
- Sillar (piedra cuadrada o con forma) para obras de albañilería de formas regulares, antepechos de ventanas, dinteles, gradas y pavimentos.
- Piedra impermeable (por ejemplo, granito) como barreras impermeables; también como enchapados del exterior de muros, aunque menos adecuado para construcciones de bajo costo:
- Pizarras para techos.
- Grava y fragmentos de roca como áridos para concreto y terrazo.
- Granulados para superficie de protección de filtros asfálticos.
- Polvos para pintura.
- Piedra caliza para la producción de cal y cemento.

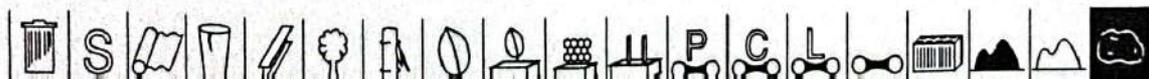
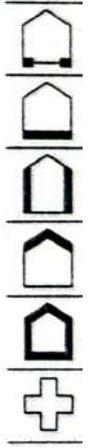
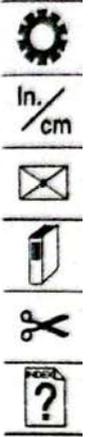


MATERIALES DE ROCA Y APLICACIONES EN CONSTRUCCION
(por las Naciones Unidas: Roca en Nepal, 1997)

Tipos	Caliza	Arenisca	Granito
<i>Uso</i>	Muros y enchapados		Muros, zócalos enchapados, revestido y gradas
<i>Composición</i>	Carbonato de calcio	Hay cuarzo en todos, granitos de feldespato y mica en algunos. Aleado con sílice y carbonato de calcio	Principalmente feldespato, cuarzo y mica.
<i>Método de Producción</i>	Extraído de la cantera, cortado al tamaño (mampostoria y aserrado), acabado según se pida, por ejem., según modelo, roca labrada, puntiaguda, piqueteado fino, raspado, cascarón o pulido.		
<i>Peso Especifico Kg/m³</i>	1900-2700	1950-2550	2400-2900
<i>Resistencia a la Compresión MN/m²</i>	29-59	21-105	90-146
<i>% de absorción de agua</i>	2.5-11	2-8.5	0.1-0.5
<i>Grado de Combustibilidad</i>	Todos no son combustibles		
<i>% Expansión de la Humedad</i>	Aprox. 0.01	0.07	Ninguno
<i>Reacción química</i>	Atacado por ácidos	Resistente a muchos ácidos excepto los tipo calcáreo	Resistente a muchos productos químicos.
<i>Resistencia a efectos de sales solubles</i>	Escaso a muy bueno	Escaso a bueno	Escaso a bueno
<i>Coefficiente de Expansión Térmica (por °C aproximaciones)</i>	4 x 10 ⁻⁶	12 x 10 ⁻⁶	11 x 10 ⁻⁶
<i>Conductividad térmica (W/m. °C aproximaciones)</i>	1.5	1.5	3.0
<i>Resistencia al hielo</i>	Escaso a muy bueno	Escaso a excelente	Bueno a excelente
<i>Durabilidad</i>	Depende del comportamiento térmico, resistencia a productos químicos y la aplicación en la construcción.		
<i>Facilidad de trabajo</i>	Fácil a poco trabajable	Poco trabajable	Poco trabajable
<i>Propensión a ensuciarse</i>	Llega a mancharse en áreas urbanas		Resistente a mancharse
<i>Facilidad de limpieza</i>	Fácil de limpiar	Difícil de limpiar	Difícil de limpiar

Marmol	Pizarra	Cuarcitas
Contorno de ventanas, pisos y gradas	Enchapado de vigas, albardilla de gradas y pavimento	Zócalo enchapado, pisos, pavimentos y gradas
Principalmente Carbonato de calcio	Principalmente sílice, óxidos de aluminio y hierro	Principalmente cuarzo
Igual que la caliza, arenilla y granito		Acabado natural, rajado
2725-2900	2400-2900	Aprox. 2600
Aprox. 60	75-200	Aprox. 100
0.1-0.5	0.1	0.1-0.5
	Despreciable	
Atacado por ácidos	Principalmente resistente a ácidos	Resistente a muchos ácidos.
Bueno	Bueno	Bueno
4 x 10-6	11 x 10-6	11 x 10-6
2.5	1.9	3.0
Bueno a excelente	Bueno a excelente	Bueno a excelente
Depende del comportamiento térmico, resistencia a productos químicos y la aplicación en la construcción.		
Difícil de trabajar	Poco trabajable	Poco trabajable
Bastante resistencia a mancharse	Resistente a mancharse	
	Difícil de limpiar	

!
C
I



Ventajas

- Disponible en abundancia y fácilmente accesible en zonas montañosas; la extracción generalmente requiere bajos costos de inversión y consumo de energía.
- La mayoría de las variedades de piedra son muy resistente y durable; los requerimientos de mantenimiento son despreciables.
- La impermeabilidad de gran parte de las variedades de piedra, proporciona una buena protección contra la lluvia.
- Climáticamente apropiada en zonas áridas y de la sierra, debido a la alta capacidad térmica de la roca.

Problemas

- Deterioro como resultado de la contaminación atmosférica, por ejemplo cuando los compuestos de azufre disueltos en el agua de lluvia producen ácido sulfúrico, el cual reacciona con el carbonato en la roca caliza, causando descascaramientos y burbujas de aire.
- Eflorescencia y cuarteado causado por ciertas sales y espuma del mar.
- Daños debidos a los movimientos térmicos de algunas piedras, especialmente cuando están rígidamente fijos a materiales con movimiento térmico diferenciado, por ejemplo concreto.
- Daños superficiales debido al agua, que disuelve lentamente a la piedra caliza; y/o por un continuo humedecimiento y secado en ciertas areniscas; o por el congelamiento del agua atrapada en las grietas.
- Poca resistencia a los movimientos sísmicos, por lo que hay la probabilidad de destrucción y dañar a los habitantes.

Soluciones

- Evitar la utilización de rocas caliza y areniscas calcáreas cerca a las fuentes de contaminación atmosférica, por ejemplo en donde se emite dióxido de azufre (del quemado de carbón de piedra y petróleo).
- Evitar tratamientos en la superficie en donde se adhieren las sales; limpiar ocasionalmente las piedras afectadas con una esponja, ayuda a retirar las sales especialmente en áreas costeras.
- Construcción de juntas de dilatación para acomodar las diferencias entre los movimientos térmicos de los materiales adyacentes.
- Construcción de detalles que permitan retirar el agua por evaporación o desagüe; para evitar daños de heladas o la destrucción de la roca caliza por la acción química del agua.
- Realizar un cuidadoso diseño de la construcción, especialmente con refuerzos en las esquinas, viga de amarre, etc., en áreas propensas a movimientos sísmicos; evitar especialmente para bóvedas de piedra o techos en voladizo.

TIERRA, SUELO, LATERITA

Generalidades

Cuando nos referimos a tierra o suelo en construcción, ambos términos son el mismo material. El barro es una mezcla de suelo húmedo, plástico, con o sin aditivos, que es empleado para hacer bloques de barro (adobe) o muros monolíticos de barro (tapial).

Tierra

La tierra es el material suelto que resulta de la transformación de la roca matriz subyacente por la más o menos interacción simultánea de factores climáticos (sol, viento, lluvia, helada) y cambios químicos, provocados por agentes biológicos (flora y fauna) y la migración de sustancias químicas a través de la lluvia, helada) y cambios químicos, provocados por agentes biológicos (flora y fauna) y la migración de sustancias químicas a través de la lluvia, evaporación, agua subterránea y de la superficie.

Laterita

De los diversos tipos de tierra que se forman en los trópicos y sub-trópicos, la laterita es de especial interés para la construcción. Estas son tierras altamente expuestas a la intemperie, que contienen grandes proporciones, aunque extremadamente variables, de óxidos de hierro y aluminio, así como cuarzo y otros minerales. Estos se encuentran abundantemente en trópicos y sub-trópicos, aparecen bajo grandes praderas o en claros de bosque en regiones lluviosas. Los colores pueden variar desde ocre hasta rojo, marrón, violeta a negro, dependiendo grandemente de la concentración de óxido de hierro.

Las características especiales de lateritas, que las diferencian de otras tierras son:

- Las tierras blandas tienden a endurecerse expuestas al aire, por lo cual los bloques son cortadas tradicionalmente in situ (por ejemplo, en la India), son dejados para endure-

cer y luego utilizados en construcción de muros de mampostería (por ello el nombre fue derivado de la palabra "later", palabra en latín de "ladrillo").

- Mientras más oscura sea la laterita, será más dura, pesado y resistente a la humedad.
- Se ha encontrado que algunas lateritas tienen una reacción puzolánica cuando son mezcladas con cal (la cual se explica por el alto contenido de arcilla), produciendo materiales de construcción duros y durables (por ejemplo, bloques estabilizados).

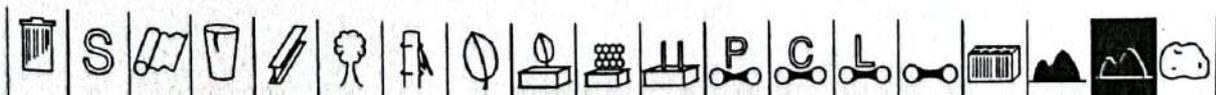
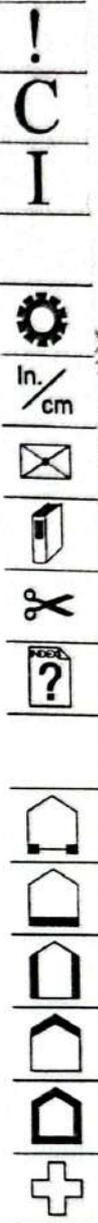
Sin embargo, independientemente del tipo de tierra, éste siempre se compone de partículas de diferentes tamaños y naturaleza, como se resume en el siguiente cuadro.

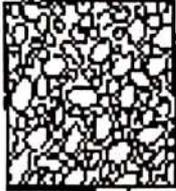
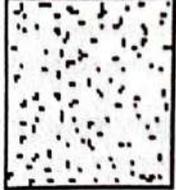
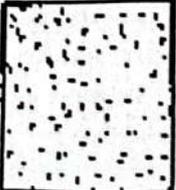
Además de las partículas sólidas, el suelo también contiene:

- Aire, que es un factor debilitador y no deseable en la construcción de edificaciones, ya que también contiene microorganismos y vapor de agua, los cuales pueden deteriorar los componentes de la edificación.
- Agua, sin la cual la tierra no puede ser utilizada en la construcción, pero puede contener sustancias disueltas (sales) que podrían crear problemas.

La mayoría de suelos son adecuados para utilizarlos como material de construcción, sin embargo en algunos casos, se requiere aumentar o retirar ciertos elementos para mejorar su calidad. Algunas pruebas deben ser llevadas a cabo para identificar las características de la tierra y sus propiedades para la construcción de edificaciones. Los procedimientos se describen bajo el título *Ensayos de Suelo*.

Debe enfatizarse, contrario a la creencia común, que la construcción con tierra no es una tecnología simple. El sólo hecho que nativos



<i>Material</i>	<i>Característica</i>	<i>Tamaño de Partículas</i>	<i>Descripción</i>
Grava		60 a 2 mm.	Piezas gruesas de rocas como granito, caliza, mármol, etc., de cualquier forma (redonda, plana, angular). La grava forma el esqueleto del suelo y limita su capilaridad y contracción.
Arena		2 a 0.06 mm (los granos más pequeños pueden ser distinguidos a simple vista)	Partículas compuestas principalmente de sílice o cuarzo; la arena de playa contiene carbonato de calcio (fragmentos de conchas). Los granos de arena tienen poca cohesión en la presencia de agua, y limita la dilatación y contracción.
Limo		0.06 a 0.002 mm	Física y químicamente igual que la arena, sólo que es más fino. El limo le da a la tierra estabilidad al incrementar su fricción interna, y lo mantiene unido cuando está húmedo y comprimido.
Arcilla		Más pequeño que 0.002 mm. (2 u)	La arcilla resulta de la erosión química de las rocas, principalmente silicatos. Las partículas de silicato de aluminio hidratado son láminas delgadas de superficie específica extremadamente grande, causando una fuerte cohesión en presencia del agua, también excesiva dilatación y contracción.
Coloides		Más pequeño que 0.002 mm (2 u)	Son partículas finas resultantes de la descomposición de minerales y materia orgánica (la arcilla es el principal coloide mineral), formando una sustancia gelatinosa.
Materia Orgánica		Varios mm a varios cm	Son microgranos y fibras resultantes de la descomposición de plantas y fauna del suelo. Tiene una estructura esponjosa y fibrosa y tiene un olor a madera húmeda en descomposición.

de algunos países han estado construyendo sus viviendas con tierra hace miles de años no significa que la tecnología está suficientemente desarrollada o que es conocida por todos. Es la falta de experiencia la que verdaderamente origina construcciones pobres, lo cual a su vez da mala reputación al material. Sin embargo, con alguna guía, cualquiera puede aprender a construir satisfactoriamente con tierra, y así renovar la confianza en uno de los materiales de construcción más antiguo y más versátil.

Aplicaciones

Las construcciones de tierra se encuentran en todas partes del mundo, aunque en menor medida en áreas extremadamente lluviosas.

Las edificaciones pueden consistir totalmente o parcialmente de tierra, dependiendo de su localización, clima, grado de capacitación, costo y uso de la edificación. La construcción puede ser monolítica o hecha de varios componentes (ladrillos, enlucidos, relleno).

En áreas donde hay una gran variación de la temperatura diurna (zonas áridas o serranía) los muros y los techos son preferentemente más gruesos que en climas más uniformes (zonas húmedas), donde la necesidad de materiales de alta capacidad térmica es menor.

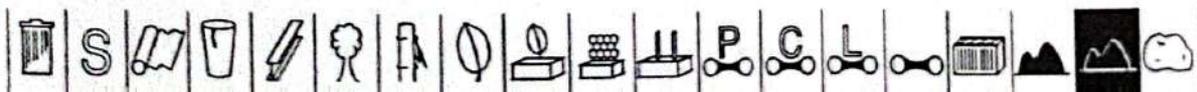
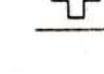
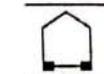
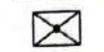
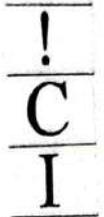
La tierra puede ser utilizado en todas las partes principales del edificio:

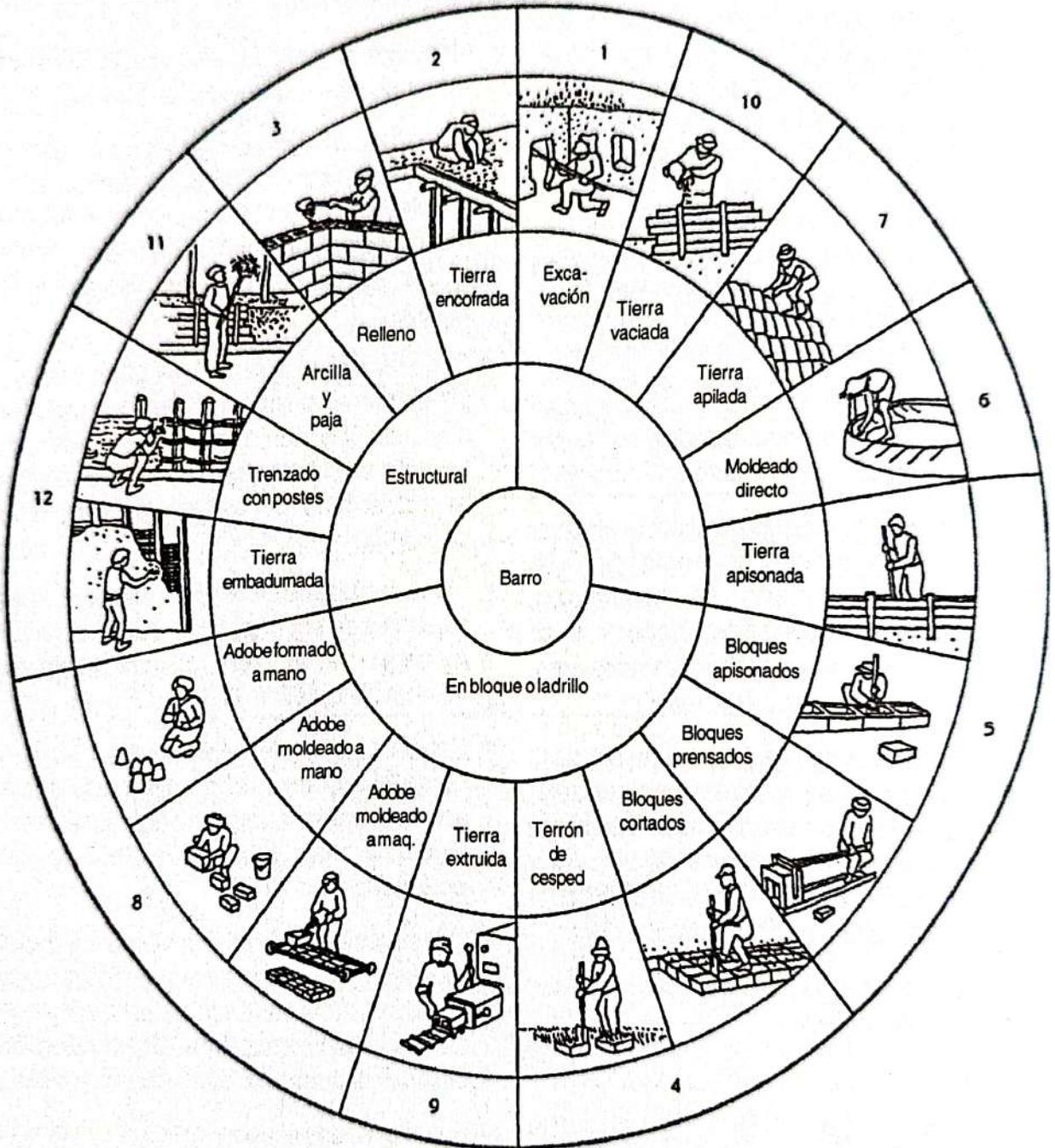
Cimientos

- Variedades duras de laterita, con una buena granulometría (arena y grava), ligeramente compactada, para edificios pequeños en regiones secas.
- Laterita similar como árido para concreto.
- Adobes estabilizados secados al aire, con 10% de contenido de cemento, asentado en mortero de laterita-cemento, sólo en regiones secas.

Muros

- Base igual que para los cimientos.
- Moldeado directo, sin encofrado, sólo presionando tierra húmeda con la mano.
- Construcción de tierra apisonada presionando ligeramente suelo humedecido en los encofrados (similar al concreto) para muros monolíticos. Estabilización con paja, cemento, cal, asfalto, estiércol, etc., según se requiera.
- Construcciones con arcilla y paja, similar a las de tierra apisonada, pero con paja (de cualquier tipo) como principal ingrediente y la arcilla como el aglomerante. (Buen aislamiento térmico, por ejemplo para regiones de sierra).
- Tierra embadurnada aplicada sobre una superficie de soporte, por ejemplo marco de madera o bambú trenzado con paja o con mimbre (entretejida y embadurnada).
- Construcciones de mampostería, utilizando bloques de barro (adobe) secado al aire asentados en mortero de barro (añadiendo algo de arena). Requiere de enlucido para protegerlo de la lluvia.
- Construcciones de mampostería, utilizando bloques comprimidos de suelo estabilizado secado al aire, asentados en mortero de suelo-cemento o suelo-cal. En áreas de lluvias moderadas, no requiere de enlucido.
- Enlucidos, empleando suelo con o sin aditivos, tales como aglomerantes (cemento, cal, yeso), agentes impermeabilizantes (asfalto, extractos de plantas, productos químicos), material fibrosos (fibras de plantas o animales, estiércol), o utilizando sencillamente estiércol.





Diferentes métodos de construcción con tierra (Bibl. 02.19)

- Pinturas basadas en mezclas de suelo.

Pisos

- En áreas razonablemente secas, con un buen drenaje ada con grava pequeña y una capa de arena, la capa de la superficie hecha de tierra limosa, mezclado con 5% de aceite de linaza y compactado con pisón o vibrador.
- Como el anterior, pero con capa superficial de tejas o ladrillos estabilizados, tendidos sobre un lecho de arena y unidos con mortero de tierra-cemento.
- Pisos de casas rurales tradicionales (Asia, Africa) hechos de tierra o piedra compactada y alisado con una mezcla de tierra y estiércol, o sólo estiércol (para resistir la erosión, grietas e insectos).
- Otros endurecedores de superficies: orina de animal (caballo) mezclada con cal, sangre de buey mezclada con cenizas y escorias trituradas, cola animal, aceites vegetales, hormigueros pulverizados, conchas trituradas, ciertos silicatos y otros productos sintéticos.

Techos

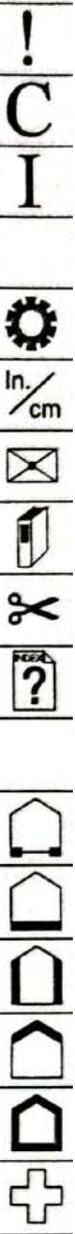
- Techos planos tradicionales con subestructuras de madera cubierta con tierra (igual que para los muros de tierra apisonada) y bien compactado, sólo es conveniente para regiones secas.
- Rollos de fibra-suelo colocados húmedos entre las correas de madera, en techos planos o inclinados, nivelados con un enlucido de fibra-tierra y cubierto con fieltro asfáltica o capa de asfalto; no se recomienda en áreas propensas a termitas.
- Tejado cubierto con hierba, requieren de una membrana impermeable y antiraíces, grava para desaguar el agua y ventilar las

raíces, y una capa de tierra sobre la cual crezca la hierba que proporciona un clima interior favorable así como aire purificado; adecuado para todos los climas.

- Bóvedas y cúpulas de adobes, construidas con o sin encofrado, de modo que cada ladrillo descansa sobre la capa anterior pasando los esfuerzos de comprensión por una línea curva, dentro del espesor de la estructura; esta es una construcción tradicional en la mayoría de regiones áridas y semi-áridas.

Ventajas

- Abundante en la mayoría de las regiones,
- Por lo tanto, de bajo costo (principalmente conformado por la excavación y transporte) o sin costo, si se encuentra en el lugar de la obra.
- Fácil de trabajar, generalmente sin equipo especial.
- Adecuado como material de construcción, en la mayoría de las partes de una edificación.
- Resistente al fuego.
- Buen comportamiento climático en la mayoría de las regiones, debido a la alta capacidad térmica, baja conductividad térmica y porosidad, aminorando las temperaturas ambientales extremas y manteniendo un satisfactorio equilibrio de la humedad.
- Bajo consumo de energía al procesar y manipular la tierra no estabilizado, requiriendo sólo el 1% de la energía necesaria para fabricar y procesar la misma cantidad de concreto de cemento.
- Reciclado ilimitado de la tierra no estabilizado (esto es reciclado de las edificaciones demolidas).



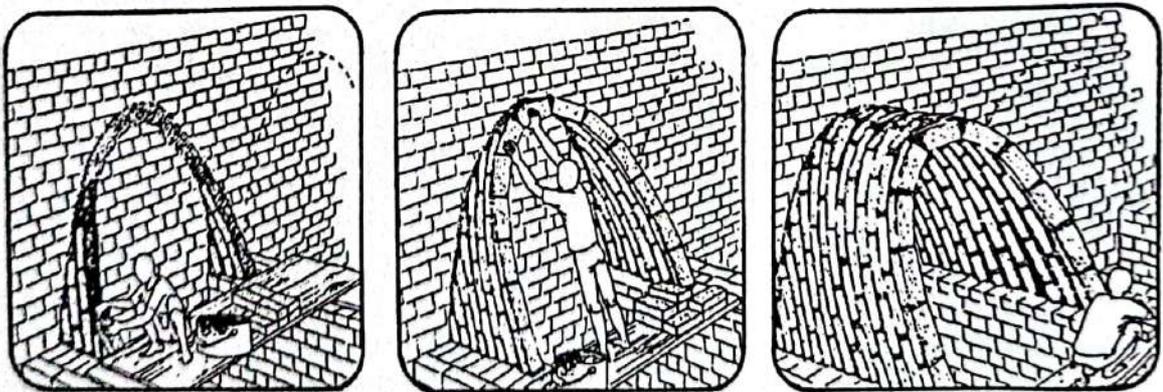
- Ambientalmente apropiado (se emplea recursos ilimitados en estado natural, no contamina, consumo de energía despreciable, no se producen desperdicios).
- Como consecuencia de estas desventajas hay escasez de aceptabilidad institucional en la mayoría de los países, por lo cual generalmente no existen estándares de construcción y comportamiento.

Problemas

- Excesiva absorción de agua del suelo no estabilizado, lo que causa grietas y deterioro por el frecuente humedecimiento y secado (dilataciones y contracciones) así como debilitamiento y desintegración por lluvias e inundaciones.
- Poca resistencia a la erosión y a los impactos, cuando no esta suficientemente estabilizado o reforzado, hay un rápido deterioro debido al constante uso y existe la posibilidad de penetración de roedores e insectos.
- Baja resistencia a la tracción, lo cual hace a las estructuras de tierra susceptible a destruirse durante los movimientos sísmicos.
- Poca aceptabilidad entre la mayoría de grupos sociales debido a los numerosos ejemplos de estructura de tierra mal construidas y sin mantenimiento, generalmente casas de personas sin recurso por lo cual la tierra esta calificado como "material de pobres".

Soluciones

- Se puede evitar la absorción excesiva del agua seleccionando el tipo más apropiado de tierra y/o corrigiendo la distribución de los tamaños de las partículas; también añadiendo un estabilizador adecuado y/o un agente impermeabilizante; una buena compactación; y lo más importante, con un buen diseño y tomando las medidas protectoras.
- La resistencia a la erosión y al impacto generalmente es mejorada con las mismas medidas indicadas arriba; sin embargo, con los agentes impermeabilizantes no necesariamente implica obtener una mayor resistencia; por ello podrían necesitarse aditivos especiales y tratamientos superficiales.
- Las construcciones de tierra en zonas sísmicas requieren de un diseño cuidadoso para minimizar el efecto de las fuerzas des-



Construcción de una Bóveda de Adobe (Bibl. 00.56)

tractoras, pero también el empleo de materiales adicionales que tengan alta resistencia a la tracción (especialmente para refuerzos).

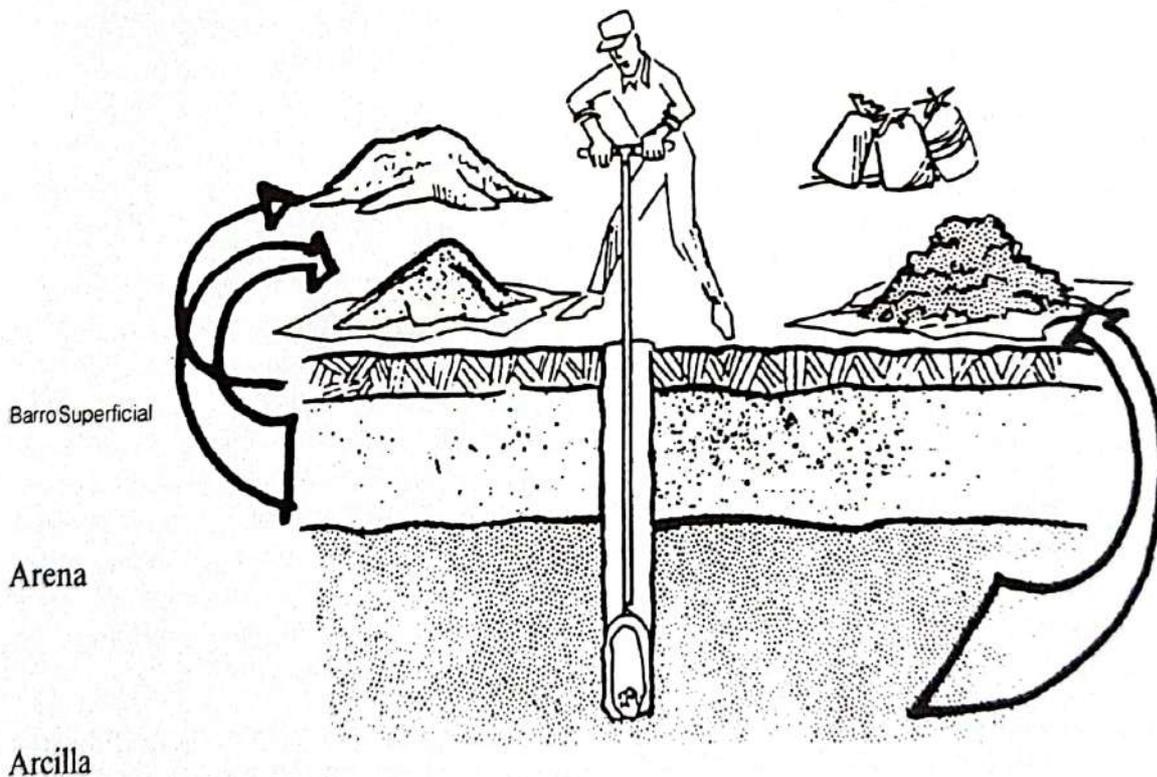
- Construir importantes edificios públicos y viviendas de alta categoría con tierra pueden ser demostraciones convincentes de las ventajas de esta tecnología para mejorar así la aceptabilidad.
- Eliminando las principales desventajas, se puede sobrellevar la escasez de aceptabilidad institucional. Debido a la importancia del material, los métodos de ensayo y mejoramiento para construcciones de edificaciones con tierra son tratados con mayor detalle.

Ensayo de Suelo

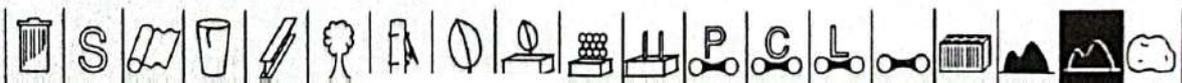
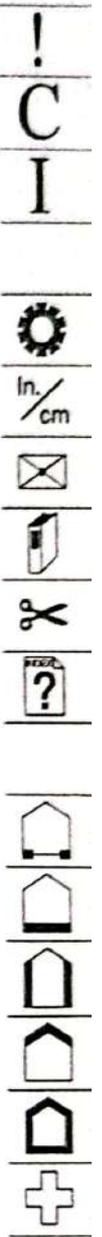
Aunque el propósito sea construir una vivienda individual o establecer una unidad de producción de bloques de suelo estabilizado, es esencial probar el suelo empleado no sólo al comienzo sino a intervalos regulares o cada vez que se cambia el lugar de la excavación, ya que el tipo de barro puede variar considerablemente incluso dentro de un área pequeña.

Básicamente hay dos tipos de ensayos:

- Ensayos indicadores o de campo, que son relativamente simples y rápidas,
- Ensayos de laboratorio, que son más sofisticadas y requieren tiempo.



Extracción de Muestras de suelo con un Taladro (Bibl. 02.10)



En ciertos casos, la identificación empírica del suelo puede ser suficiente para pequeñas operaciones, pero normalmente son indispensables algunos ensayos indicadores. Estos proporcionan información valiosa sobre la necesidad de realizar ensayos de laboratorio, especialmente si los ensayos de campo dan resultados contradictorios. No se necesitan realizar todos los ensayos pues esto puede ser tedioso, sólo aquellos que dan una visión clara de las muestras, para excluir aquellas muestras con deficiencias. No sólo es necesario obtener un material de calidad óptima, sino economizar costos, materiales, estabilizadores, consumo de energía y de mano de obra.

Debemos enfatizar que la identificación del suelo por sí sola no nos asegura un empleo correcto en la construcción o una utilización correcta. Las pruebas también son necesarias para evaluar el comportamiento mecánico del material de construcción.

Recolección de Muestras

- Es mejor excavar el suelo directamente en el lugar de la obra y hacer varios huecos en una área suficientemente grande que nos proporcione todo la tierra requerida.
- Primero, se retira la capa vegetal que contiene materia vegetal y organismos vivos (inadecuado para construcción).
- Luego se toman la muestra de suelo de una profundidad de aproximadamente de 1.5 m. para excavación manual, o de 3 m. si una máquina será utilizada para realizar el trabajo.
- Para extraer muestras de diferentes profundidades se emplea un aparato especial, una barrena. Cada tipo de suelo diferente es puesto en un montón distinto.

- Deberá registrarse en etiquetas adheridas a cada saco de suelo tomado para ensayar, el espesor de cada capa de suelo, su color y tipo, así como una descripción exacta de la ubicación del orificio de extracción.

Ensayos Indicadores o de Campo

La implementación de estos ensayos sencillos preferentemente deberían *seguir el orden presentado aquí.*

Prueba de Olfato

Equipo: Ninguno

Duración: Algunos minutos.

Inmediatamente después de extraer el suelo, debe olerse, para detectar materia orgánica (olor mohoso o rancio que se vuelve más fuerte al humedecerse o calentarse). Los suelos que contienen materia orgánica no deben emplearse o ensayarse más.

Prueba de Tacto

Equipo: Ninguno

Duración: Algunos minutos.

Después de sacar las partículas más grandes (grava), se frota una muestra de suelo entre los dedos y la palma de la mano. Un suelo arenoso se siente áspero y no tiene cohesión cuando se humedece. Un suelo limoso aún se siente ligeramente áspero pero tiene cierta cohesión cuando se humedece. Los terrones duros se resisten a ser triturados cuando están secos, pero que se vuelven plásticos y pegajosos o viscosos cuando se humedecen indican un alto porcentaje de arcilla.

Se pueden realizar ensayos similares moliendo ligeramente una pizca de suelo ligeramente entre los dientes (los suelos están generalmente bastantes limpios).

Ensayo del Lustre

Equipo: Cuchillo.

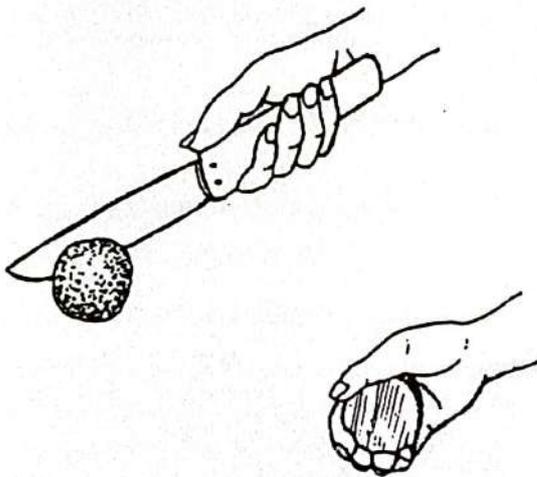
Duración: Algunos minutos.

Una bola de suelo ligeramente húmedecida, recién cortada con un cuchillo nos revelará una superficie opaca (indicando predominancia de limo) o una superficie brillante (indicando una mayor proporción de arcilla).

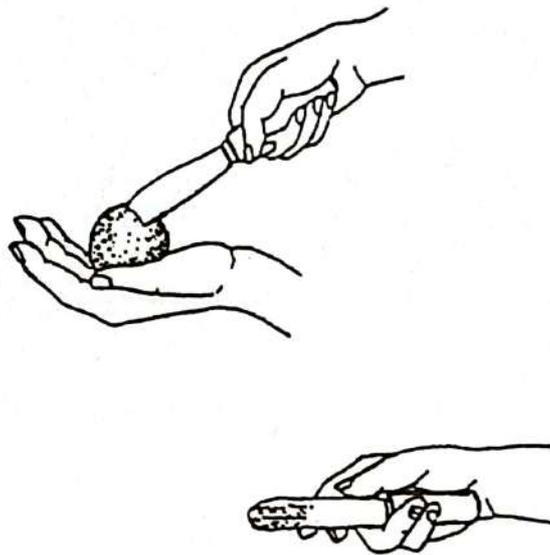
Ensayo de Adherencia

Equipo: Cuchillo.

Duración: Algunos minutos.



Cuando el cuchillo penetra fácilmente en una bola de suelo similar, la proporción de arcilla generalmente es baja. Los suelos arcillosos tienden a resistir la penetración y a pegarse al cuchillo cuando éste es retirado.

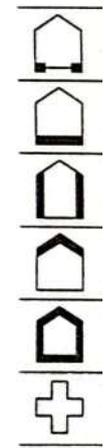
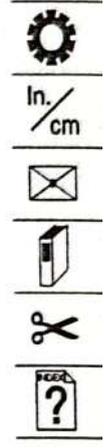
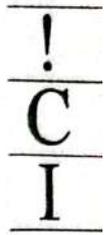


Ensayo del Lavado

Equipo: Tazón o caño de agua.

Duración: Algunos minutos.

Al lavarse las manos después de estas pruebas la manera en que el suelo se elimina nos da un mayor indicio de su composición: la arena y el limo son fáciles de retirar, mientras que la arcilla necesita ser frotada.

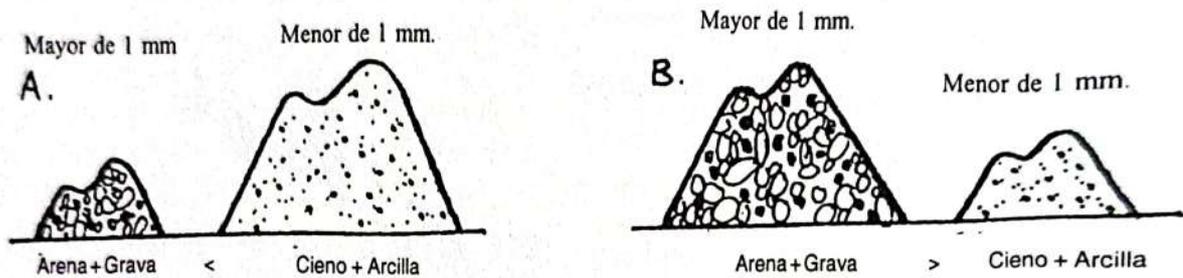


Ensayo Visual

Equipo: Dos cribas con malla de alambre de 1 mm. y 2 mm.

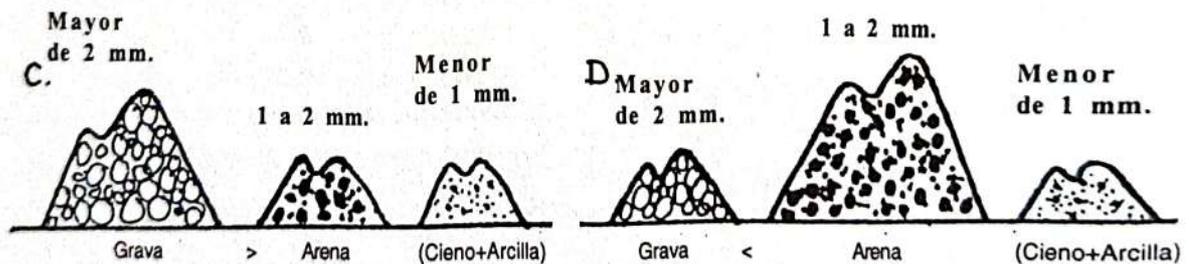
Duración: media hora.

Con la ayuda de una criba se separa las partículas de arena y la grava seca sobre una superficie limpia en dos montículos. Antes que nada podría ser necesario triturar los terrones de arcilla. Comparando los tamaños de los montículos es posible hacer una clasificación del suelo a grosso modo.



A. El suelo es arcilloso si el montón de "limo + arcilla" es más grande; una clasificación más precisa requiere de otros ensayos.

B. Similarmente, el suelo es arenoso o pedregoso si el montón de "arena + grava" es más grande.



C. y D. Un cernido con una criba de 2 mm. nos revela si el suelo es pedregoso o arenoso.

En el caso del suelo arenoso o pedregoso, deberá humedecerse un puñado del material original (antes del cernido), hacerlo una bola y dejarlo secar en el sol. Si se parte al secar, se le llamará "limpio", y no será adecuado para construcciones de tierra a menos se mezcle con otros materiales.

Si el suelo no es "limpio", el montón de limo y arcilla deberá emplearse para las pruebas siguientes.

Ensayo de Retención de Agua

Equipo: ninguno.

Duración: dos minutos.

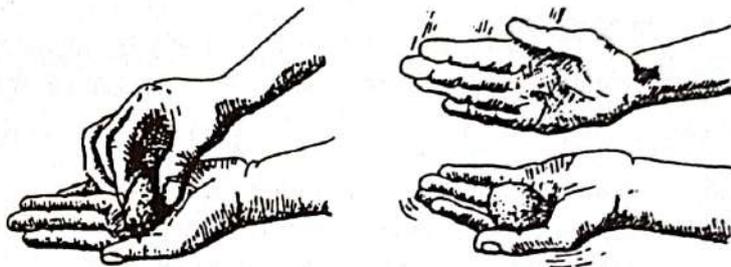
Se hace una bola del tamaño de un huevo de una muestra del material fino, añadiendo el agua necesaria para mantenerlo unido sin que se pegue a las manos. La bola se presiona suavemente en la palma curvada y se golpea fuertemente con la otra mano, agitando la bola horizontalmente.

- Cuando toma 5 - 10 golpes para que el agua brote a la superficie (liso, apariencia "unifor-

me"), se le llama reacción *rápida*. Cuando se presiona el agua desaparece y la bola se desmenuza, indicando una *arena muy fina* o *limo grueso*.

- Cuando el mismo resultado se obtiene con 20 - 30 golpes (reacción *lenta*), y la bola no se desmenuza pero se aplasta al ser presionada, la muestra es *limo ligeramente plástico* o *arcilla limosa*.
- Si no hay reacción o ésta es muy *lenta*, y no hay cambio de apariencia al ser presionada indica un *alto contenido de arcilla*.

5 a 10 golpes = *rápido*
20 a 30 golpes = *lento*
Más de 30 golpes = *muy lento*



Ensayo de Resistencia al Secado

Equipo: horno, sino hay sol.

Duración: cuatro horas para el secado.

Dos o tres muestras húmedas de la prueba anterior son aplastadas ligeramente a un espesor de 1 cm. y 5 cm. de diámetro Ø y dejadas secar completamente en el sol o en un horno. Al intentar pulverizar una pieza seca entre el pulgar y el dedo índice, la dureza relativa nos ayuda a clasificar el suelo:

- Si se rompe con gran dificultad y no se pulveriza, es *casi arcilla pura*.
- Si puede triturarse hasta volverse polvo con un poco de esfuerzo, será *arcilla arenosa* o *limosa*.
- Si se pulveriza sin ningún esfuerzo, será *arena fina* o *limo* con *poco contenido de arcilla*.

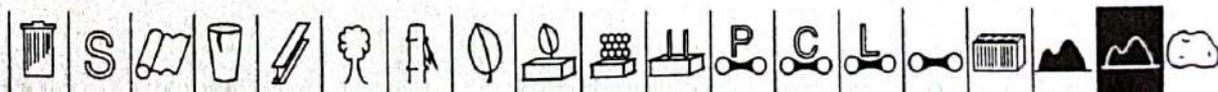
Ensayo de Hacer Hebras

Equipo: Tabla plana, aprox. 30 x 30 cm.

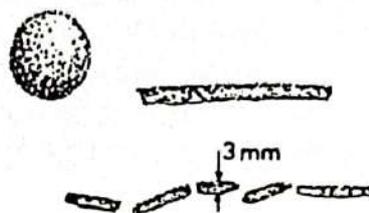
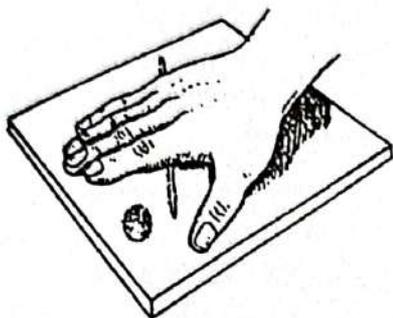
Duración: 10 minutos.

Otra bola húmeda del tamaño de una aceituna se alisa sobre la superficie plana limpia, formando una hebra. Si se rompe antes que el diámetro de la hebra sea de 3 mm., será muy seca y se repite el proceso después de rehacer la bola con más agua. Esto deberá repetirse hasta que la hebra se rompa cuando tenga exactamente 3 mm. de espesor, indicando un adecuado contenido de humedad. La hebra se rehace nuevamente en una bola y se aprieta entre el pulgar y el índice.

- Si la bola es dura de triturar, no se agrieta ni se desmenuza, tendrá un *alto contenido de arcilla*.



- El agrietamiento y desmenuzamiento muestran un *bajo contenido de arcilla*.
- Si se rompe antes de formar una bola, tendrá un *alto contenido de limo o arena*.
- Si se siente algo esponjoso y suave significa que es un *suelo orgánico*.



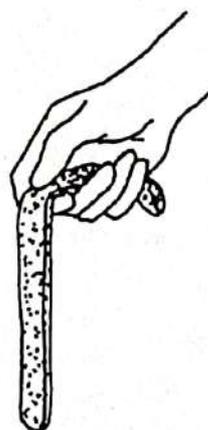
Ensayo de la Cinta

Equipo: ninguno

Duración: diez minutos.

Con el mismo contenido de humedad que el de la prueba de hacer hebras, a una muestra de suelo se le da la forma de un cigarro de 12 a 15 mm. de espesor. Después se aplana progresivamente entre el pulgar y el índice formando una cinta de 3 a 6 mm. de espesor, teniendo cuidado que se alargue tanto como sea posible.

- Una cinta larga de 25 a 30 cm. tiene un *alto contenido de arcilla*.
- Una cinta corta de 5 a 10 cm. muestra *poco contenido de arcilla*.
- Si no se puede formar la cinta significa un *contenido de arcilla despreciable*.



Ensayo de Sedimentación

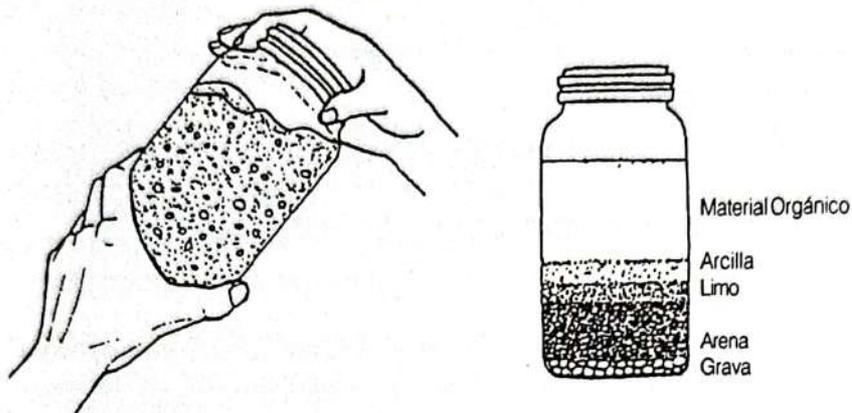
Equipo: Frasco de vidrio cilíndrico de al menos de 1 litro de capacidad, con una base plana y una abertura que pueda ser cubierta por la palma de la mano; regla graduada en centímetro.

Duración: tres horas.

Se llena un cuarto del frasco de vidrio con suelo y con agua limpia hasta casi al tope. Se deja empapar bien el suelo durante una hora, luego, con la abertura bien tapada, se sacude fuerte-

mente el frasco y después se coloca sobre una superficie horizontal. Esto se repite nuevamente una hora después y se deja reposar el frasco por, al menos, 45 minutos.

Trascurrido este tiempo, las partículas sólidas se asentaran en la base y se podría medir con



bastante exactitud las proporciones relativas de arena (capa inferior) limo y arcilla. Sin embargo, los valores se distorcionarán ligeramente ya que el limo y la arcilla se habrán expandido con el agua.

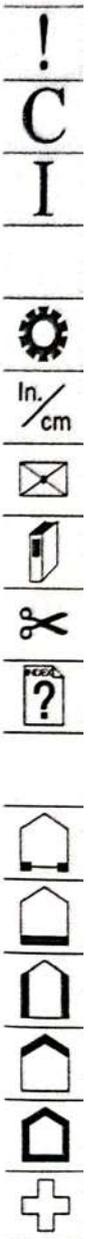
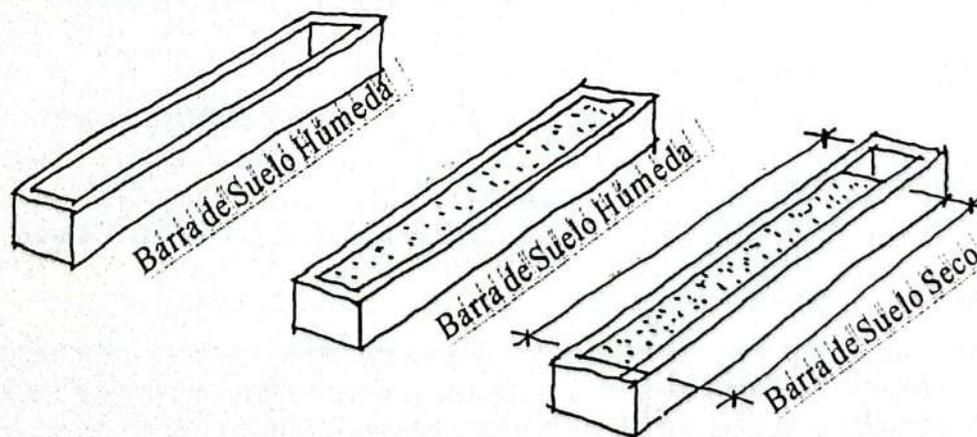
Ensayo de Laboratorio

Ensayo de Contracción Lineal

Equipo: caja larga de madera o metal con dimensiones internas de 60 x 4 x 4 cm. (l x b x h), abierta; aceite o grasa; espátula.

Duración: 3 a 7 días.

Las superficies interiores de la caja se engrasan para evitar que el suelo se pegue a ellas. Se prepara una muestra de suelo con un contenido óptimo de humedad (esto es, cuando se estruja un terrón en la mano, este mantiene la forma sin ensuciar la palma de la mano, y cuando cae de 1 metro de altura, se rompe en varios terrones más pequeños). Esta mezcla de barro se presiona en todas las esquinas de la caja y se alisa cuidadosamente con la espátula, de tal modo que el suelo llene exactamente el molde. La caja llena se expone al sol por 3 días o se deja bajo la sombra 7 días.



Después de este período, el suelo se habrá secado y contraído, en una sola pieza o en varias piezas, en este último caso se empujan a un extremo para cerrar los vacíos. Se mide la longitud de la barra de suelo seco y la contracción lineal se calcula como sigue:

$$\frac{(\text{Longitud de Barra Húmeda}) - (\text{Longitud de Barra Seca})}{(\text{Longitud de la Barra Húmeda})} \times 100$$

Para obtener buenos resultados en la construcción, el suelo debe contraerse o dilatarse lo menos posible. Mientras mayores son las contracciones del suelo, mayor es el contenido de arcilla, lo cual puede ser remediado añadiendo arena y/o estabilizador, preferentemente cal.

Ensayo del Cribado Húmedo

Equipo: Un juego de cribas estandarizadas con mallas diferentes (por ejemplo, 6.3 mm, 2.0 mm, 0.425 mm y 0.063 mm); un recipiente plano de agua debajo de las cribas; 2 pequeños baldes, uno lleno de agua; estufa u hornilla para el secado de las muestras; balanza de 2 a 5 kg. con una exactitud de 0.1 gr. como mínimo.

Duración: 1 a 2 horas.

Se pesa una muestra de suelo seca de 2 kg. se coloca en el balde vacío y se mezcla con agua limpia. La mezcla de suelo-agua, bien agitada, se vierte en las cribas, las cuales son colocados en orden descendente una sobre otra, con la malla más fina en la parte inferior, debajo de la cual está el recipiente plano. El balde es enjuagado con el agua restante, que también es vertida en las cribas.



Cada criba habrá retenido una cierta cantidad de material, el cual es secado en la estufa o la hornilla, luego se pesa con exactitud y se registra el peso. Las partículas finas que se encuentran en el fondo del recipiente son una mezcla de limo y arcilla, la cual no puede ser separadas con las cribas. Esta es llevada a la siguiente prueba.

Ensayo de Sifonamiento

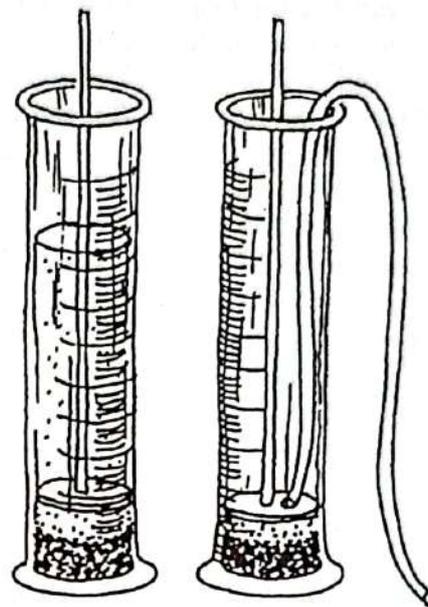
Equipo: Una probeta cilíndrica de vidrio graduada de 1 litro, con un diámetro interior de aprox. 65 mm; un disco de metal circular con una varilla, que pueda descender dentro del cilindro; un tubo de goma y platos de desecación resistentes al calor para la extracción del líquido con el sifón; un reloj; una pizca de sal; estufa u hornilla y una balanza, como en el ensayo anterior.

Duración: 1 a 2 horas.

Una muestra seca de 100 gr, del material fino de la prueba anterior se pesa cuidadosamente y se de arcilla, y se llena de agua hasta llegar a 200 mm. Con el cilindro mantenido firmemente cerrado con la palma de la mano, el contenido se sacude fuertemente hasta obtener una suspensión uni-

forme de los granos. Se coloca la probeta sobre una superficie firme a nivel y se toma el tiempo.

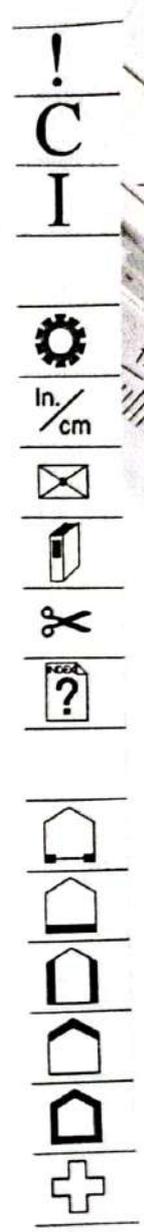
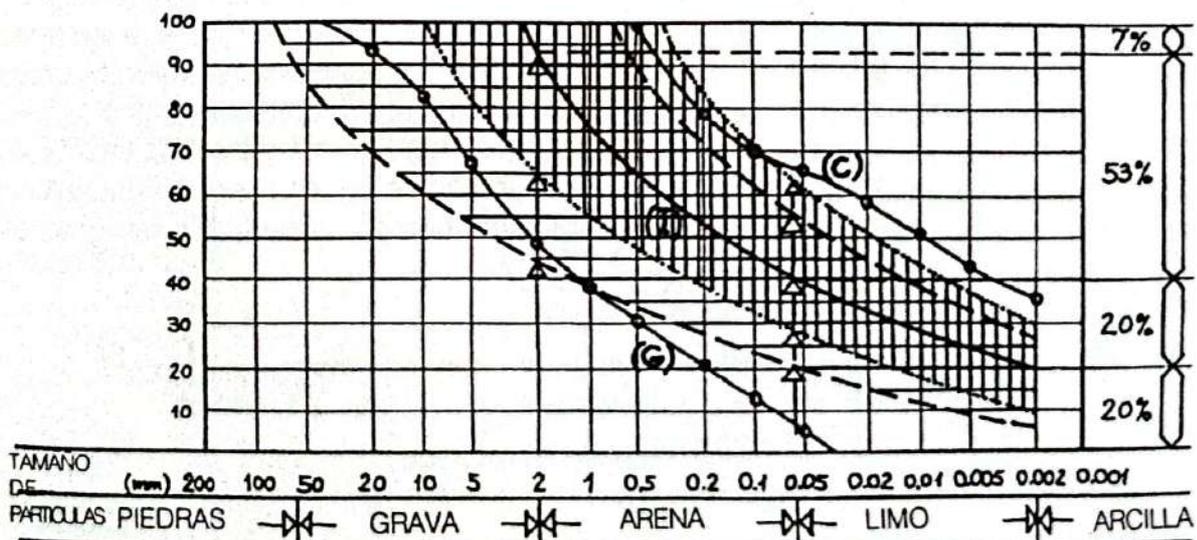
Después de 20 minutos, se introduce el disco de metal cuidadosamente para cubrir el material que se ha asentado en el fondo del cilindro, sin dispersarlo. La arcilla, que está todavía en suspensión, se extrae por sifonamiento del liquido, que posteriormente se seca y el residuo se pesa. El peso en gramos es también el porcentaje de arcilla en la muestra.



Análisis de la Granulometria

Con los resultados del ensayo del cribado húmedo y del ensayo de sifonamiento, de una muestra se obtienen las proporciones relativas de los diferentes elementos, definidos por el tamaño de sus partículas, se pueden graficar algunos puntos en un diagrama. Luego se dibuja una curva que pase por cada punto sucesivamente, dando distribución granulométrica de esa muestra de suelo. Esto se puede repetir para otras muestras en el mismo diagrama, indicando el rango de los tipos de suelo analizado.

El gráfico siguiente muestra un ejemplo de un suelo pedregoso (G) y un tipo de suelo arcilloso (C). El área sombreada horizontalmente indica los tipos de suelos adecuados para construcciones de tierra apisonada, mientras que el área sombreada verticalmente muestra la tierra apropiada para la fabricación de bloques comprimidos. Así, el área traslapada es buena para la mayoría de construcciones de tierra, por lo que una curva (I) que pase por el medio indica un suelo de granulometría ideal.

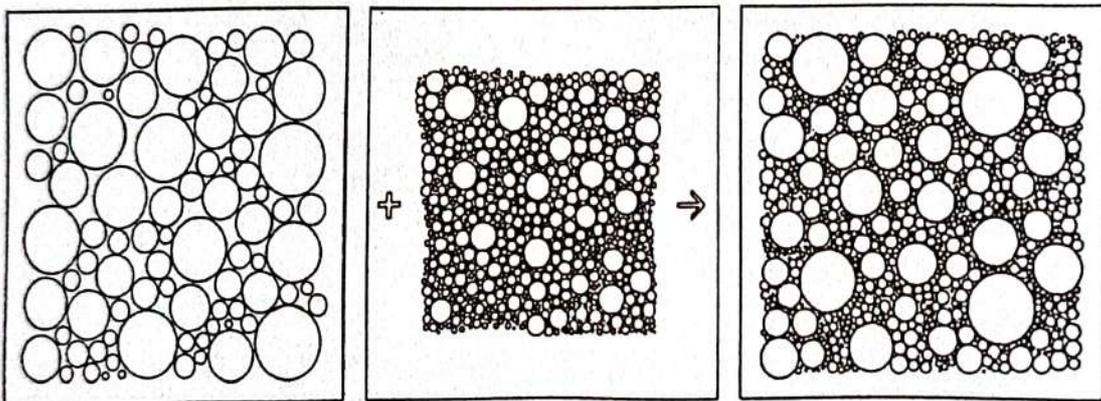


El propósito de este ejercicio es determinar si el suelo disponible es adecuado para la construcción. Si el suelo es demasiado pedregoso, los espacios vacíos entre las partículas no se llenan adecuadamente, al suelo le falta cohesión y en consecuencia es muy sensible a la erosión. Si el suelo es demasiado arcilloso, le falta granos grandes que le den estabilidad, y por ello es sensible a las contracciones y dilataciones. Una distribución granulométrica óptima es aquella en la que la proporción de granos pequeños y grandes está bien balanceada, prácticamente sin dejar espacios va-

cíos, y con suficientes partículas de arcilla que faciliten una adecuada cohesión.

Si los ensayos revelan una deficiente distribución granulométrica, se puede corregir en cierto grado:

- Cribando la fracción pedregosa, si el suelo contiene demasiado material grueso;
- Lavando parcialmente la fracción arcillosa, si hay demasiadas partículas finas;
- Mezclando tipos de suelo de diferente estructura granular.



(Bibl. 02.34)

Ensayos de Límites de Atterberg

Estos ensayos, desarrollados por el científico Sueco Atterberg, son necesarias para encontrar el contenido de humedad respectivo al cual el suelo cambia de un estado líquido (viscoso) a un estado plástico (moldeable), de una consistencia plástica a un sólido suave (que se rompe antes de cambiar de forma, pero se une si presionase), y de este estado a un sólido duro. Mientras los ensayos anteriores determinaban la cantidad de cada componente del suelo, las pruebas Atterberg muestran qué tipo de mineral arcilloso se encuentra. Esto influye en el tipo de estabilizador requerido.

Para todos los fines prácticos, la determinación del "límite líquido" y el "límite plástico" es suficiente, los otros límites de Atterberg no son tan importantes. Sin embargo, la determinación de los límites Atterberg usualmente es realizada con la fracción de "mortero fino" del suelo, la cual pasa por una criba de 0.4 mm. Esto se debe a que el agua tiene poco efecto sobre la consistencia de las partículas más grandes.

Ensayo del Límite Líquido

Equipo: un plato cóncavo, con un diámetro de 10 cm. y 3 cm. de profundidad, con la superficie interior lisa o vidriada; un ranurador (como se muestra en la ilustración); un recipiente metálico con una tapa que ajuste herméticamente (por ejemplo una caja grande de píldoras); un horno para el secado que mantenga una temperatura de 110°C ; una balanza con una precisión de 0.1 gr. como mínimo, preferiblemente de 0.01 gr.

Duración: aproximadamente 10 horas.

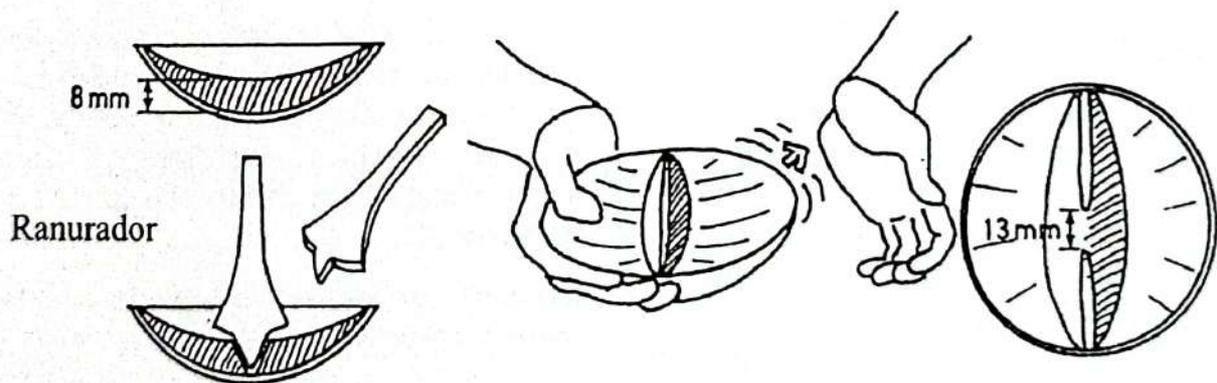
Una muestra de suelo fino (aproximadamente 80 gr.) se mezcla con agua potable hasta que tome una consistencia de pasta gruesa y que llene uniformemente el plato de tal modo que el centro tenga una profundidad de aprox. 8 mm., y vaya disminuyendo gradualmente hacia el borde del plato.

Esta se divide en dos partes iguales mediante el ranurador, haciendo una ranura en forma de V (de un ángulo de 60°) y un espacio vacío de 2 mm. de ancho en la parte inferior. Alternativamente se puede utilizar un cuchillo.

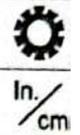
El plato se sujeta firmemente con una mano y se golpea con la palma de la otra mano, la cual se mantiene de 30 a 40 mm. El movimiento debe ser un ángulo recto respecto a la ranura. Si toma exactamente 10 golpes en hacer que el flujo de suelo se una, cerrando el espacio vacío a una distancia de 13 mm, el suelo está en su límite líquido.

Si toma menos de 10 golpes, el suelo está demasiado húmedo; más de 10 golpes significa que está demasiado seco. El contenido de humedad se debe corregir, por lo cual los suelos húmedos pueden ser secados con un mezclado prolongado o añadiendo suelo seco. El proceso se repite hasta que se encuentre el límite líquido.

Con una balanza precisa, es suficiente tomar sólo una pequeña muestra de suelo, recogida de un punto cercano de donde se cerró la ranura. La muestra se coloca en el recipiente que se cierra herméticamente y se pesa antes que la humedad pueda evaporarse. Luego el recipiente con el suelo se coloca en un horno a 110°C hasta que el suelo esté completamente seco. Esto podría tomar 8 - 10 horas y puede ser revisado pesando varias veces hasta que el peso permanezca constante.



Ensayo del límite líquido



Conociendo el peso húmedo (W1) y el peso seco (W2) del suelo y el recipiente, y el peso del recipiente limpio y seco (Wc), el límite líquido, expresado como porcentaje de agua en el suelo, se calcula como sigue:

$$\text{Límite Líquido} = \frac{\text{Peso de Agua}}{\text{Peso del suelo seco}} \times 100$$

$$L = \frac{W1 - W2}{W2 - Wc} \times 100\%$$

Algunos ejemplos de límites líquidos:

Arena:	L = 0 a 30
Limo:	L = 20 a 50
Arcilla:	L = más de 40

Ensayo del Límite Plástico

Equipo: una superficie plana lisa, por ejemplo una plancha de vidrio de 20 x 20 cm; recipiente metálico, horno para el secado y una balanza, igual que para el ensayo del límite líquido.

Duración: aproximadamente 10 horas.

Aproximadamente 5 gr. del suelo fino se mezcla con agua para hacer una bola moldeable, pero no pegajosa. Esta se amasa entre las palmas de las manos hasta que empiece a secarse y agrietarse. La mitad de esta muestra se sigue amasando hasta alcanzar una longitud de 5 cm. y un espesor de 6 mm.

Colocada sobre la superficie lisa, la muestra se alisa formando una hebra con un diámetro de 3 mm. (ver las ilustraciones del *Ensayo de Hacer Hebras*). Si la muestra se rompe antes del diámetro requerido de 3 mm., ésta será demasiado seca. Si la hebra no se rompe al llegar a 3 mm. o menos, ésta será demasiado húmeda. Se llega al límite plástico si la hebra se rompe en dos piezas de 10 - 15 mm. de longitud. Cuando esto ocurra, las piezas rotas son

colocadas rápidamente en el recipiente metálico y se pesa. (W1).

Los siguientes pasos de secado y pesado del suelo y del recipiente son los mismos que del ensayo del límite líquido, determinando los valores W2 y Wc. Todo el procedimiento se repite para la segunda mitad de la muestra original. Si los resultados difieren por más del 5%, las pruebas deben ser repetidas otra vez.

El límite plástico es calculado igual que el límite líquido:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de Agua}}{\text{Peso del Suelo seco}} \times 100$$

$$P = \frac{W1 - W2}{W2 - Wc} \times 100\%$$

Índice de Plasticidad

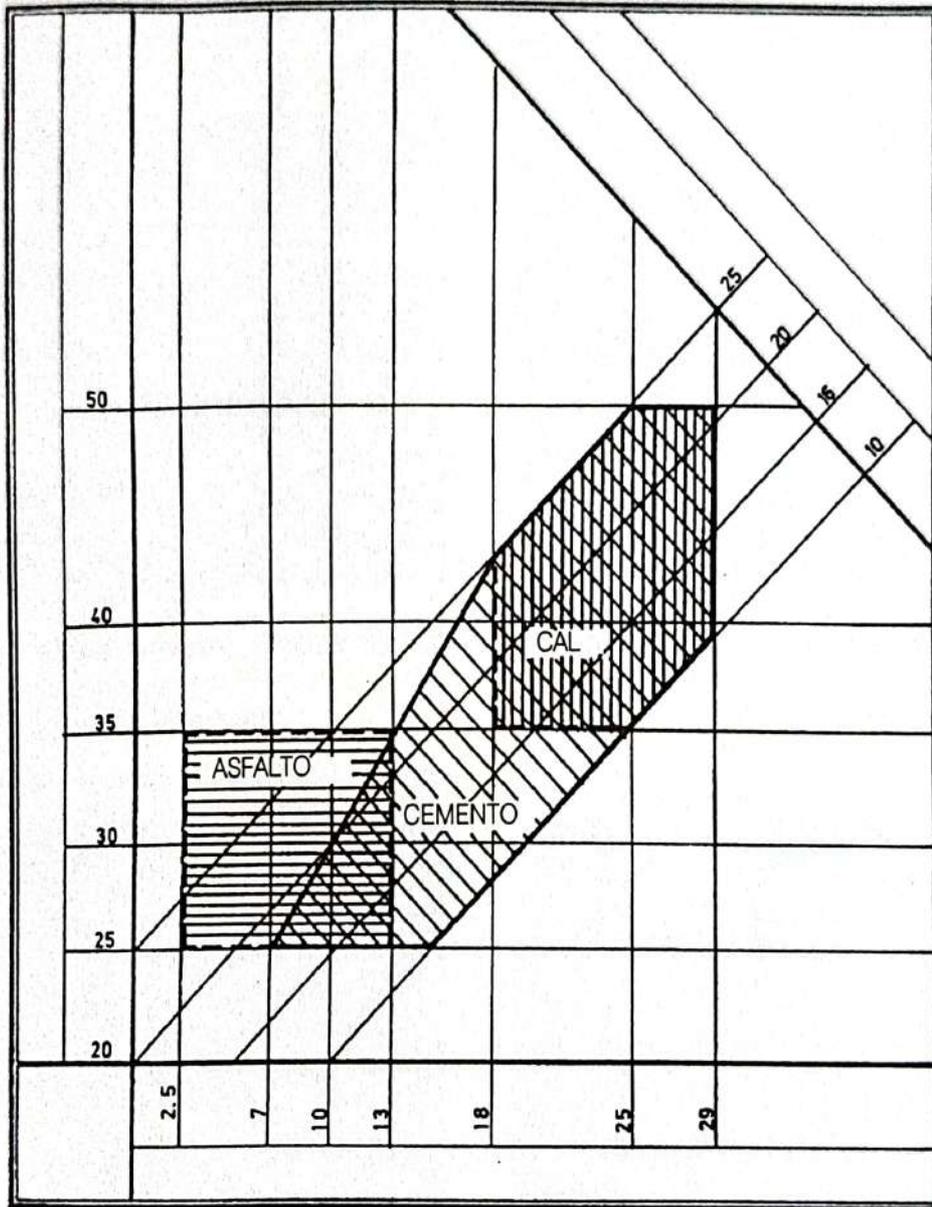
El índice de plasticidad (IP) es la diferencia entre el límite líquido (L) y el límite plástico (P):

$$IP = L - P$$

Esta relación matemática sencilla hace posible graficar los valores en un diagrama. La ventaja es que se pueden definir aquellas áreas en las cuales ciertos estabilizadores son más efectivos.

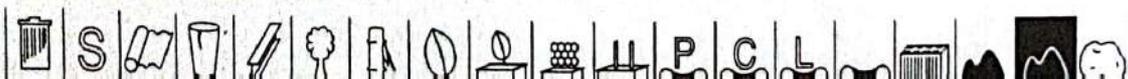
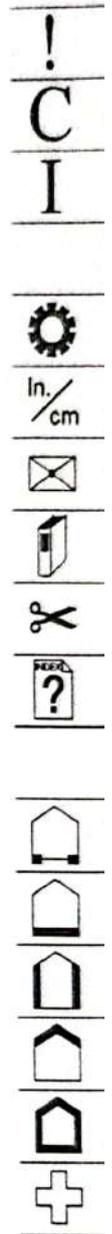
Sin embargo, debe aclararse que la laterita no se ajusta necesariamente a este diagrama. De hecho, no hay sustituto a la experimentación práctica, utilizando los estabilizadores recomendados al inicio y comenzado con dosis pequeñas.

La elección de los estabilizadores de suelo son tratados con detalle en el siguiente capítulo.



INDICE PLASTICO %

CRATERRE



Producción de Adobe Tradicional en Egipto (Fotos: K. Mathéy)



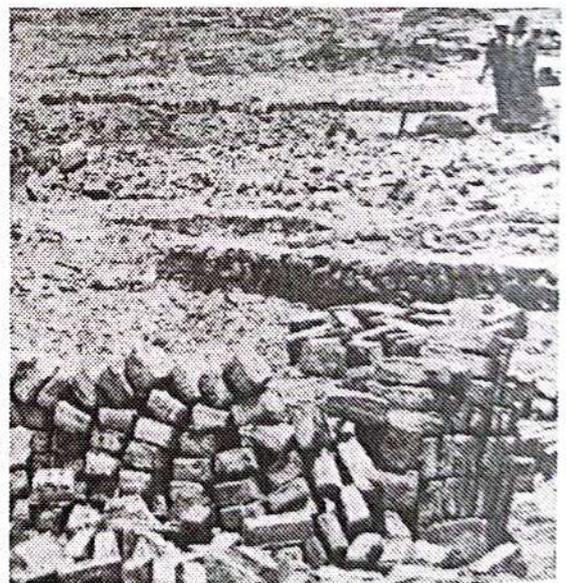
Lavado de los moldes de madera



Llenado de los moldes con barro



Después de alisar la superficie, retire el molde



Adobes secado al sol, listos para la construcción

ESTABILIZADORES

Generalidades

La tierra que no posee las características deseadas para una construcción particular puede ser mejorada añadiendo uno o más estabilizadores.

Cada estabilizador puede cumplir uno (o a lo sumo dos) de las siguientes funciones:

- Incrementa la resistencia a la comprensión y al impacto de la construcción de tierra, y también reduce su tendencia a la dilatación o contracción, *aglomerando* las partículas de suelo unas a otras.
- Reduce o elimina completamente la absorción de agua (que causa dilataciones, contracciones y erosión) *sellando* todos los vacíos y poros, y cubriendo las partículas de arcilla con una película impermeable.
- Reduce el agrietamiento *dándole flexibilidad* la cual permite que el suelo se expanda o contraiga en algún grado.
- Reduce la expansión y contracción excesiva *reforzando* el suelo con material fibroso.

El efecto de la estabilización se incrementa generalmente cuando el suelo se compacta. Algunas veces la compactación sola es suficiente para estabilizar el suelo, sin embargo, sin un estabilizador apropiado, el efecto puede no ser permanente, particularmente en el caso de una mayor exposición al agua.

Pero, *antes de considerar el uso de un estabilizador* se deben investigar los siguientes puntos:

- ¿El suelo disponible satisface los principales requerimientos incluso sin estabilización? Esto depende del clima local, riesgos naturales y el tipo de construcción.
- ¿El diseño de la edificación toma en cuenta las características y limitaciones del material?

Ejemplos de un diseño apropiado es construir en niveles altos e incorporar capas para proteger de la humedad (para minimizar el daño de la absorción capilar) y proporcionar aleros anchos en los techos (para proteger contra la lluvia y la radiación solar).

- ¿Es realmente necesaria la estabilización de toda la construcción, o puede ser suficiente una buena protección para la superficie (por ejemplo, enlucido estabilizado)?

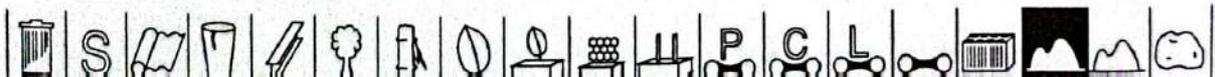
Reduciendo la necesidad de estabilización, se pueden ahorrar considerables costos, tiempo y esfuerzo.

Tipos de Estabilizadores

Un gran número de sustancias podrían ser utilizados para estabilizar el suelo, y se están realizando muchas investigaciones para encontrar el estabilizar más adecuado para cada tipo de suelo. Pero, a pesar de estos esfuerzos de investigación, no hay un estabilizador "milagroso" que pueda ser utilizado en todos los casos. La estabilización no es una ciencia exacta, por ello depende del constructor hacer bloques de prueba con diferentes tipos y cantidades de estabilizadores, los cuales se pueden ensayar.

Los *estabilizadores disponibles en la naturaleza* más comúnmente utilizados en construcciones tradicionales son:

- Arena y arcilla.
- Paja y fibras de plantas.
- Jugos de plantas (savia, latex, aceites)
- Cenizas de madera.
- Excremento de animal (principalmente estiércol y orina de caballo).
- Otros productos de animales (sangre, pelo, cola, hormigueros).



Los *estabilizadores manufacturados* más comunes, (por ejemplo, productos y subproductos de las industrias locales o de los grandes procesos industriales) son:

- Cal y puzolana.
- Cemento Portland.
- Yeso.
- Asfalto.
- Estabilizadores de suelo comerciales.
- Silicato de sodio ("vidrio soluble").
- Resinas.
- Sueros (caseína).
- Melaza.

Estos estabilizadores son descritos brevemente más adelante. La elección del estabilizador más adecuado dependerá principalmente de los costos y de la disponibilidad local, pero también en cierto grado de la aceptación local.

Arena y Arcilla

- Estas son empleadas para corregir la calidad de la mezcla de suelo, esto es, se añade arena al suelo arcillosos o se añade arcilla al suelo arenoso.
- La mezcla deberá hacerse en seco, de lo contrario no será uniforme.
- La arcilla seca usualmente se encuentra en forma de terrones duros, que tienen que ser bien triturados antes del mezclado.

Paja, Fibras de Vegetales.

- Estas actúan como refuerzos, especialmente para moderar el agrietamiento en suelos con gran contenido de arcilla.
- Estas también hacen más livianos el suelo, incrementan sus propiedades aislantes

(buena en regiones áridas y serranía) y aceleran el proceso de secado (proporcionando canales de drenaje).

- La paja es universalmente el refuerzo más común del suelo; casi cualquier tipo es aceptable (trigo, centeno, cebada, etc.), también el rastrojo de la mayoría de las cosechas de cereal.
- Otras fibras vegetales son sisal o henequén, cáñamo, hierba de elefante, estopa (fibra de coco), bagazo (residuo de caña de azúcar), etc.
- Para obtener resultados satisfactorios, la proporción mínima de refuerzos vegetales es 4% por volumen; de 20 a 30 kg. por m³.
- Como los refuerzos vegetales tienden a debilitar el producto final e incrementar la absorción de agua, debe evitarse el uso excesivo.
- La paja y las fibras deben ser cortadas a una longitud no mayor de 6 cm., y mezcladas completamente con el suelo para evitar la formación de pequeños nidos.

Jugos de Plantas

- El jugo de hojas de plátano mezclados con cal mejora la resistencia a la erosión y disminuye la absorción de agua.
- Añadiendo el látex de ciertos árboles (por ejemplo, euphorbia, hevea) o jugo concentrado de sisal en forma de cola orgánica se obtiene una menor permeabilidad.
- Las grasas y aceites vegetales deben secarse rápidamente para que sean efectivas y proporcionen resistencia al agua. Algunos ejemplos son aceites de linaza, coco y algodón; el aceite de ricino es muy efectivo, pero es caro.

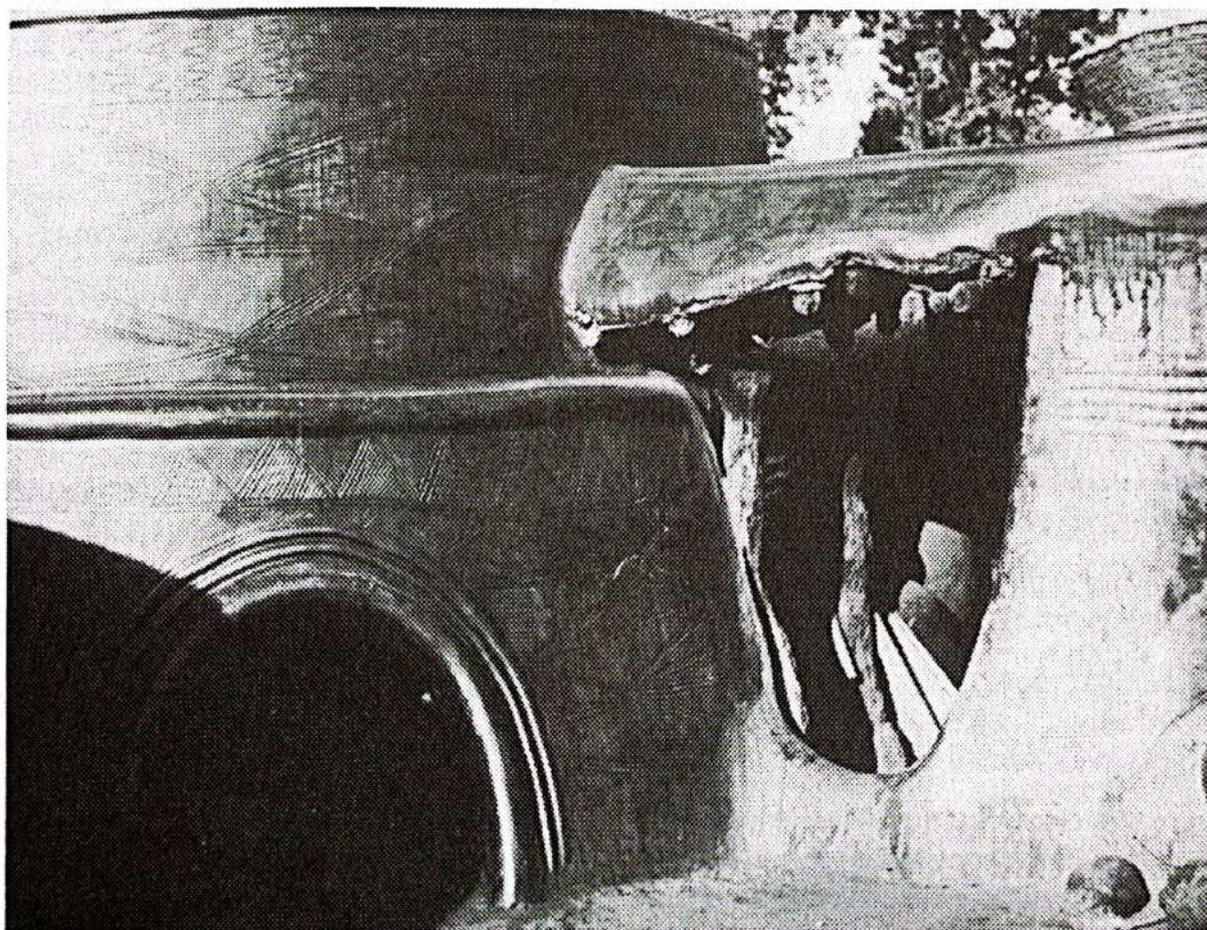
- El aceite de miraguano también puede ser efectivo. Este se hace tostando semillas de miraguano, pulverizándolos finamente y mezclándolo con agua (10 kg. de polvo: 20 a 25 litros de agua).

Cenizas de Madera

- La ceniza de madera dura, usualmente es rica en carbonato de calcio y tiene propiedades estabilizadoras, pero no siempre es

adecuada para suelos arcillosos. Algunas cenizas incluso pueden ser dañinas al suelo.

- Más efectivo parece ser añadir de 5 a 10% (por volumen) de cenizas blancas finas, de madera dura completamente quemada. Con esto se mejora la resistencia a la comprensión en seco.
- Las cenizas no mejoran la resistencia al agua.



Fresca decoración de una casa de tierra en Ghana. Paredes tratadas con vainas de algarrobo cocidas y pulidas con una piedra lisa (Foto: H. Schreckenbach, Bibl. 00.49)

!
C
I



In./
cm



Excremento de Animal

- Principalmente son empleados para estabilizar enlucidos.
- El estiércol es el estabilizador más común, valioso principalmente por su efecto reforzador (debido a las partículas fibrosas) y característica de repeler los insectos. No se mejora significativamente la resistencia al agua, y se reduce la resistencia a la compresión.
- El estiércol de caballo o camello son alternativas menos empleadas.
- La orina de caballo como sustituto del agua de mezclado elimina efectivamente el agrietamiento y mejora la resistencia a la erosión. Se obtienen mejores resultados añadiendo cal.
- A pesar de sus ventajas estos materiales tienen poca aceptación social en las mayorías de las regiones, mientras que en otras (principalmente en áreas rurales de Asia y Africa) son materiales tradicionales bien aceptados.

Otros Productos Animales

- La Sangre fresca de toro combinado con cal puede reducir enormemente el agrietamiento, sin embargo, también tiene poca aceptación social.
- La piel y el pelo animal es empleado usualmente para reforzar enlucidos.
- Las cola (pegamento) de animales, hechos de cuernos, huesos, pezuñas y pellejos, mejora la resistencia a la humedad.
- Los Hormigueros, como se sabe resisten la lluvia, pueden ser pulverizados y empleados como estabilizador para suelos arenosos.

Cal y Puzolana

(ver también los capítulos sobre *Cal* y *Puzolanas*)

- Los suelos arcillosos (con límites líquidos en la región de 40% o más) solo puede ser estabilizado con cal, ya que en el suelo reacciona con las partículas de arcilla formando un aglomerante.
- Para suelos con un bajo contenido de arcilla, se puede añadir a la cal una puzolana adecuada (por ejemplo, cenizas volantes, cenizas de cascara de arroz), para producir un aglomerante cementoso.
- La cal viva (CaO), producida al calcinar piedra caliza, puede ser empleada para estabilizar, pero tiene varias desventajas: tiene que ser bien triturada antes de emplearse; se pone muy caliente (más de 150°C) y puede quemar la piel; el calor de hidratación tiende a secar rápidamente el suelo, con el riesgo de dilatar la hidratación por varios meses.
- La cal apagada o hidratada (Ca[OH]₂), elaborada añadiendo agua a la cal viva, tiene menos desventajas. Puede ser empleada como polvo seco (disponible en bolsas), como lechada de cal (cal apagada con exceso de agua) o como masilla de cal (una masa viscosa)
- La proporción correcta de cal (con o sin puzolana) no puede ser generalizada, se necesita determinarla a través de una serie de ensayos. La cantidad de cal adecuada puede variar de 3 a 14% por peso seco, dependiendo de la cantidad de arcilla (más arcilla necesita más cal).
- El suelo seco debe ser triturado (ya que el suelo arcillosos generalmente contiene terrones duros) y mezclado completamente con la cal. La mayoría de suelos puede secarse y romperse con la cal viva.

- La mezcla húmeda de suelo-cal se mantiene mejor en ese estado bajo techo por uno o dos días, luego de los cuales la cal habrá roto los terrones de arcilla restantes. El suelo se mezcla nuevamente (de ser necesario se añade una puzolana) produciendo una masa homogénea, que puede ser empleada inmediatamente en la construcción. (La proporción de cal:puzolana puede variar entre 1:1 y 1:3).
 - El curado del suelo estabilizado con-cal tarda aproximadamente seis veces más que el curado del suelo estabilizado- con cemento. Las altas temperaturas y la humedad ayudan a mejorar la resistencia a compresión final. Esto se puede obtener curando con una lámina plástica, o en una cámara cerrado con planchas de hierro onduladas, por lo menos dos semanas. La resistencia final se obtiene después de dos o seis meses.
 - El curado puede acelerarse añadiendo cemento justo antes de ser empleado en una construcción.
 - La piedra caliza con un alto contenido de arcilla produce un tipo especial de cal, llamado cal hidráulica, que fragua como el cemento. La estabilización del suelo con cal hidráulica reduce el período del curado, pero puede que no se obtenga resistencias suficientes.
- Cemento Portland**
(ver también el capítulo sobre Cemento)
- Los suelos con bajo contenido de arcilla se estabilizan mejor con cemento Portland, el cual aglomera las partículas de arena y grava como el concreto, esto es, reacciona con el agua de la mezcla de suelo para producir una sustancia que llena los vacíos, formando una película continua alrededor de cada partícula, aglomerándolas todas unidas.
 - La reacción del cemento y el agua (conocido como hidratación) libera hidróxido de calcio (cal apagada) que reacciona con las partículas de arcilla para formar un tipo de aglomerante puzolánico. Si el contenido de arcilla es demasiado bajo, la cal permanece libre. Esto puede remediarse sustituyendo una proporción (de 15 a 40% por peso) de cemento por una puzolana, que usualmente es más barata que el cemento.
 - Igual que los morteros de cemento-arena, las mezclas de suelo-cemento se vuelven más trabajables añadiendo cal. Si el contenido de arcilla es alto, la cal adicional reacciona con ésta estabilizando más el suelo.
 - El contenido de cemento apropiado variará de acuerdo a los aspectos antes mencionados. Se recomienda un mínimo del 5%, mientras que un contenido de cemento mayor del 10% es considerado inadecuado, debido al alto costo del cemento.
 - El suelo y el cemento se deben mezclar secos, y el agua debe añadirse y mezclarse completamente justo antes de su utilización, ya que el cemento comienza a reaccionar con el agua inmediatamente.
 - Una vez que el cemento ha empezado a endurecerse, se vuelve inservible. El suelo-cemento no puede ser reciclado.
 - Mientras mejor se mezcle el suelo, mayor es la resistencia final, que se obtiene por compactación (por ejemplo, con apisonador o prensa de bloques).

!

C

I



In./cm



donde se produce suero en exceso, su uso como estabilizador superficial para construcciones de tierra se considera muy valioso.

- Añadiendo suero a un mortero de suelo-cal o a una lechada de cal se obtiene una protección superficial contra los agentes atmosféricos, sin que el suelo pierda la capacidad de respirar.
- Para obtener una buena adherencia y evitar grietas, la lechada de cal debería aplicarse en dos o tres capas delgadas. Emplear el suero como imprimación también puede dar buenos resultados.

Melaza

- La melaza es un producto secundario de la industria azucarera.
- Añadiendo melaza al suelo se mejora su resistencia a la compresión y se reduce la capilaridad del suelo.
- Trabaja bien con suelos limosos y arenosos. En el caso de suelos arcillosos, se debe añadir pequeñas cantidades de cal a la melaza.
- La cantidad de melaza añadida normalmente al suelo es aproximadamente de 5% por peso del suelo.

Como Utilizar los Estabilizadores

Aunque ya se mencionó el uso de cada estabilizador, resumiremos algunas reglas generales:

- El beneficio completo de emplear un estabilizador se alcanza sólo si éste hace contacto con cada partícula del suelo, por ello, se necesita un mezclado bastante completo.
- Para encontrar la mejor combinación y las mejores proporciones de estabilizadores para un suelo determinado se necesita mu-

cha preparación y muchos ensayos. Vale la pena gastar tiempo y esfuerzo, incluso si se toma uno o dos meses de preparación.

- La única manera de determinar la proporción correcta de estabilizador es hacer de 5 a 7 bloques de prueba por cada mezcla y someterlos a una serie de ensayos, tales como los ensayos de resistencia a compresión después de diferentes períodos de secado, ensayos de secado y humedecimiento prolongado, e inmersión en agua.
- Los bloques estabilizados con cal y cemento portland necesitan ser curados en húmedo por lo menos 7 días para que obtengan resistencia.
- Los programas de ensayos deben tomar en cuenta las condiciones climáticas locales, la posibilidad de heladas, y similares. La elección del estabilizador también diferirá entre las regiones áridas y húmedas.
- Debe recordarse que los bloques de prueba sólo necesitan una pequeña cantidad de suelo, la cual es fácil de mezclar. Durante la construcción real o la producción de bloques en serie, el mezclado de grandes cantidades de suelo es más difícil, de modo que debería añadirse una proporción ligeramente mayor de estabilizador (excepto en el caso del cemento).
- El propósito de estos ensayos siempre es encontrar la menor cantidad de estabilizador que satisfaga los requerimientos. Muy a menudo los requerimientos específicos son injustificablemente altos originando elevados costos innecesariamente.

PRODUCTOS DE ARCILLA COCIDA

Generalidades

La técnica de la arcilla cocida en la producción de ladrillos y tejas para construcción tiene más de 4,000 años. Se basa en el principio que los suelos arcillosos (que contienen de 20 a 50% de arcilla) experimentan reacciones irreversibles, cuando son quemados a 850-1000°C, con lo cual las partículas se unen unas a otras como un material cerámico vidrioso.

Para este proceso hay una gran variedad de suelos adecuados, siendo la propiedad esencial la plasticidad para facilitar el moldeado. Aunque esto depende del contenido de arcilla, las proporciones excesivas de arcilla pueden causar fuertes contracciones y agrietamientos, lo que es inadecuado en la fabricación de ladrillos. La calidad de los productos de arcilla cocida varía no sólo de acuerdo al tipo y cantidad de los otros componentes del suelo sino también con el tipo del mineral de la arcilla. Para producir tejas y ladrillos de buena calidad se necesitan realizar cuidadosos ensayos del suelo.

La producción de ladrillos cocidos ha alcanzado un alto nivel de mecanización y automatización en muchos países, pero los métodos tradicionales de producción en pequeña escala aún están bien extendidos en la mayoría de países en desarrollo. Así, hay una gran variedad de métodos mecanizados y no mecanizados para la extracción, preparación, moldeado, secado y cocido de la arcilla, que solo podrá tratarse brevemente en este manual.

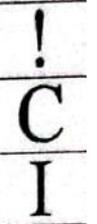
Extracción de Arcilla

- Los depósitos de arcilla se encuentran al pie de colinas o en tierra agrícolas cercanas a ríos (lo cual naturalmente generan intereses conflictivos entre el empleo de la tierra para fabricación de ladrillos y para la agricultura).

- Los criterios para seleccionar una localización adecuada son la calidad de la arcilla, disponibilidad a nivel superficial y la cercanía de una carretera transitable para el transporte.
- La excavación manual en plantas de producción de pequeña y mediana escala generalmente se realiza a una profundidad menor de 2 m. (Después de excavar grandes áreas, estas pueden volver a emplearse para la agricultura.).
- Para plantas de fabricación de ladrillos en gran escala se necesitan métodos mecánicos que emplean dragalinas y excavadoras de cucharas de diferentes tipos. Estos métodos requieren proporcionalmente menos área de excavación, pero hacen cortes profundos en el paisaje.

Preparación de la Arcilla

- Esto incluye la selección, trituración, cernido y proporcionamiento, antes que el material sea mezclado, humedecido y atemperado.
- La selección se realiza recogiendo las raíces, piedras, pedazos de caliza, etc., o en algunos casos lavando el suelo.
- La trituración es necesaria pues la arcilla seca usualmente forma terrones duros. En laboratorios es común machacarla manualmente. Sin embargo, se han desarrollado máquinas trituradoras simples intensivas en mano de obra (ver ANEXO).
- El cernido es necesario para retirar todas las partículas más grandes de 5 mm. para ladrillos, o de 0.6 mm. para tejas de techo.
- El proporcionamiento es requerido si la distribución granulométrica o el contenido de arcilla es insatisfactorio. En algunos casos, se añade a la arcilla cascara de arroz, que sirve como combustible, para obtener ladri-



llos más livianos y más uniformemente cocidos.

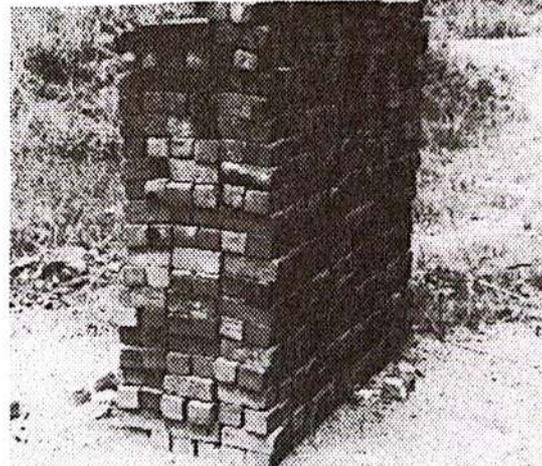
- Es necesario un mezclado completo y una correcta cantidad de agua. Ya que el mezclado manual (tradicionalmente pisoteando con pies descalzos) es laborioso y a menudo insatisfactorio, se prefieren mezcladores accionados con motor. El esfuerzo para el mezclado puede reducirse enormemente permitiendo que el agua se filtre a través de la estructura de arcilla por algunos días o incluso meses. Este proceso, conocido como «atemperamiento», permite que se realicen cambios químicos y físicos, mejorando las características para su moldeado. La arcilla debe mantenerse cubierta para evitar un secado prematuro.

Moldeado

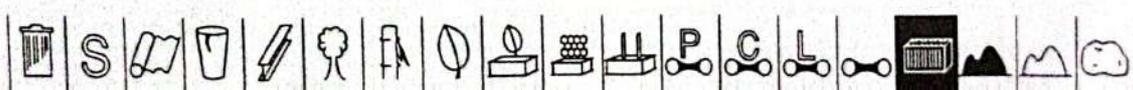
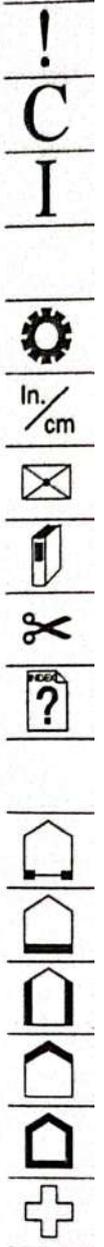
- El moldeado se realiza a mano o con métodos mecanizados.
- Los métodos de moldeado manual emplean simples moldes de madera: La arcilla se amasa formando una bola, se tira en el molde y se corta el sobrante.
- Hay dos técnicas tradicionales para sacar el ladrillo del molde: a) el método del moldeado deslizante, en el cual el molde se mantiene húmedo y la arcilla es mezclada con más agua; y b) el método del moldeado con arena, en el cual la bola de arcilla se cubre con arena para evitar que se pegue al molde.
- Los ladrillos hechos con el método del moldeado deslizante son susceptibles de desplomarse y distorsionarse, mientras que el método del moldeado con arena produce ladrillos más firmes y con mejor forma. Cuando no se dispone de arena, también puede emplearse tierra arcillosa fina de acuerdo a una técnica desarrollada en el ITW

(Intermediate Technology Workshop en el Reino Unido).

- Con mesas del moldeado (como el desarrollado por ITW, Reino Unido, y el Central Building Research Institute, India) se obtienen ladrillos con formas más exactas, con menos esfuerzo y mayor producción. Cuando el moldeado se realiza igual que con los moldes de madera, los ladrillos son expulsados mediante una palanca accionada con el pie.
- Las tejas para techo se hacen con moldes de formas especiales pero casi de la misma manera que los ladrillos. La principal diferencia es que se necesitan otras características del material, en relación a la uniformidad, granulometría y contenido de arcilla.
- Los talleres de ladrillos mecanizados emplean máquinas que extruyen la arcilla por un troquel para formar una columna de arcilla, que es cortado con alambre en piezas del tamaño de un ladrillo. Este método produce ladrillos más densos y resistentes, que también pueden ser perforados.
- Una solución intermedia es el moldeado de tejas y ladrillos con compresión mecánica. Dos máquinas producidas en Bélgica (CERAMAN y TERSTARAM) fueron diseñadas especialmente para este propósito, pero también son empleadas para fabricar ladrillos de suelo estabilizado, secados al aire. La compresión mecánica permite contenidos de humedad considerablemente bajos, acortando así el período de secado.

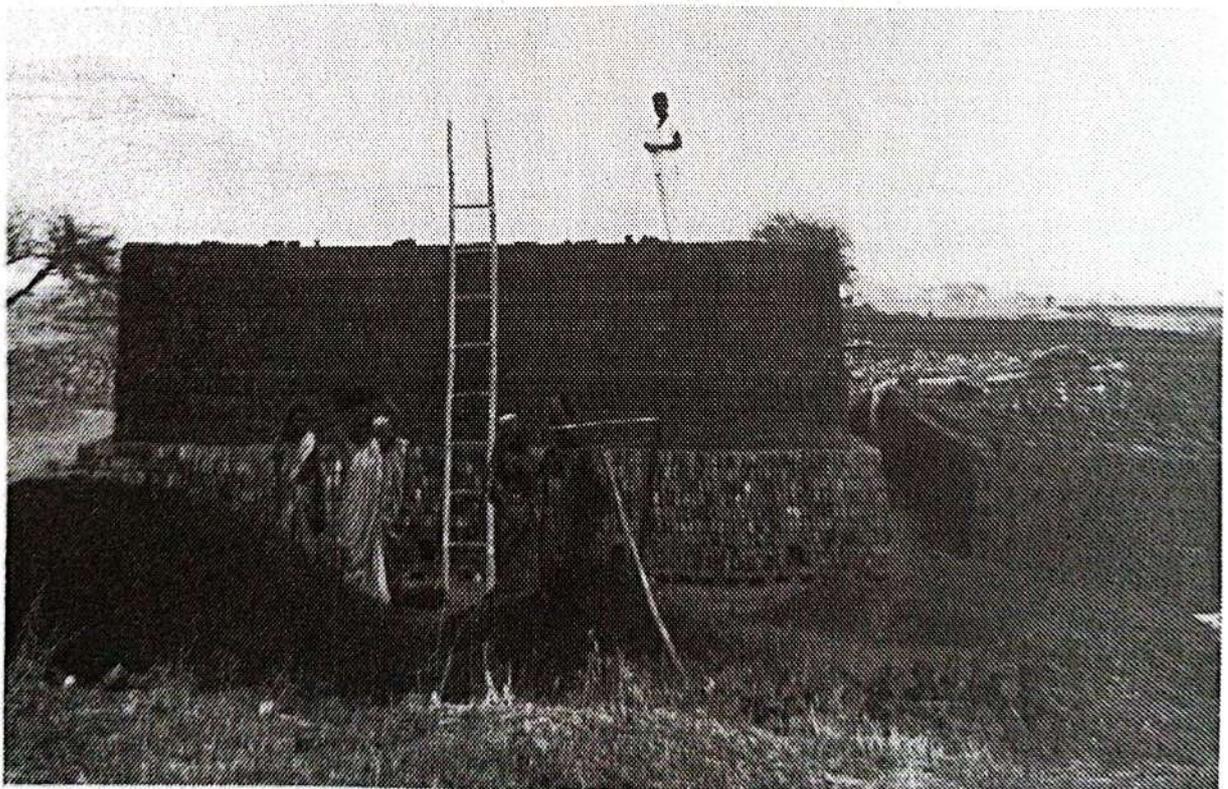


Fabricación de ladrillos en Ghana: Preparación de las bolas, cortado de la arcilla sobrante, retirado de los ladrillos del molde para colocarlos en estantes para el secado; ladrillos cocidos listos (Fotos: H. Schreckenbach, Bibl. 00.49)



Secado

- Es probable que los ladrillos crudos se aplasten en el horno, bajo el peso de los que están encima; se pueden contraer y agrietarse durante el cocido; el agua expulsada puede condensarse en los ladrillos fríos, lejos de la fuente de calor; o se puede generar vapores, creando presiones excesivas en los ladrillos; y, finalmente se necesita mucho combustible para eliminar el agua restante. Por ello, es vital un secado completo.
- El secado debe ser relativamente lento, esto es, la velocidad a la cual la humedad se evapora de la superficie no debe ser más rápida que la velocidad a la cual se puede expandir por los finos poros del ladrillo crudo. Los ladrillos deberían estar rodeados por aire, por lo que deben ser apilados con suficientes espacios vacíos entre sí.
- El secado natural se hace a la intemperie bajo el sol, pero es aconsejable un recubrimiento protector (láminas plásticas, hojas o hierba) para evitar un secado rápido. Si es probable que llueva, el secado debe realizarse bajo techo. Aunque tradicionalmente, los ladrillos sólo se hacen en la estación seca.
- El secado artificial (empleado en las grandes plantas mecanizadas) se realiza en cámaras especiales que hacen uso del calor recuperado de los hornos o zonas de enfriamiento.



Horno típico en la India: el carbón de piedra triturado, que esta siendo cernido en la foto, es el combustible empleado. A la derecha hay ladrillos crudos apilados para ser secados. (Foto: K. Mukerji)

- La contracción debido al secado es inevitable y no causa serios problemas si es menor de 7% de contracción lineal. No se debe exceder de una contracción lineal de 10%. Si es necesario, debe reducirse la proporción de arcilla añadiendo arena o chomota (desechos de ladrillos pulverizados).

Cocción

- Hay dos tipos de hornos para cocer ladrillos: horno intermitente y continuo.
- Los hornos intermitentes incluyen mordazas y hornos «Scove» (hornos de campo tradicionales), hornos de tiro de aire superior y los de tiro de aire inferior. La eficiencia del combustible es muy baja, pero se adaptan a las cambiantes demandas del mercado. Varían en tamaño desde 10,000 a 100,000 ladrillos.
- Los hornos continuos incluyen varias versiones del horno Hoffmann (particularmente el horno de trinchera de Bull) y el horno de tiro de aire forzado. Son muy eficientes en el consumo del combustible. Los hornos túnel, en los cuales los ladrillos pasan a través de un fuego estacionario, son demasiados sofisticados y costosos para ser considerados aquí.
- Las mordazas básicamente son una pila de ladrillos crudos esparcidos con material combustible (por ejemplo, carbón de piedra triturado, cascaras de arroz, estiércol). En la base de la mordaza se dejan algunos orificios en donde se prende el fuego. Los orificios se cierran y se deja arder el combustible, lo cual puede tomar pocos días o varias semanas. Los ladrillos cerca al centro de la mordaza serán más duros. Es necesario seleccionarlos, ya que aproximadamente 20 o 30% serán inservibles. Estos son recocidos o empleados en la base, en los lados o en la parte superior de la mordaza.
- Los hornos scove, revocados en ambos lado con barro, básicamente son iguales que las mordazas, excepto que los túneles se construyen a través de la base de la pila para alimentar combustible adicional. Este es el mejor método para quemar madera.
- Los hornos con tiro de aire superior (también conocido como hornos Escocés) funciona igual que los scoves, excepto que los túneles y las paredes son permanentes.
- Los hornos con tiro de aire inferior tienen un techo abovedado permanente. Los gases calientes del combustible quemado en los lados del horno, se elevan hacia el techo arqueado y descienden entre los ladrillos por la succión de la chimenea, a través del piso perforado para salir por la chimenea.
- El horno Hoffmann, que originalmente era circular pero ahora más comúnmente es oval, es un horno multicámaras en el cual el aire de combustión es precalentado enfriando ladrillos en algunas cámaras, y pasa por la zona del fuego, desde la cual los gases de evacuación precalientan los ladrillos crudos. Mientras los ladrillos enfriados son retirados de un lado de la cámara vacía, los ladrillos crudos son apilados en el otro lado. El combustible es alimentado por la parte superior, a través de los orificios en el techo arqueado permanente. La producción diaria es de aproximadamente 10,000 ladrillos.
- El horno de trinchera de Bull funciona bajo el principio del horno Hoffmann, excepto que se omite el costoso techo abovedado y los gases de evacuación salen por chimeneas de metal intercambiables de 16 m. de alto con una amplia base, que se acoplan en los orificios de ventilación ubicados en la parte

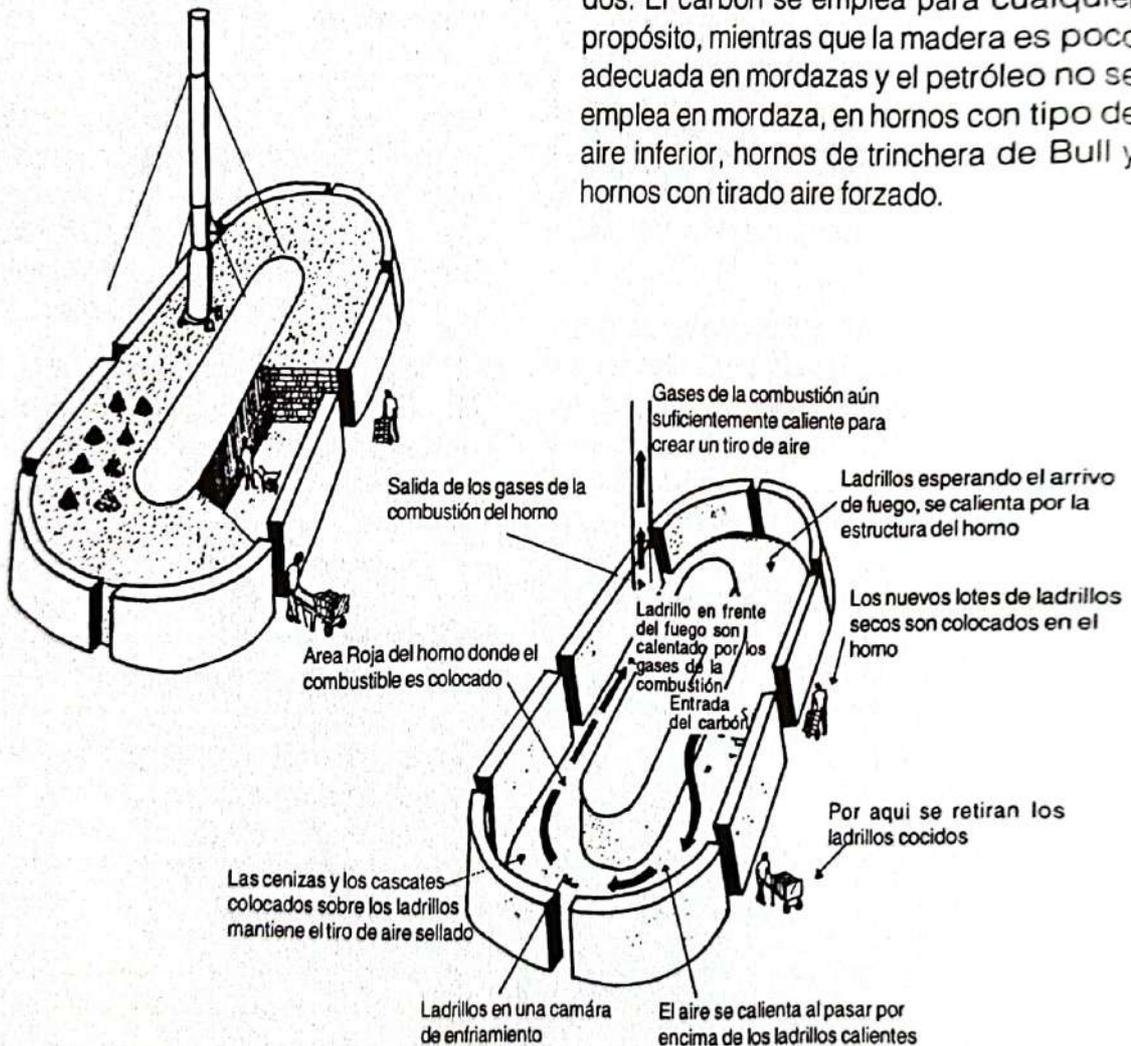


superior del horno. El combustible, generalmente carbón de piedra triturado es alimentado por los orificios de la parte superior. Dependiendo del tamaño del horno la producción diaria puede variar entre 10,000 y 28,000 ladrillos, siendo el 70% de ellos de alta calidad.

- El horno con tiro de aire forzado es una versión mejorada de horno de trinchera de Bull, en el que las paredes transversales tempo-

rales de ladrillos crudos dejan aberturas en los lados alternos, haciendo que el aire caliente viaje una gran distancia en zigzag, obteniendo una mayor transferencia de calor en una cantidad dada de combustible-calor factor (madera y piedra de carbón). Para proporcionar el tiro de aire necesario se instalan ventiladores. Es posible una producción diaria de 30,000 ladrillos.

- La madera, el carbón y el petróleo son los principales tipos de combustible empleados. El carbón se emplea para cualquier propósito, mientras que la madera es poco adecuada en mordazas y el petróleo no se emplea en mordaza, en hornos con tipo de aire inferior, hornos de trinchera de Bull y hornos con tirado aire forzado.



Mecanismo de Trabajo del Horno Continuo de Trinchera de Bull empleado en Pakistán e India (Bibl. 04.11)

Requerimientos Comunes de Combustible para hornos (Bibl.04.04)

Tipo de Horno	Requirimiento de calor (MJ/1000 Ladrillos)	Cantidad de Combustible requerido (toneles/1000 Ladrillos)		
		Madera	Carbón	Aceite
<u>Intermitente</u>				
Mordaza	7 000	(0.44)	0.26	(0.16)
Scove	16 000	1.00	0.59	0.36
Scotch	16 000	1.00	0.59	0.36
Corriente Aire hacia abajo	15 500	0.97	0.57	(0.35)
<u>Continuo</u>				
Hoffmann Original	2 000	0.13	0.07	0.05
Hoffmann Moderno	5 000	0.31	0.19	0.11
Trichera de Bull	4 500	0.28	0.17	(0.10)
Habla (corr. fuerte)	3 000	0.19	0.11	(0.07)
Tunnel	4 000	(0.25)	(0.15)	0.09

Nota: Las cifras que están entre paréntesis indican que el combustible no es adecuado para este horno.

Aplicaciones

- Los ladrillos sólidos o perforados de todas las formas y tamaños para construcciones normales de mampostería, incluyendo ciementos, pisos y muros, arcos, bóvedas y cúpulas.
- Tejas para techo de variadas formas y tamaño para techos con pendiente entre un rango de 1:3 (18°30') y 1:1 (45°).
- Tejas para piso y ladrillos de fachadas para acabados de superficies durables e impermeables, y para mejorar la apariencia.
- Productos especiales, tales como ladrillos industriales que tienen alta resistencia a compresión y densidad; ladrillos refractarios, con gran resistencia al calor, empleados para forrar calderas y hornos; ladrillos y tejas resistentes a los ácidos para soportar los ataques químicos; y piezas de canales y tuberías para diversos propósitos.
- Bloques de arcilla perforados, con formas especiales para conformar losas compuestas de concreto armado (para entresijos y techos).
- Los residuos de ladrillos pueden emplearse para construir paredes de hornos, como rellenos de huecos de muros y pisos, como árido para el concreto, o, cuando es muy fino, los residuos poco cocidos producen una puzolana (surkhi) y otros producen chomotas para la fabricación de ladrillos.

Ventajas

- Los productos de arcilla cocida pueden tener altas resistencias a compresión, incluso cuando están húmedos, y por tanto son resistentes a los impactos y a la erosión.
- La porosidad de la arcilla quemada permite movimientos de humedad, sin producir cambios dimensionales significativos. Las construcciones de tejas y ladrillos pueden «respirar».
- Los ladrillos sólidos tienen una alta capacidad térmica, necesaria para la mayoría de los climas, excepto para las zonas predominantemente húmedas; los ladrillos perforados (con perforaciones verticales) pueden emplearse para muros con cavidad, que proporcionan aislamiento térmico, o (con perforaciones perpendiculares a la cara del muro) para muros con ventilación o rejilla.
- Los productos de arcilla cocida proporcionan una excelente resistencia al fuego.
- Los ladrillos y tejas son resistentes a los agentes atmosféricos y pueden permanecer sin ninguna protección superficial, con lo cual se ahorran costos. Sin embargo, las obras de ladrillos expuestos a menudo son considerados sin acabado y, por lo tanto, no siempre son aceptados.
- Los ladrillos rotos y de mala calidad son usados para otros propósitos, por lo tanto no se desperdician.
- El proceso de producción puede ser extremadamente intensivo en mano de obra y crear muchos puestos de trabajo incluso para trabajadores no capacitados.

Problemas

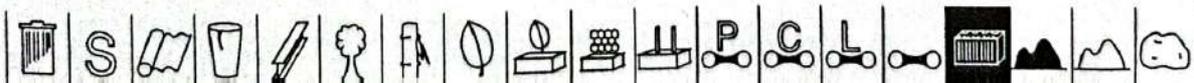
- El proceso de cocción tiene un consumo de combustible relativamente alto. En muchos

países, en donde se emplea leña, grandes áreas forestales han desaparecido causando un serio daño ecológico. Aún en donde hay leña disponible, ésta es generalmente muy cara, pero ello también es cierto para los otros combustibles. Por consiguiente, los productos de arcilla cocida de buena calidad tienden a ser caros.

- Los hornos de campo simple no siempre producen ladrillos uniformes y de buena calidad, y generalmente funcionan con ineficiencia en cuanto al combustible. Las inversiones de capital en hornos eficientes en cuanto al consumo de combustible son altos, los cuales producen buenos ladrillos a menudo son demasiado caros para los pequeños productores. Tampoco se justifica si no hay una demanda grande y continua de ladrillos.
- Un defecto común de los ladrillos es «el caliche» (o «la expansión de la cal»), esto es, un debilitamiento o rotura de los ladrillos, que es causado por la hidratación de las partículas de cal viva, producidas por la caliza que esta presente en las arcillas con la que se fabricó los ladrillos.
- Otro defecto es la «eflorescencia», que aparece temporalmente sobre la superficie del ladrillo, y es causada por las sales solubles inherentes en la arcilla o el agua del proceso.

Soluciones

- La eficiencia en el consumo del combustible depende principalmente del diseño del horno: los hornos continuos retienen por más tiempo el calor y utilizan el calor de los ladrillos calientes, mientras los ladrillos crudos son precalentados por los gases de evacuación. Los hornos intermitentes tienen que calentar todo el lote nuevamente, cada vez que se cuece cada lote.



- La leña no debe emplearse más rápido de lo que puede renovarse. Por ello son vitales las plantaciones de árboles de rápido crecimiento. Considerando su menor valor calorífico, se necesita una mayor cantidad de árboles de rápido crecimiento que de árboles de lento crecimiento. Sin embargo, tales plantaciones pueden ser difíciles de mantener en regiones secas o cuando las lluvias fallan.
- Los residuos de la agricultura y otras biomásas, tales como cascaras de arroz, cascaras de café, papiro, son combustibles sustitutos útiles y (parcialmente) baratos. Mezclándolos con la arcilla ayudan a cocer uniformemente los ladrillos, evitando que los centros no estén cocidos.
- Los hornos de trinchera de Bull y de corriente de aire forzado tienen una eficiencia en el consumo de combustible comparable a los hornos mecanizados, sofisticados. También son más baratos de construir que el horno Hoffmann. Por ello, se considera mejor el emplear el primer lote de ladrillo de una mordaza para construir un horno más eficiente en cuanto al consumo de combustible, con lo cuál, el tamaño se ajustará para satisfacer las demandas del mercado local. No obstante, para proporcionar la corriente de aire requerida se necesita un tamaño mínimo determinado.
- El calicho puede minimizarse reduciendo el tamaño de las partículas de la mezcla de materia prima y cociendo a 1000°C. Añadir de 0.5 a 0.75% de sal común (cloruro de sodio) antes del cocido también se ha probado que es efectivo. Después del cocido los ladrillos pueden ser sumergidos en agua durante diez minutos, durante los cuales la cal es apagada. El proceso, llamado «rebaño», no siempre es exitoso.
- Las mejoras son posibles y necesarias en todas las fases de la fabricación de ladrillos, de modo que una buena dedicación a la investigación es requerida para encontrar métodos simples y baratos para una adecuada preparación de la arcilla, un moldeado uniforme y rápido, y lo más importante una máxima eficiencia en el consumo de combustible.

AGLOMERANTES

Generalidades

Los aglomerantes son sustancias empleadas para adherir partículas y fibras orgánicas e inorgánicas para formar componentes resistentes, duros y/o flexibles. Esto es debido generalmente a las reacciones químicas que ocurren cuando el aglomerante es calentado, mezclado con agua y/u otros materiales, o simplemente expuesto al aire.

Hay cuatro grupos principales de aglomerantes:

- Aglomerantes minerales.
- Aglomerantes bituminosos.
- Aglomerantes naturales.
- Aglomerantes sintéticos.

Aglomerantes Minerales

Estos se dividen en tres categorías:

- Aglomerantes hidráulicos, los cuales requieren agua para endurecer y desarrollar resistencia.
- Aglomerantes no hidráulicos, los cuales sólo se pueden endurecer ante la exposición al aire.
- Aglomerantes termoplásticos, los cuales se endurecen cuando se enfrían y se vuelven suaves cuando son calentados nuevamente.

Aglomerantes Hidráulicos

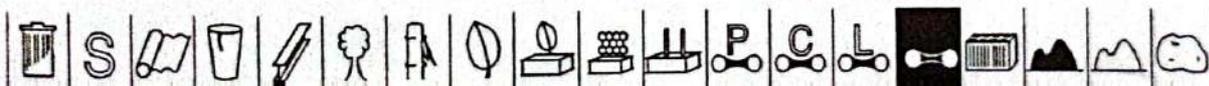
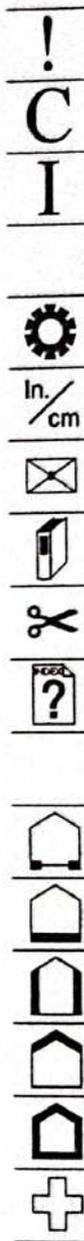
- El aglomerante hidráulico más común es el cemento (ver la sección titulada Cemento).
- Las cales hidráulicas y semihidráulicas (ver sección Cal) se obtienen al cocer la piedra caliza, que contiene una cantidad grande o moderada de arcilla. Esto puede entenderse fácilmente, ya que la piedra caliza y la ar-

cilla son las principales materias primas para la producción de cemento.

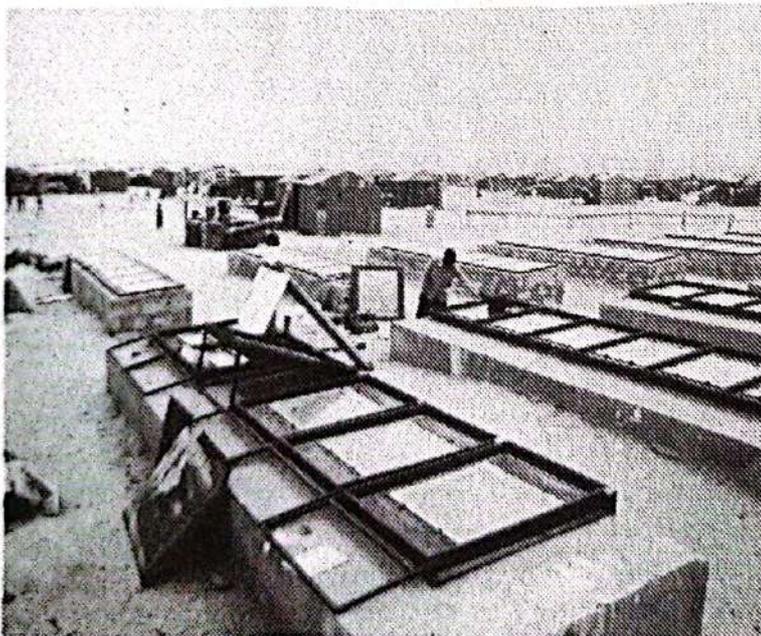
- Las Puzolanas (ver sección Puzolanas), cuando son mezcladas con cal no hidráulica forman un cemento hidráulico.
- Los aglomerantes hidráulicos generalmente están disponibles en forma de polvo fino: mientras más finos son pulverizados (usualmente en un molino), más grande es el área de superficie específica (de la suma de las partículas) por unidad de peso. Y mientras más es el área de superficie, más efectiva y completa es la reacción química con el agua al hacer contacto.
- A causa de su afinidad al agua, los aglomerantes hidráulicos deben ser almacenados en condiciones absolutamente secas, para evitar un fraguado y endurecido prematuro. Incluso el aire húmedo puede causar hidratación.

Aglomerantes No Hidráulicos

- El aglomerante no hidráulico más común es la arcilla, que esta presente en la mayoría de tierras, causando que se endurezcan al ser secadas y se ablande cuando son humedecidas. Sus principales aplicaciones son en construcciones de tierra y en la fabricación de productos de arcilla cocida.
- Otro aglomerante no hidráulico común es la cal con alto contenido de calcio o magnesio (ver sección Cal). El endurecimiento depende de su combinación con el dióxido de carbono del aire (carbonación), por el cual éste nuevamente se vuelve carbonato de calcio (piedra caliza). Pero las cales raramente son empleadas como el único aglomerante cementoso, y usualmente reaccionan con la arcilla o alguna puzolana para formar un cemento hidráulico.



- El yeso es un aglomerante no hidráulico que se encuentra naturalmente como una arena o roca suave cristalina. El nombre químico es sulfato de calcio dihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Mediante un calentamiento aproximadamente a 160°C , se produce sulfato de calcio semi-hidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), más conocido como «mortero de París», el cual cuando es mezclado con el agua se fragua en 8 a 10 minutos. El yeso ha sido producido exitosamente mediante energía solar. Un mayor calentamiento del yeso, ligeramente superior a los 200°C (no obtenido mediante energía solar) produce yeso anhidro (CaSO_4), el cual cuando es mezclado con agua se fragua muy lentamente.
- El yeso también se encuentra disponible en abundancia como un sub-producto industrial, de la evaporación del agua de mar al producir sal común, o de la fabricación de fertilizante obtenido de la roca fosfato. A este último se le llama fosfoyeso, el cual contiene más agua que el yeso natural, es más ácido y tiene más impurezas, por lo que se requiere un procesamiento costoso. También es algo radioactivo y por ello no es recomendable en edificaciones.
- El yeso es empleado como un material de construcción, principalmente como un retardador para regular el fraguado de diversos tipos de cemento hidráulico, y junto con una variedad de otros materiales (por ejemplo, cal, arena, aserrín, cañamo, sisal, aceite de linaza, papel) para producir enlucidos, tableros y bloques de manpostería.
- Las principales ventajas del yeso son el poco consumo de energía durante el cocido para producir mortero de yeso; el rápido secado y endurecido, con despreciable contracción; la buena adhesión a las fibras y otros materiales; buena resistencia al fuego; buena reflexión del sonido (si es denso y duro); buen acabado de la superficie; resistente a los insectos y roedores.



*Calcinación de Yeso
con energía solar
(Foto: N. Nohier)*

- La principal desventaja del mortero de yeso es su solubilidad en el agua (2 g. de yeso por litro de agua). El aire húmedo también puede ablandar el mortero de yeso. Las heladas y los cambios repentinos de temperatura también puede causarle daño.
- A causa de esta desventaja, el yeso no debería emplearse en superficies externas en zonas climáticas húmedas, a menos que esté bien protegido mediante techos con amplios aleros y un revestimiento impermeable (por ejemplo, aceite de linaza caliente).

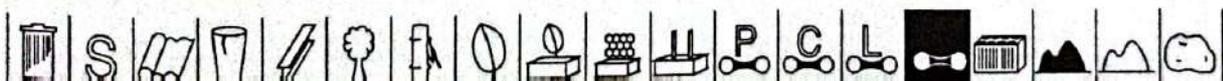
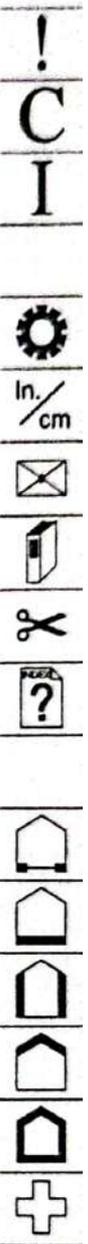
Aglomerantes Termoplásticos

- Los materiales termoplásticos necesitan calor para ser procesados y se endurecen al enfriarse. Sus propiedades permanecen intactas al recalentar y enfriar, de modo que pueden ser reciclados y reprocesadas numerosas veces.
- Probablemente el único aglomerante mineral termoplástico empleado en construcciones es el azufre. Para mayores detalles ver la sección titulada Azufre.

Aglomerantes Bituminosos

- *Los betunes* son mezclas mecánicas de diferentes hidrocarburos (compuestos de carbón e hidrógeno) y algunas otras sustancias, y son obtenidos como residuos en la destilación del petróleo crudo, ya sea en refineras de petróleo o en la naturaleza (en poros de roca o en la forma de lagos, cercanos a los depósitos de petróleo). Los betunes generalmente son sustancias termoplásticas fluorescentes, aceitosas, negro oscuras, que son altamente viscosas a casi sólidas a temperaturas normales. A los compuestos que constan de 40% como mínimo de hidrocarburos pesados se les llama betunes.

- *Los asfaltos* son definidos como mezclas que contienen betunes y una proporción sustancial de materia mineral inerte (arena, grava, etc.). En los EE.UU., al betún se le llama asfalto, lo cual causa cierta confusión.
- *El alquitrán* es la sustancia negra espesa producido en la destilación destructiva (carbonización) de materia orgánica, tal como la madera o el carbón de piedra.
- La brea es el residuo obtenido luego de destilar el alquitrán proveniente del carbón de piedra.
- El betún no se afecta por la luz, el aire o el agua en forma individual, pero ellos en combinación pueden volverlo frágil, poroso y susceptible a la oxidación, formando ampollas y grietas. Se vuelve blando a temperaturas entre 30°C y 100°C (no hay un punto de fusión), y por lo tanto debe ser protegido de la exposición al calor. Es insoluble en el agua y bastante resistente a la mayoría de los ácidos. Aunque el betún es combustible, sus compuestos, tales como la masilla asfáltica, no son de fácil combustión. Los productos de betún y de alquitrán de carbón de piedra pueden ser venenosos, por ello debe evitarse el contacto con el agua potable.
- Los productos bituminosos pueden emplearse como materiales impermeables (en la estabilización del suelo, como pinturas, membranas impermeabilizante, filtro para techos, rellenos de juntas, etc.), como materiales para pavimento carreteras y pisos) y como adhesivos (para pisos de bloques de madera, fieltros y recubrimientos aislantes).
- Cuando se emplea el betún, éste debe ser calentado; o mezclado con solventes (por ejemplo, gasolina, kerosene o nafta), al cual se le llama «betún diluido»; o disuelto en agua, al cual se le llama «emulsión de betún».



Aglomerantes Naturales

- De las plantas y animales se obtiene una variedad de aglomerante que pueden ser empleados en su forma natural o bajo procesamiento.
- Ejemplos de aglomerantes naturales son jugos de planta (ejem. jugo de hoja de plátano, látex de ciertos árboles, jugo de sisal, aceites de linaza, coco y algodón), excremento de animal (ejem. estiércol; orina de caballo) y otros productos de animales (ejem. sangre de buey, pegamento (cola) animal de cuernos, huesos, abdomen, pellejo; caseína o suero, de la leche).
- Los aglomerantes naturales han jugado un importante rol en las construcciones tradicionales desde tiempos prehistóricos, pero hoy en día enfrentan una baja aceptación social. Sin embargo, la investigación actual esta incrementando la importancia de dichos materiales, especialmente con una visión de reducción de costos y aceptabilidad ambiental.

Aglomerantes Sintéticos

- Estos aglomerantes generalmente son producidos mediante procesos industriales y, por lo tanto, a menudo son caros. Algunos aglomerantes sintéticos son tóxicos.
- Pueden ser empleados como aditivos, como adhesivos o como revestimientos para superficies y pueden ser aplicados en calientes, o como una emulsión, o como un solvente.
- Los aditivos sintéticos que unen las partículas sueltas principalmente son resinas derivados de materiales vegetales o aceites minerales. La variedad de productos comerciales es muy grande y su empleo de-

pende del comportamiento requerido (resistencia, impermeabilidad, elasticidad, etc.).

- Los adhesivos son empleados para pegar partículas más grandes, componentes, membranas, láminas, tableros, tejas, etc. sobre otras superficie. Algunos adhesivos son diseñados específicamente para un objetivo, mientras otros pueden ser empleados para varias aplicaciones. Los adhesivos pueden tener uno o dos componentes. Algunos adhesivos son termoplásticos y mantienen sus propiedades cuando son recalentados y enfriados.
- Los revestimientos de superficie pueden emplearse como una lámina protectora, como decoración o incluso para unir superficies. Aquí también la variedad de productos es muy grande como para ser tratada en este libro.

CAL

Generalidades

La producción de cal en hornos es una vieja tecnología con más de 2000 años de antigüedad, se cree que fue desarrollada por los romanos alrededor del 300 A.C. El proceso de cocción de la piedra caliza a temperaturas superiores a los 900°C para producir cal viva, que luego es apagada con agua para producir cal hidratada, es desde entonces una práctica tradicional en la mayoría de los países, la cal es uno de los materiales más versátiles, empleado en numerosos procesos agrícolas e industriales, para la protección ambiental y construcción de edificaciones.

La cal también es obtenida como un subproducto en forma de lodo de cal (que contiene carbonato de calcio y diversas impurezas) de la fabricación de azúcar, y de las industrias de papel y acetileno.

Las reacciones químicas en la cocción de la cal son:

Reacción 1: (900°C, dependiendo del tipo de piedra caliza)

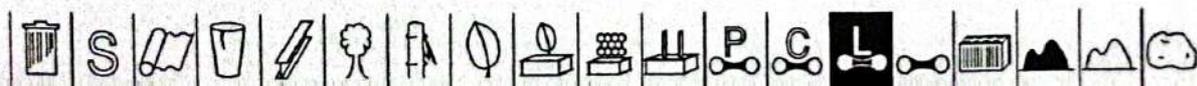
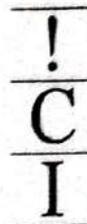


o

Reacción 2: (a aproximadamente 750°C):



después de la Reacción 1 (a aproximadamente 1100°C)



aglomerante «milagroso» en casi todas partes.

Soluciones

- El tiempo para el curado de suelos estabilizados con cal puede reducirse empleando cales hidráulicas o añadiendo una puzolana a las cales no hidráulicas.
- La cal viva tiene que ser hidratada antes de emplearse en obras de construcción, por ello esto debe hacerse tan pronto como sale del horno, ya que la cal hidratada es mucho más fácil de guardar y transportar.
- Para evitar un rápido deterioro de la cal hidratada seca, debe ser guardada en bolsas herméticas.
- Es ventajoso guardar la cal en forma de pasta. Esto puede hacerse indefinidamente, ya que la calidad de la pasta de cal mejora mientras mas tiempo esta guardada. Con este método, son apagadas incluso las partículas de cal viva de más lenta hidratación, evitando así el hinchamiento de la cal en una etapa posterior.
- Debe haber una mayor difusión de información y asesoría a los productores locales de cal para que construyan hornos de cal más eficientes (en términos de consumo de combustible y producción de cal).
- Se necesitan esfuerzos similares para reivindicar la cal como uno de los materiales de construcción más importantes.

Combustibles

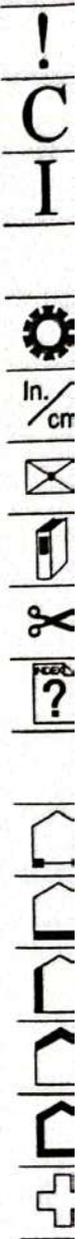
- La madera y el carbón de piedra son los combustibles tradicionales más comunes. La cocción con madera produce algunas de las cales de mejor calidad, ya que éstas se hornean con llamas largas y uniformes que generan vapor (por el contenido de humedad de la madera), lo cual ayuda a disminuir la temperatura necesaria para la disociación (separación del CO₂ de los carbonatos), reduciendo así el peligro de cocción excesiva.
- La madera debe ser secada y cortada en piezas relativamente pequeñas. El abastecimiento de madera debería estar cercana al horno para evitar altos costos de transporte. Para la producción de cada tonelada de cal hidratada se necesita aproximadamente 2 m³ de madera. Esto es un problema, en vista de la rápida depredación de las fuentes de madera, pero una posible solución es fomentar plantaciones de madera combustible.
- El carbón de leña da una eficiencia mayor, pero la cal producida no es tan buena como la horneada con madera.
- El carbón de piedra con un alto contenido de carbón produce una buena cal y puede ser un combustible económico incluso en hornos pequeños. El coke es preferible debido a su bajo contenido volátil (hidrocarburos que se puedan evaporar), pero es difícil de prender y, por lo tanto, a menudo es mezclado con carbón de piedra.
- Los combustibles líquidos y gaseosos, aunque más caros, son más fáciles de manipular que los combustibles sólidos, y se queman sin producir cenizas que contaminen la cal.
- Los tipos principales son los aceites combustibles pesados, a menudo mezclados con aceite usados en motores. El combusti-

ble es vaporizado, mezclado con aire y prendido en cámaras ubicadas alrededor del horno, produciendo llamas grandes antes de hacer contacto con la piedra caliza.

- Los gases de petróleo licuados, principalmente propano (C₃H₈) y butano (C₄H₁₀), son otros combustibles líquidos empleados. Igualmente se emplea el gas natural, como el metano (CH₄), y el gas producido, hecho de madera, material vegetal o carbón de piedra.
- Si se emplean aceites o gases, los hornos necesariamente deberán ser más sofisticados que los empleados con combustibles sólidos.
- Los posibles combustibles alternativos son la turba, los esquistos y la biomasa, derivados de materiales vegetales incluyendo residuos forestales y agrícolas. Pueden emplearse de diferentes maneras.
- La energía solar y eólica son poco probable de emplearse en un futuro cercano.

Diseño y Funcionamiento del Horno

- Un horno de cal es una construcción en la cual la piedra caliza es calentada a una temperatura tal que libere el CO₂, convirtiendo la piedra en cal viva. El calor es proporcionado por combustibles adecuados que pueden ser colocados en capas entre la piedra caliza o mezclados con ésta. Los combustibles gaseosos o líquidos son inyectados por los lados del horno o quemados en cámaras adyacentes, desde las cuales los gases calientes ingresan al horno.
- Es necesario un control cuidadoso para mantener la temperatura correcta el tiempo suficiente como para quemar completamente la piedra. La piedra caliza subhorneada no se hidratará, mientras que el



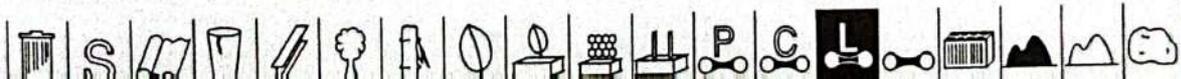
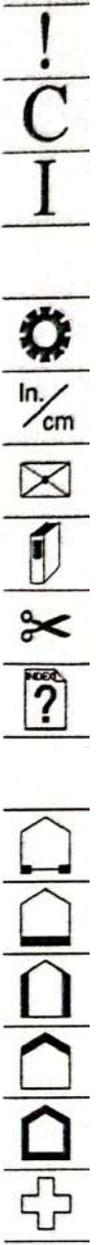
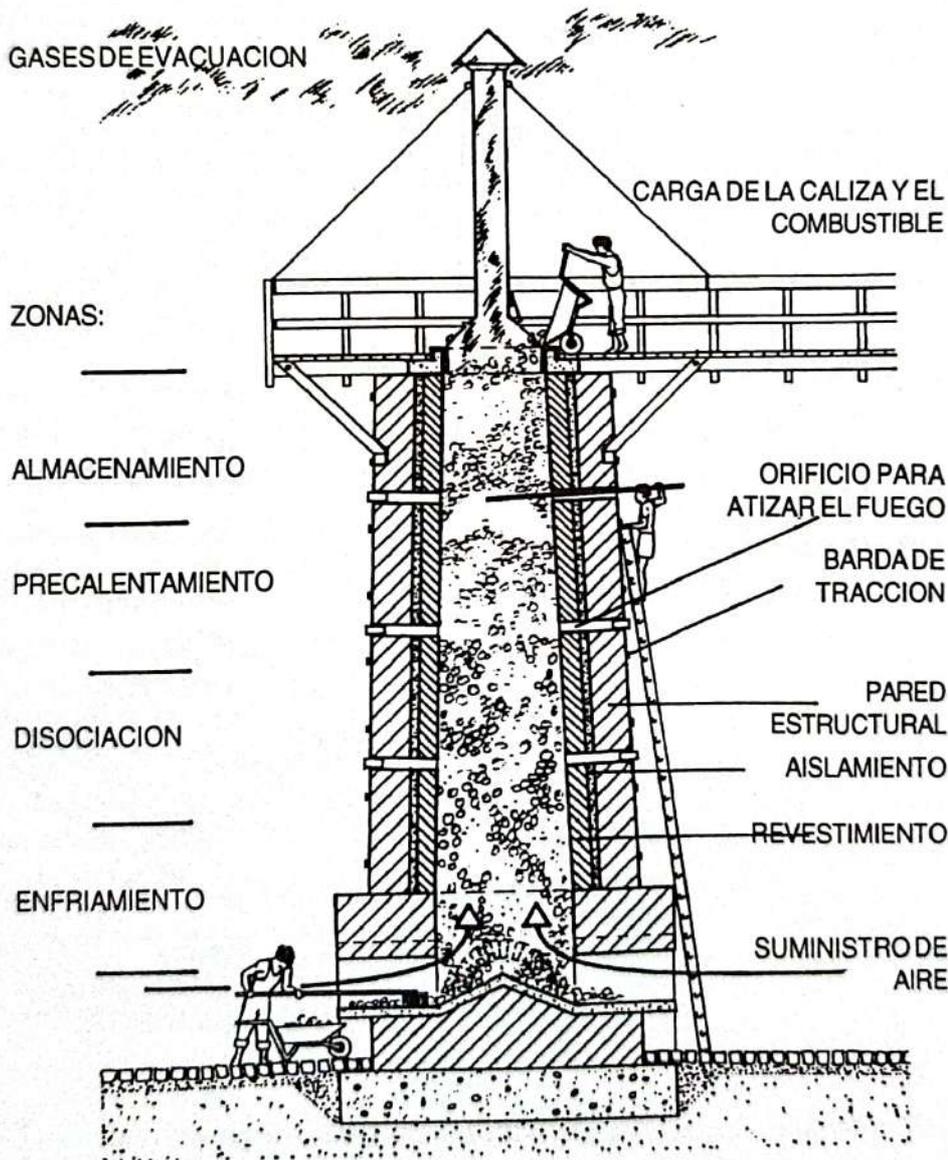
material sobrehorneado es muy duro y denso para apagarse, o se hidrata muy lentamente.

- Como la variedad de tipos de horno es muy amplia, aquí sólo los describiremos en términos generales. Los más sofisticados (ejem. hornos con lechos fluidos y rotatorios) no serán tratados, aunque en ciertas situaciones su empleo pueda ser valioso de tomar en cuenta.
- Los hornos intermitentes o por lotes generalmente son empleados en lugares remotos, en donde no se necesita un abastecimiento continuo (ejem. pequeños proyectos de vivienda o construcción de carreteras). Son cargados con piedra caliza y encendidos hasta que toda la piedra ha sido cocida. Luego de enfriar, se extrae la cal viva, se vuelve a cargar con piedra caliza y nuevamente se enciende el horno. La eficiencia del combustible naturalmente es muy baja, ya que las paredes del horno tienen que ser recalentadas cada vez que se enciende un nuevo lote. Por otro lado, necesita muy poca atención durante el quemado. El combustible se quema debajo de la piedra caliza (en hornos de llama o de tiro de aire superior) o dentro del lote completo (en hornos de alimentación combinada).
- Los hornos de eje vertical son diseñados principalmente para producción continua: la piedra, alimentada por la parte superior, cae gradualmente en la zona de cocción, luego en la zona de enfriamiento, y finalmente es extraída por abajo, dejando sitio para la siguiente carga, y así sucesivamente. La capa superior es precalentada por los gases de evacuación y el aire que ingresa por debajo es precalentado por la cal viva en enfriamiento, obteniendo así, el máximo uso del calor disponible.

Las principales características del diseño y consideraciones del funcionamiento respecto a los hornos de alimentación combinada y eje vertical son:

- Cimientos y base del horno: construido sobre un terreno firme y con las dimensiones adecuadas para soportar al fuste y al contenido del horno; es necesaria la asesoría de un ingeniero.
- Forma y dimensiones del fuste: el área de la sección transversal está relacionada a la producción deseada (regla del pulgar: 1 m² produce aproximadamente 2.5 toneladas por día); una planta circular proporciona una mejor distribución del calor; la relación entre altura y diámetro debe ser al menos de 6:1 para un flujo de gas óptimo; la altura debe estar relacionada al tipo de piedra caliza, ya que las piedras suaves tienden a molerse bajo la presión, restringiendo así el flujo del gas (los hornos para tiza blanda no deben exceder de 5 mt. de alto); los fustes que se adelgazan hacia la parte superior (a un ángulo aproximadamente de 3°C) minimizan las «piezas colgantes» (piedras que se adhieren a los lados y forman arcos).
- Paredes estructurales: deben soportar la presión lateral de la piedra caliza (proporcionando un mayor grosor de la pared en la base, o contrafuertes, o mediante bandas de tracción de acero a intervalos de 80 cm., tal como los desarrollados por la Khadi and Village Industries Commission, Bombay); deben resistir el agrietamiento que podrían ocasionar la expansión del calor (empleando pequeños ladrillos en lugar de bloques grandes, y mortero de arena y cal en juntas angostas); espesor de la pared de 50 cm. como mínimo para un buen comportamiento térmico; material resistente a los agentes atmosféricos (piedra natural o ladrillos bien

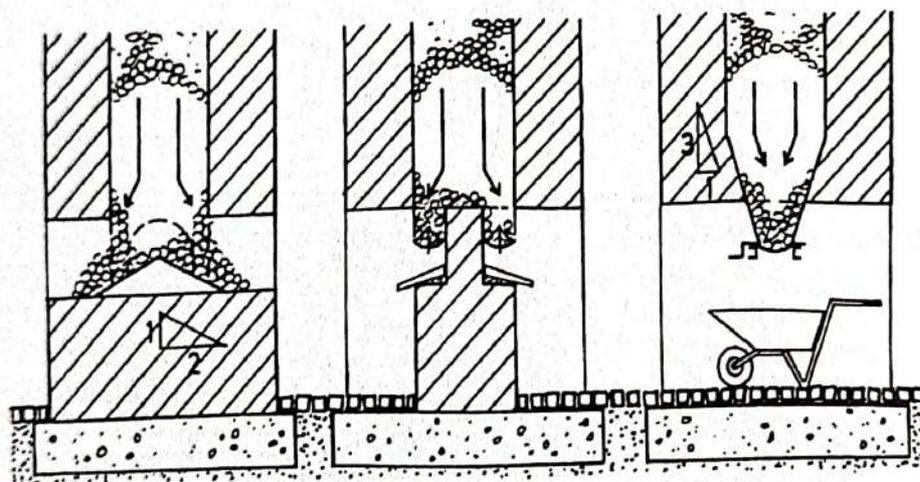
- cocidos) al menos para las hiladas del muro superior.
- Revestimiento: espesor de 22 cm como mínimo, en la parte superior del horno, resistente a la erosión (ejem. piedra dura o ladrillos azules especiales); en la zona de cocción y debajo, resistente al calor y a la acción química (ladrillos refractarios duros, de textura fina colocados con juntas muy finas de mortero de arcilla cocida).
- Aislamiento: usualmente de 5 a 10 cm. de espesor, entre la pared y el revestimiento para retener el calor en el horno, especialmente alrededor de la zona de calcinación; hay diferentes aislantes (ejem. vacíos de aire, ceniza de cascara de arroz u otra puzolana, árido ligero, lana mineral).
- Aberturas: en la parte superior para la alimentación, preferiblemente con tapa, si hay una chimenea más allá de abertura; en la parte inferior para que el aire fluya hacia



adentro y para retirar la cal viva enfriada, por lo que con una abertura simple en el centro (de tipo hacia adentro) el control del tiro de aire es más fácil que con dos o más aberturas (de tipo hacia afuera); alrededor del horno a diferentes niveles como orificios para atizar e inspeccionar, usualmente del tamaño de un ladrillo (el cual es empleado para cerrar), para aflojar regularmente los terro-

nes de caliza amontonados y para controlar la temperatura dentro del horno.

- Chimenea: entre 2.5 y 6 m. de altura, para mejorar el tiro de aire y proporcionar así suficiente oxígeno para la combustión, para enfriar la cal viva, y para alejar los gases de evacuación de los operarios que cargan el horno.



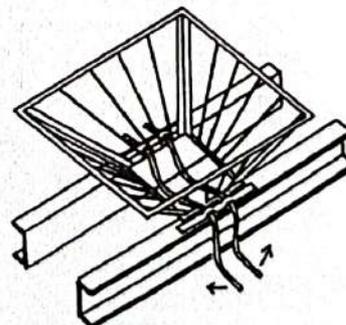
TIPO HACIA AFUERA

TIPO HACIA AFUERA/
VERTICAL

TIPO HACIA ADETRO



ENREJADO PARA
ABERTURA DE
DESCARGA DE TIPO
HACIA AFUERA/
VERTICAL



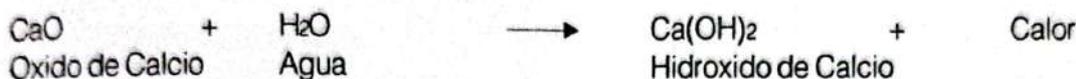
ENREJADO PARA
ABERTURA DE DESCARGA
DE TIPO HACIA ADETRO

De Bibl. 06.07: Aberturas de descarga alternativas para hornos de eje vertical

Hidratación

- El tipo de cal empleado para construcciones y otros numerosos procesos es la cal hidratada o apagada. Esta es obtenida añadiendo vapor o agua caliente a la cal viva. Las cales vivas puras reaccionan vigorosamente desprendiendo calor considerable, mientras que las cales impuras se hidratan lentamente, o solo después que los terrones son triturados.

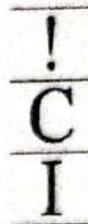
Reacción 3:



Comúnmente se producen tres formas de cal hidratada:

- Hidrato seco, un polvo fino seco formado añadiendo agua suficiente para apagar la cal, que es secada por el calor generado;
 - Lechada de cal, hecha de cal viva apagada con agua en exceso y agitándola bien, formando una suspensión lechosa;
 - Pasta de cal, una masa viscosa formada por el asentamiento de los sólidos de la lechada de cal.
- La forma más común es el hidrato seco, que es muy adecuado para almacenar en silos o bolsas herméticas, y fáciles de transportar. La pasta de cal, que es un excelente material de construcción, puede ser guardada indefinidamente bajo condiciones húmedas. La lechada de cal generalmente es producida conjuntamente con otras industrias de procesamientos.
 - En pequeñas fábricas de cal, el apagado usualmente se realiza a mano, sobre plataformas para producir un hidrato seco o tanques pocos profundos para hacer pasta de cal.

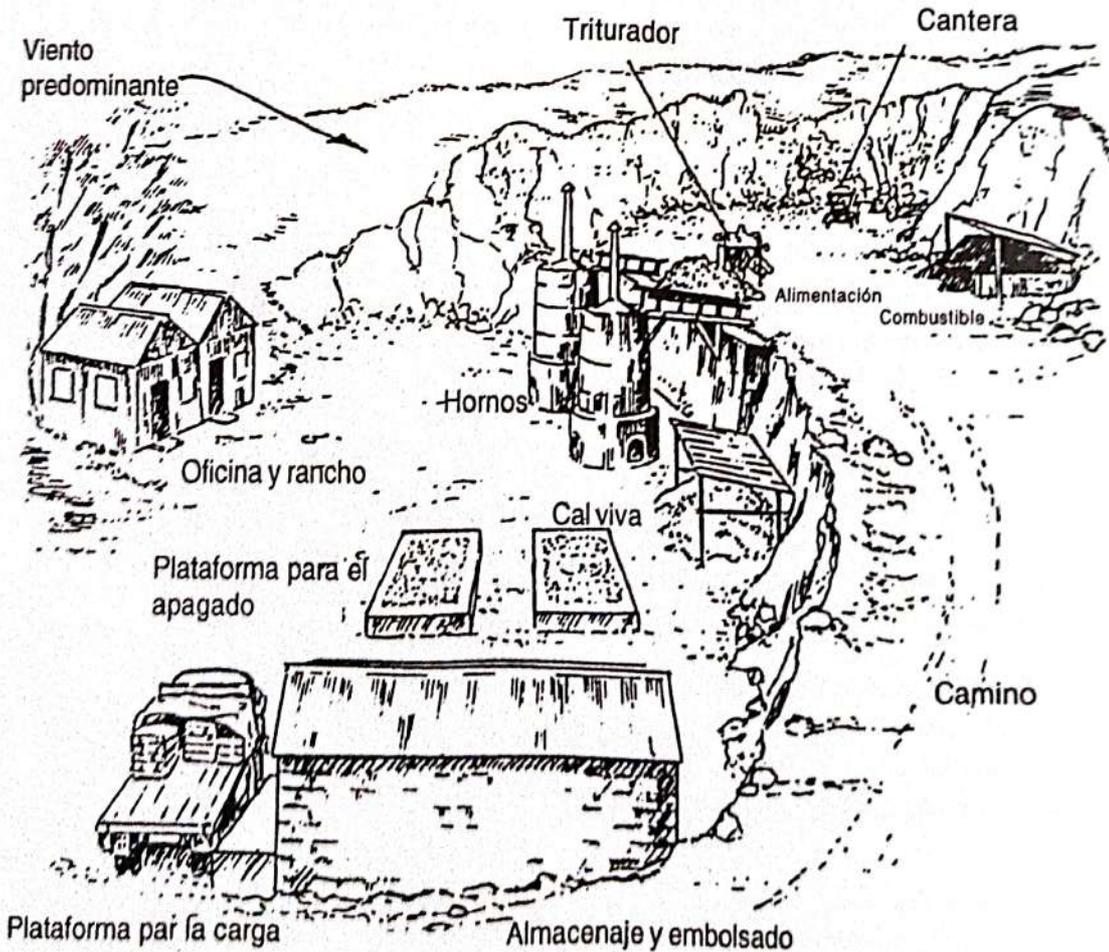
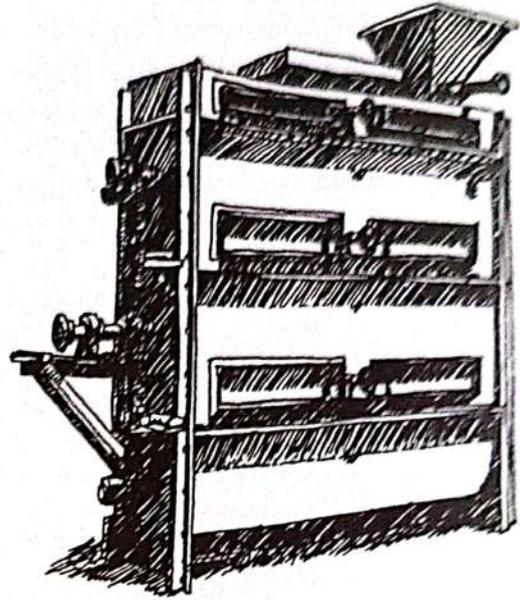
- Aunque la hidratación de la cal viva es un proceso simple, debe realizarse con especial cuidado, por ejemplo, ver que toda la cal viva esté completamente apagada. Las piezas que se hidratan muy lentamente y que no se detectan, pueden causar serios problemas posteriormente.
- Si el agua es añadida muy lentamente, la temperatura de la cal puede incrementarse demasiado rápido, formando un compuesto arenoso blanco inactivo (cal de « agua quemada»). Si el agua es añadida muy rápidamente, puede formarse una capa de hidróxido, evitando una mayor hidratación (cal "ahogada").



El Central Building Research Institute de la India desarrollo una pequeña planta de hidratación, que requiere muy poco espacio y elimina muchos de los problemas de hidratación produciendo calidades uniformes de hidrato seco en un tiempo relativamente corto.

Organización de la Obra

La localización y distribución de un taller de producción de cal son factores vitales que influyen en la economía y la calidad de la producción de cal. La ilustración (de la Bibl. 06.08) muestra una organización de obra adecuada en la cual la distancia entre las operaciones sucesivas son relativamente cortas.



Aplicaciones

- La cal es empleada como un estabilizador en las construcciones de tierra con suelos arcillosos, porque la cal reacciona con la arcilla formando un aglomerante.
- La cal es mezclada con una puzolana (ceniza de cascara de arroz, ceniza volátil, residuos de alto horno, etc.) para producir un aglomerante hidráulico, que puede sustituir parcial o totalmente al cemento, dependiendo del comportamiento requerido.
- La cal hidráulica (hecha de piedra caliza rica en arcilla) puede ser empleada sin puzolana.
- La cal no hidráulica (hidróxido de calcio puro) también es empleada como un aglomerante en enlucidos. Se endurece al reaccionar con el dióxido de carbono en el aire para retornar a piedra caliza (carbonato de calcio). Este proceso puede tomar hasta 3 años dependiendo de las condiciones climáticas.
- La cal es usada en morteros de cemento para hacerlo más laborable.
- La lechada de cal (leche de cal diluida) es empleado como pintura de paredes internas y externas.

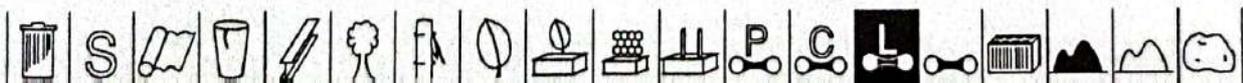
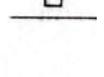
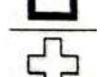
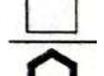
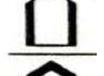
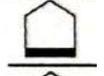
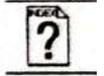
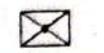
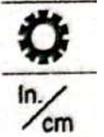
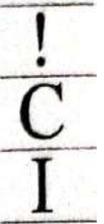
Ventajas

- La cal es producida con menos consumo de energía que el cemento, haciéndolo más barato y ambientalmente más aceptable.
- En morteros y trabajos de enlucido, la cal es muy superior al cemento portland, proporcionando superficies suaves con una mayor probabilidad a deformarse que a agrietarse y ayudan a controlar los movimientos de humedad y la condensación.

- Como la resistencia generada por el cemento portland no siempre es necesaria (y a veces incluso puede ser peligrosa), el aglomerante puzolana - cal proporciona un sustituto más barato y estructuralmente más adecuado, conservando así el cemento para usos más importantes.
- La lechada de cal no sólo son pinturas más baratas sino que también actúan como un germicida suave.

Problemas

- La estabilización de suelo con cal requiere más de dos veces el tiempo de curado necesario para el suelo estabilizado con cemento.
- Si la cal viva es guardada en condiciones húmedas (incluso con aire húmedo), se hidratará.
- La cal hidratada, guardada por mucho tiempo, reacciona gradualmente con el dióxido de carbono en el aire y se vuelve inservible.
- El hinchamiento de la cal (hidratación de los nódulos de cal viva restantes) puede tener lugar mucho tiempo después de que el componente se haya secado, causando ampollas, grietas y superficies feas.
- La lechada de cal ordinarios tardan en endurecerse, y son fáciles de retirar frotándolos.
- La cocción tradicional de la cal en hornos intermitentes desperdician mucho combustible (generalmente leña) y a menudo producen cales no uniformes, de baja calidad (sobre o subcocidas).
- El valor de la cal está muy subestimado, especialmente desde que el cemento portland se ha convertido en una clase de



aglomerante «milagroso» en casi todas partes.

Soluciones

- El tiempo para el curado de suelos estabilizados con cal puede reducirse empleando cales hidráulicas o añadiendo una puzolana a las cales no hidráulicas.
- La cal viva tiene que ser hidratada antes de emplearse en obras de construcción, por ello esto debe hacerse tan pronto como sale del horno, ya que la cal hidratada es mucho más fácil de guardar y transportar.
- Para evitar un rápido deterioro de la cal hidratada seca, debe ser guardada en bolsas herméticas.
- Es ventajoso guardar la cal en forma de pasta. Esto puede hacerse indefinidamente, ya que la calidad de la pasta de cal mejora mientras más tiempo esta guardada. Con este método, son apagadas incluso las partículas de cal viva de más lenta hidratación, evitando así el hinchamiento de la cal en una etapa posterior.
- Debe haber una mayor difusión de información y asesoría a los productores locales de cal para que construyan hornos de cal más eficientes (en términos de consumo de combustible y producción de cal).
- Se necesitan esfuerzos similares para reivindicar la cal como uno de los materiales de construcción más importantes.

CEMENTO

Generalidades

De la gran variedad de cementos disponibles hoy en día, el cemento portland ordinario (OPC) es el más común, y usualmente el tipo al que se hace referencia cuando se habla de cemento. Este es un polvo fino gris que puede ser mezclado con arena, grava y agua para producir concreto o mortero resistente y durable.

El cemento portland fue desarrollado en el siglo XIX y fue llamado así debido a su semejanza a una popular piedra de construcción de Portland, Inglaterra. Desde entonces ha sido asociado con una alta resistencia y durabilidad y, consecuentemente, se ha convertido en uno de los materiales de construcción más prestigiosos.

El cemento usualmente es producido en grandes plantas centralizadas, que incurren en altos costos de capital y grandes distancias de transportación a la mayoría de obras. En la mayoría de países en desarrollo, las capacidades de producción están muy por debajo de la demanda y también debido a las pérdidas y el deterioro en el transporte y almacenaje, el cemento generalmente está asociado con altos costos y escasez de abastecimiento.

Para mejorar la situación, se han concentrado esfuerzos en el desarrollo de plantas de cemento en pequeña escala (también llamadas plantas de «mini-cemento»), particularmente en la China y la India.

Producción de Cemento a Gran Escala

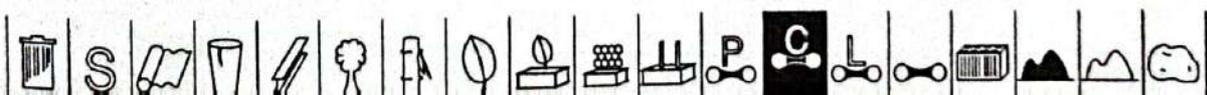
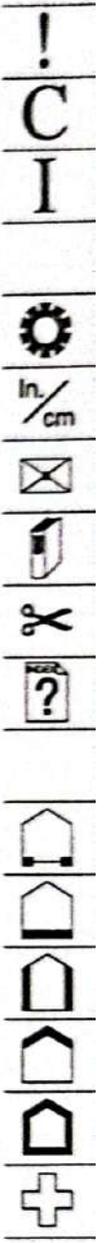
- Aproximadamente el 95% del cemento del mundo es producido en hornos rotatorios con rendimientos diarios entre 300 y más de 5000 toneladas.
- La piedra caliza (carbonato de calcio) y la arcilla (sílice, alúmina y óxido de hierro) son trituradas y mezcladas con agua para for-

mar una mezcla pastosa, que es alimentada por el extremo superior del horno rotatorio con recubrimiento refractorio y ligeramente inclinado, que puede tener más de 100 m. de largo. El aire caliente a temperaturas de 1300° y 1400°C es soplado por la parte inferior, secando la mezcla pastosa, que luego es sinterizada y fundida en bolas duras conocidas como clinker. Estas salen del horno, son enfriadas y trituradas en un molino de bolas con aproximadamente 3% de yeso para retardar el fraguado del cemento. Mientras más fino se muele, mayor es la velocidad de fraguado y la resistencia.

- El proceso húmedo, descrito aquí ha sido reemplazado en gran medida por el proceso seco que necesita menos energía para secar la materia prima alimentada.
- El OPC es vendido en bolsas de 50 kg., preferiblemente en bolsas de papel multi-capas de alta calidad. Sin embargo en algunos países (ejem. India) se emplean bolsas de yute retornables, produciendo grandes desperdicios y dificultades en mantener el control de calidad.

Producción de Cemento en Pequeña Escala

- Este método de producción emplea pequeños hornos de eje vertical, una tecnología que implica más de la mitad de la producción de cemento anual en China.
- La alimentación del horno se hace de piedra caliza triturada, arcilla y carbón de piedra, que son proporcionados y molidos finamente en un molino de bolas y para luego formarse en nódulos con un disco nodulador.
- Los nódulos son alimentados por la parte cónica superior del horno, en la cual el aire precalentado que asciende causa que el combustible de los nódulos se prenda, formando clinker.



- Los nódulos de clinker caen gradualmente en la porción cilíndrica, donde son enfriados con el aire que ingresa por debajo.
- Una parrilla giratoria descarga el clinker, que es entonces molido con yeso en un molino de bolas. Como los nódulos son porosos, se necesita poca energía para molerlos.
- El rendimiento diario de un horno de eje vertical es de 2 a 30 toneladas de cemento portland ordinario.

Variedades de Cemento

- Numerosas variedades de cemento son producidas modificando los tipos y proporciones de las materias primas a ser calcinadas, o combinando o triturando cemento portland con otros materiales. Los tipos más comunes son:
 - Cemento portland de endurecimiento rápido (triturado más finamente que el OPC; con igual resistencia final que el OPC).
 - Cemento portland resistente a los sulfatos (obtenido ajustando la composición química de la mezcla de materias primas).
 - Cementos portland con puzolánico (hechos mezclando o moliendo una puzolana, ejem. ceniza de cascara de arroz o ceniza volante, en proporciones de 15 a 40% del peso, ahorrando así en cemento y mejorando algunas de sus propiedades).
 - Cemento portland de alto horno (hecho mezclando escoria de alto horno granulado molido, obteniendo endurecimientos más lentos y resistencia al sulfato).
 - Cemento de oxiclорuro de magnesio ó cemento sorel (obtenido calcinado carbonato de magnesio, logrando mayor resistencia que el OPC, pero es atacado por el agua).
- Cemento aluminoso (obtenido calcinando piedra caliza y bauxita, logrando resistencias más tempranas, óptima resistencia al sulfato, buena resistencia al ácido, y resistente al calor hasta los 1300°; pero es tres veces mas caro que el OPC y no es adecuado para concretos estructurales).

Hidratación del Cemento

- El agua reacciona en la superficie de los granos de cemento y se difunde hacia el interior alcanzando al cemento que no ha reaccionado. Por ello, mientras mas finos son los granos más rápida será la reacción.
- El agua en el espacio capilar entre los granos es llenada con los productos del proceso de hidratación. Mientras se emplea más agua, mayor es el espacio que necesita ser llenado, y si no hay suficientes productos de hidratación, los poros capilares permanecerán, debilitando el cemento. Por ello, para obtener una buena resistencia es importante una correcta relación agua-cemento.
- Durante la hidratación, la cal se libera. Esta se endurece (combinándose con el CO₂) muy lentamente y se expande, causando grietas y fallas en el concreto. Añadiendo una puzolana, esta forma un aglomerante hidráulico, que fragua y endurece como el cemento.
- El fraguado (que significa rigidez) se realiza en 45 minutos, pero el endurecimiento (que significa el desarrollo de la resistencia) toma varias semanas. Por ello, las especificaciones se basan en las resistencias obtenidas después de 28 días.
- Debido a que fraguan rápidamente, las mezclas de cemento deben emplearse tan pronto como sea posible.

- En climas calientes, los cementos se secan demasiado rápidos y deben mantenerse húmedos por dos semanas como mínimo.

Aplicaciones

- El cemento es empleado como un aglomerante para diversos materiales orgánicos e inorgánicos, ejem. suelo-cemento, bloque de arena-cemento, tableros de cemento-fibra.
- Principalmente es empleado junto con arena y grava (y refuerzos) para producir concreto (reforzado).
- Es empleado con arena y malla de tela metálica (o fibras) para producir ferrocemento (o concreto de fibra).
- Los morteros y enlucidos son hechos de cemento y arena, a menudo mezclados con cal para trabajar mejor. Con una arena muy fina es empleado para maestra.
- Se puede hacer una pintura de cemento mezclado con bastante agua.

Ventajas

- Los cementos pueden alcanzar resistencias extremadamente altas, generalmente no son afectados por el agua, y no se contraen ni dilatan significativamente.
- Los cementos son resistentes al fuego y a los daños biológicos, si se mantienen limpios.
- Las construcciones de cemento tienen un gran prestigio.
- Con respecto a la producción de cemento en pequeña escala descentralizada, las ventajas son: poca inversión de capital; uso de carbón de piedra o coke más baratos; bajos costos de transporte, debido a las menores

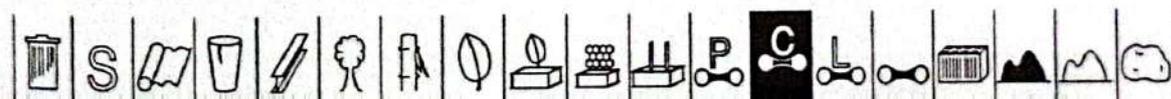
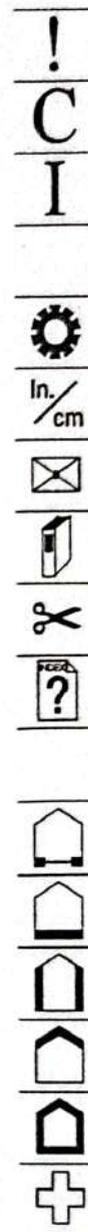
distancias para el consumidor; baja sofisticación técnica, proporcionando así oportunidades de trabajo incluso para mano de obra no calificada; adaptabilidad a las demandas del mercado; capacidad de usar diferentes materias primas y de producir diferentes productos cementosos; incrementan las industrias alrededor de la planta.

Problemas

- En la mayoría de países en desarrollo, el cemento aún es demasiado caro para la mayor parte de la población, y usualmente es escaso.
- El almacenamiento requiere gran cuidado para evitar un fraguado prematuro.
- Las grietas ocurren en condiciones secas calientes debido al rápido fraguado o a las fluctuaciones de temperaturas.
- Los sulfatos y sales pueden causar un rápido deterioro.
- Debido a la gran reputación del cemento, a menudo se emplea para hacer morteros super-resistentes, que causa fragilidad o morteros porosos con escasa durabilidad.

Soluciones

- Es posible incrementar el abastecimiento y reducir los costos introduciendo plantas de cemento descentralizadas de pequeña escala.
- Mejorar los métodos de embolsado y almacenamiento en condiciones secas, pero también una rápida rotación de inventarios puede evitar desperdicios por un fraguado prematuro.



- Un curado húmedo apropiado evita el agrietamiento, y se emplean cementos especiales para evitar daños producidos por sulfatos y sales.
- El empleo innecesario e incorrecto del cemento puede reducirse incrementando la difusión de la información e incrementando el empleo de la cal, ejem. para mejorar la calidad de las mezclas de cemento.

PUZOLANAS

Generalidades

Las puzolanas son materiales naturales o artificiales que contienen sílice y/o alúmina. No son cementosas en sí, pero cuando son molidos finamente y mezcladas con cal, la mezcla fraguará y endurecerá a temperaturas normales en presencia de agua, como el cemento.

Las puzolanas pueden reemplazar de 15 a 40% del cemento portland sin reducir significativamente la resistencia del concreto.

La mayoría de materiales puzolanicos descritos aquí son subproductos de procesos industriales o agrícolas, que son producidos en grandes cantidades, constituyendo un problema de desperdicio, si permanecen sin utilizar. Incluso si no hubiera otros beneficios, sólo este aspecto justificaría un incremento del empleo de estos materiales. Comparado con la producción y empleo del cemento portland, estos materiales contribuyen a ahorrar costos y energías, ayudan a reducir la contaminación ambiental y, en la mayoría de los casos, mejoran la calidad del producto final.

Tipos de Puzolanas

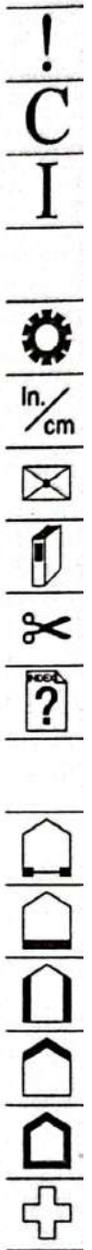
- Básicamente hay dos tipos de puzolana, llamadas puzolanas naturales y artificiales.
- Las puzolanas naturales esencialmente son cenizas volcánicas de actividades volcánicas geológicamente recientes.
- Las puzolanas artificiales son el resultado de diversos procesos industriales y agrícolas, generalmente como subproductos. Las puzolanas artificiales más importantes son arcilla cocida, cenizas de combustible pulverizado (pfa), escoria de altos hornos granulada y molida (ggbfs) y ceniza de cascara de arroz (RHA).

Cenizas Volcánicas

- La primera puzolana natural empleada en construcciones fue la ceniza volcánica del Monte Vesubio (Italia), encontrada cerca de la ciudad Pozzuoli, que le dio el nombre.
- Aunque los compuestos químicos son similares, el material vidrioso formado por el lanzamiento violento de la magna fundida en la atmósfera es más reactiva con la cal, que la ceniza volcánica formada por erupciones menos violentas.
- La generación de puzolanas naturales adecuadas está, por lo tanto, limitada a solo a algunas regiones del mundo.
- Las buenas puzolanas a menudo se encuentran como cenizas finas, pero también en forma de grandes partículas o tufos (ceniza volcánica solidificada), que deben ser triturados para emplearse como puzolana. Sin embargo, la calidad de dichas puzolanas puede variar grandemente, incluso dentro de un mismo depósito.
- Las puzolanas naturales son empleadas igual que las puzolanas artificiales.

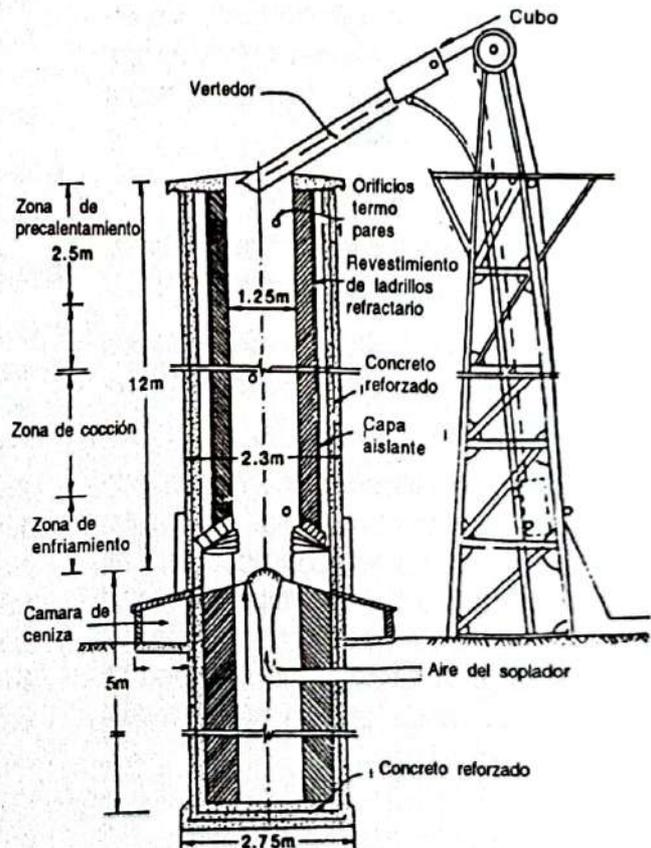
Arcilla Cocida

- Cuando los suelos arcillosos son horneados, las moléculas de agua se liberan, formando un material cuasi-amorfo reactivo con la cal. Esto también es cierto para los esquistos y suelos lateríticos y bauxíticos. Tal hecho fue descubierto en la antigüedad y las primeras puzolanas artificiales fueron hechas de piezas de alfarería molidas, una tecnología tradicional que aún es ampliamente practicada en el subcontinente de la India, Indonesia y Egipto, empleando ladrillos poco cocidos o defectuoso. (En India se le llama «surkhi», en Indonesia «semen merah» y en Egipto «homra»).



- Alternativamente, tal como se informó en un proyecto de la India, los suelos que contienen muy poca arcilla y demasiada arena para fabricar ladrillos, se cortan y se extraen en bloques formando pozos circulares. Luego los bloques son regresados a los pozos, junto con capas alternas de leña. El residuo obtenido al quemarlo es muy desmenuzable y no necesita pulverización. Este se emplea como mortero para mampostería sólo añadiéndolo en la pasta de cal y mezclándolo, sin arena ni cemento (Bibl. 05.10).
- Una técnica similar procede de Java, Indonesia, en donde los bloques de arcilla son quemados en un horno tradicional, desintegrados, cribados y empleados con cal y arena y a veces también con cemento (Bibl. 05.11).
- La calidad de estos métodos tradicionales son muy variables, pero se han desarrollado mejores métodos de calcinación para producir puzolanas de mayor calidad y uniformidad.
- La ilustración muestra un horno de eje vertical (después de Thatte y Patel) desarrollado en la India. La alimentación consta de una mezcla de terrones de arcilla de 50 a 100 mm. de tamaño y residuos de car-

bón de piedra (48% de ceniza, 31% de carbón estable, y 20% de volátiles). La calcinación se realiza a 700°C durante tres horas, siendo la temperatura regulada por termopares y controlada por un ventilador de aire y el ingreso de la alimentación. La capacidad es de 10 toneladas por día. La National Buildings Organization, Nueva Delhi, desarrolló el proceso de lecho licuado, por la arcilla alimentada es calcinada en pocos minutos, obteniendo así grandes rendimientos en un proceso continuo (Bibl. 08.07).



Ceniza de Combustible Pulverizado (Ceniza Volante)

- Comparando los procesos de producción de ceniza de combustible pulverizado (pfa), más conocida como ceniza volante, y de cemento portland ordinario (OPC), queda claro por que razón la pfa puede emplearse como sustituto parcial de éste último.
- El carbón de piedra finamente molido es inyectado a gran velocidad con un chorro de aire caliente (aproximadamente. 1500°C) en un horno en las estaciones de generación de electricidad. El contenido carbónico se quema instantáneamente, y la materia restante (que comprende sílice, alúmina y oxido de hierro) se funde en suspensión, formando finas partículas esféricas por el rápido enfriamiento mientras son llevados por los gases de combustión.
- En la producción de OPC, la piedra caliza y la arcilla, finamente molidas y mezcladas, son alimentadas en un horno giratorio inclinado, en el cual se forma clinker a 1400°C. El clinker enfriado se muele finamente y se mezcla con yeso para producir OPC.
- Dependiendo del tipo de carbón de piedra, la pfa contiene diversas proporciones de cal, la pfa de poca cal es puzolánica y la pfa con mucha cal tiene propiedades cementosas en sí misma. Igual que en otras puzolanas, la cal liberada por la hidratación

del OPC se combina con la pfa para actuar como un material cementoso.

- Las partículas esféricas, huecas, vidriosas de pfa tienen la misma finura que el OPC, por lo que no es necesaria una mayor molienda. La adición de pfa genera un concreto fresco más trabajable (probablemente debido al efecto de cojinete de bolas de las partículas esféricas) y homogéneo (dispersando el cemento y distribuyendo uniformemente el agua).

Otras ventajas de emplear la pfa son:

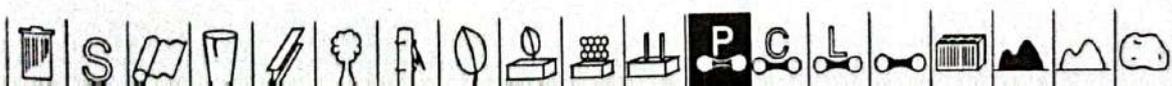
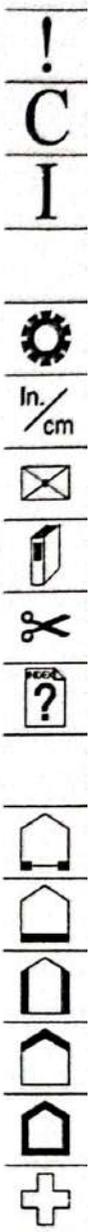
- Con el incremento del tiempo, se desarrollan mayores resistencias que el concreto sin pfa.
- La pfa no influye negativamente el comportamiento estructural de las piezas de concreto.
- Comparada con el concreto de OPC, el concreto de pfa es más liviano, menos permeable (debido a su compactación más densa) y con un mejor acabado.
- El concreto de pfa es además más resistente al ataque del sulfato y a la reacción sílice-álcali.
- Los concretos en los cuales se reemplaza entre 35 a 50% del peso de OPC por pfa han mostrado comportamientos satisfactorios.
- Los áridos derivados de la ceniza volátil muestran una excelente adhesión en concretos de pfa, contribuyendo favorablemente a su comportamiento y durabilidad.



Concreto de Cemento Portland Ordinario Fresco

10 mm

Dispersión de los Granos de Cemento Añadiendo pfa

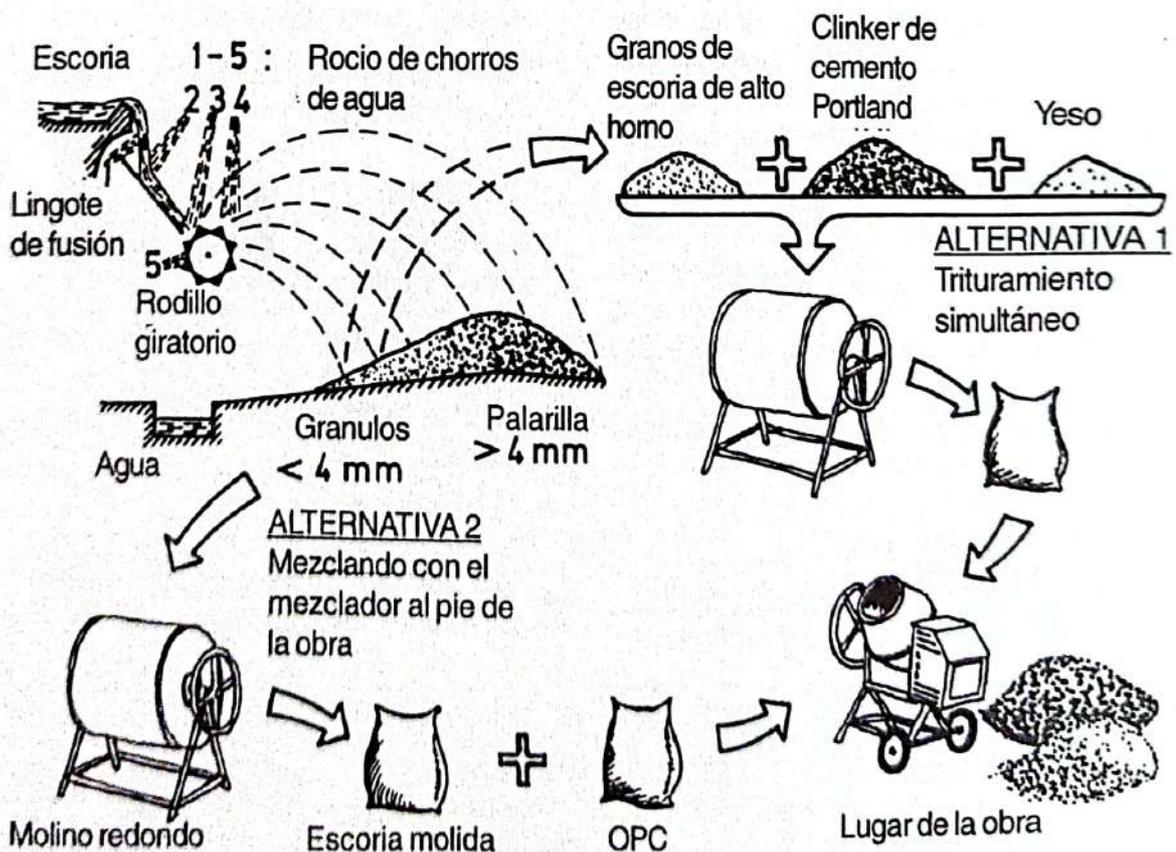


Escoria de Alto Horno Granulada Molida

- La escoria de alto horno es un material fundido que se asienta sobre el lingote de arrabio en la parte inferior del horno. Esta es producida por los diversos componentes en el horno cuando se llega a los 1400° a 1600°C.
- Un enfriamiento lento de la escoria genera un material cristalino, empleado con árido. Un rápido enfriamiento con aire o agua bajo presión forma pelotillas vidriosas (escoria expandida > 4 mm., adecuado con árido ligero) y gránulos menores de 4 mm., que poseen propiedades hidráulicas cuando se muelen finamente.
- La escoria triturada se mezcla con OPC para producir cemento portland de alto horno (PBFC), en el que el contenido de escoria

puede llegar al 80%. Sin embargo, ya que el PBFC es más lento para reaccionar que el OPC, la reactividad se reduce a mayor porcentaje de escoria.

- Aunque la resistencia temprana de los concretos de PBFC generalmente es menor que de los concretos de OPC, es probable que la resistencia final sea mayor. La más lenta reactividad del PBFC genera menos calor y puede ser ventajoso en donde el agrietamiento térmico es un problema.
- Además de hacer más trabajable el concreto fresco, el PBFC tiene gran resistencia al ataque químico y su capacidad de proteger el refuerzo de acero la hace adecuada para emplear en concretos reforzados y pretensado.

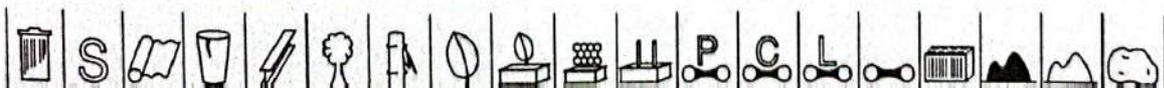
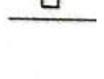
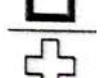
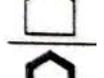
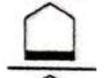
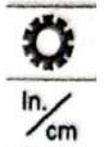
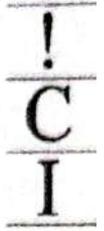
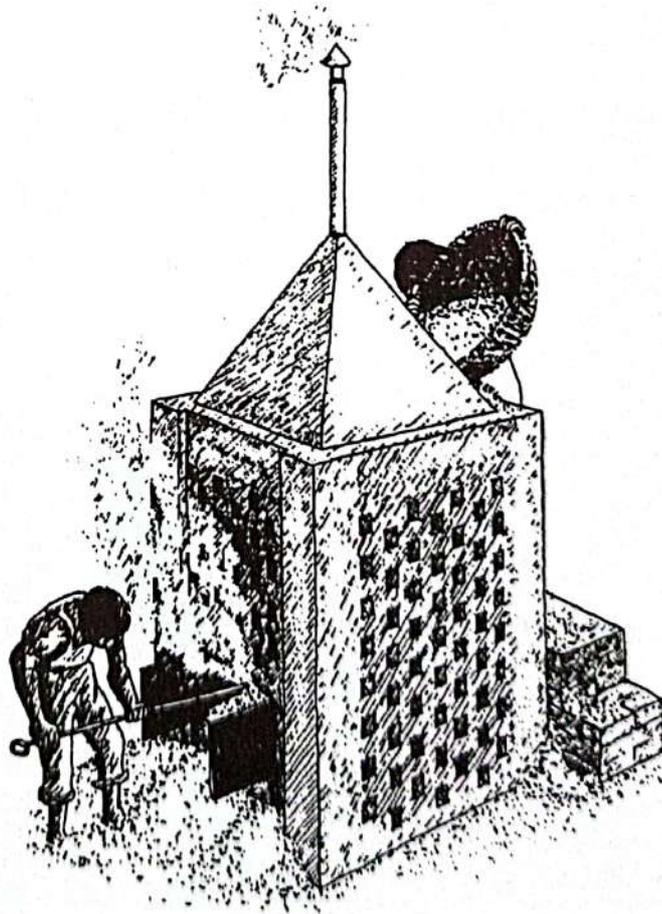


Ceniza de Cáscara de Arroz

- La combustión de los residuos agrícolas elimina la materia orgánica y, en la mayoría de los casos, produce una ceniza rica en sílice. De los residuos agrícolas comunes, las cascaras de arroz producen la ceniza de mayor cantidad (también llamado horno Paddy) -alrededor del 20% del peso- que también tiene el mayor contenido de sílice -alrededor del 93% del peso. Es su gran contenido de sílice lo que le da a la ceniza sus propiedades puzolánicas.
- Sin embargo, sólo la sílice amorfa (no cristalina) posee estas propiedades, es por esta razón que la temperatura y duración de la combustión son importantes en la producción de la ceniza de cáscara de arroz (RHA). La sílice amorfa se obtiene quemando la ceniza a una temperatura menor de 700°C. Una combustión sin control de las cascaras de arroz, ejem. cuando son usadas como combustible o quemada en un montón, generalmente a temperaturas mayores de 800°C, genera la cristalización de la sílice, que es menos reactiva.
- El incinerador que se ilustra, desarrollado primero por el Pakistan Council of Scientific and Industrial Research (PCSIR) y mejorado por el Cement Research Institute de la India (CRI), es fabricado con ladrillos con muchas aberturas para permitir un buen flujo de aire a la masa de cáscara de arroz. La superficie interior es cubierta con una malla de alambre fino calibre 16. Las cascaras son introducidas por la parte superior y la ce-

niza se retira por la puerta de descarga inferior. Un pirómetro regula la temperatura, que puede ser controlada tapando o abriendo los orificios, manteniendo una temperatura de aproximadamente 650°C por 2-3 horas.

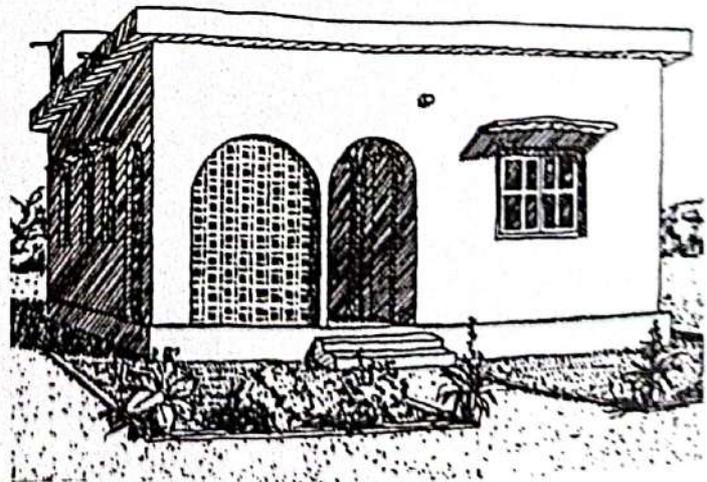
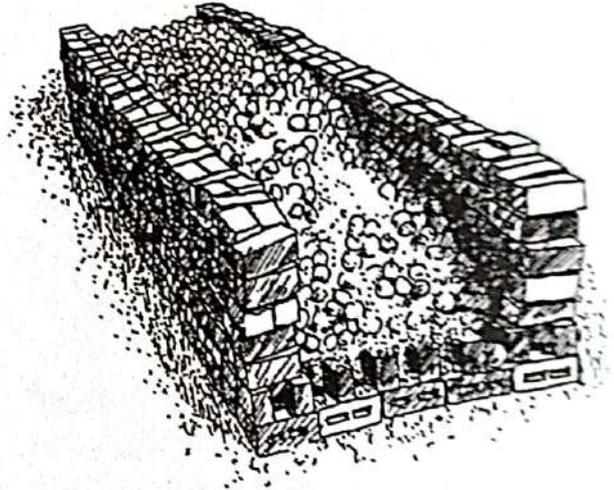
- La ceniza reactiva es de gris oscura a blanca, dependiendo del carbón residual en ella, que no tiene efecto negativo si es menor de 10%. Para mejorar su reactividad, la ceniza es pulverizada en un molino de bolas por aproximadamente una hora, o más si contiene sílice cristalina. La ceniza puede reemplazar hasta 30% del cemento de un mortero o concreto. Alternativamente, puede ser mezclada con 30 a 50% de cal hidratada para



ser empleada como cemento en morteros, enlucidos y concreto en masa.

- En otro proceso, la ceniza obtenida del quemado del montón o la de producción del arroz pre cocido se mezcla con 20 a 50% (del peso) de cal hidratada. Esta es triturada durante seis o más horas en un molino de bolas para producir ASHMOH, un aglomerante hidráulico adecuado para obras de mampostería, cimientos y obras de concreto en general diferentes al concreto armado. Una variación de éste es el ASHMENT, en el cual se sustituye la cal por cemento portland (Bibl. 08.04).
- También se ha desarrollado un método que emplea lodo de cal, residual obtenido de la refinación de azúcar. Este es secado y mezclado con una cantidad igual (de peso) de cascara de arroz triturada y algo de agua. Se hacen trozos a mano del tamaño de pelotas de tenis y se secan bajo el sol. Estos son quemados sobre una parrilla en un horno abierto, para producir un polvo blando, que se muele en un molino de bolas. El aglomerante hidráulico es empleado de la misma manera que el ASHMOH.
- Una variante de este método utiliza suelo con un contenido mínimo de arcilla de 20% en lugar de lodo de cal. El aglomerante resultante puede emplearse como una mezcla de 30% con cemento portland para hacer cemento portland puzolánico. Las pruebas han mostrado que la puzolana es mejor si la arcilla es bauxítica.
- En el National Building Research Institute, Karachi, Pakistán:

La primera casa de bajo costo para ser construida con cal y ceniza de cascara de arroz, reemplazando completamente el cemento en la producción de bloques aligerados resistente a la carga, mortero y enlucido. El 30% del cemento portland de los dinteles de concreto prefabricados y de las viguetas de techo fue reemplazado por RHA.



CONCRETO

Generalidades

Los componentes esenciales del concreto son cemento, áridos (arena, grava) y agua. Cuando son mezclados en las proporciones prescritas, producen una masa trabajable, que puede tomar la forma de cualquier encofrado en la cual se coloca y se deje endurecer.

La tecnología del concreto es tal que requiere una gran experiencia y conocimiento práctico. Por ello, aquí sólo trataremos aspectos muy generales. Si se necesita información detallada, deberá consultar literatura especializada o recibir asesoría profesional.

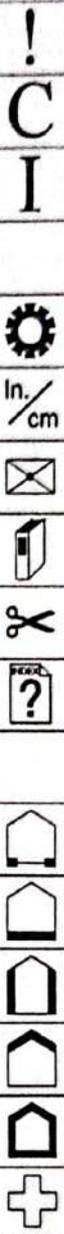
Preparación de la Mezcla de Concreto

- Dependiendo de la aplicación y el comportamiento deseado del concreto, es necesaria una selección cuidadosa del tipo y proporción de cemento, áridos y agua, lo cual se realiza mejor mediante una serie de

pruebas (si la calidad de los materiales no están estandarizadas o no son bien conocida).

- En la mayoría de los casos, se necesita una buena distribución granulométrica de áridos finos y gruesos, para no dejar vacíos que debiliten el concreto. Mientras más vacíos, se necesitara más cemento y agua.
- Las partículas de los áridos con superficies ásperas y formas angulares crean más fricción que las partículas redondas y suaves, que son más fáciles de compactarse. Se debe eliminar el limo, arcilla y polvo ya que interfieren con la adherencia entre el cemento y el árido, y requieren de más agua.
- El agua debe ser lo más limpia posible ya que las sales y otras impurezas pueden afectar negativamente el fraguado, endurecimiento y durabilidad del concreto. Debe

Método típico de preparar una mezcla de concreto en la India. La mezcla fresca es llenada en cubetas de metal y llevadas al encofrado, o pasadas de un trabajador a otro, formando una cadena entre el mezclador y el encofrado. (Foto: K. Mukerji)

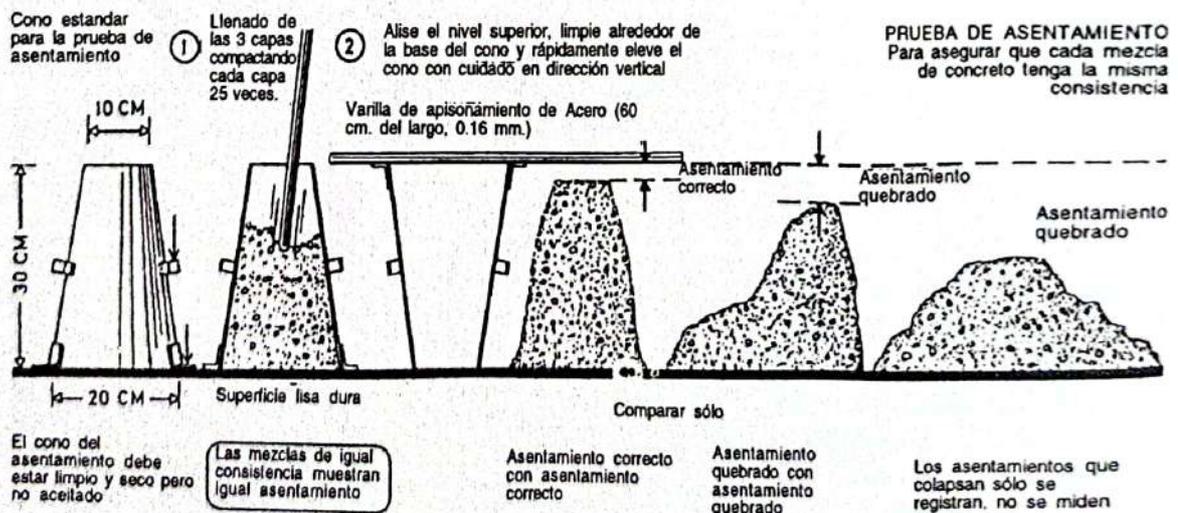


evitarse el uso de agua de mar, especialmente en concretos reforzados, en los cuales el acero se corroe fácilmente.

- En casos especiales, puede emplearse una variedad de aditivos, dependiendo de la necesidad de acelerar o retardar el fraguado, de la necesidad de mejorar la impermeabilidad y resistencia química, y así sucesivamente. Una correcta dosificación y control de calidad son vitales para obtener resultados satisfactorios y ahorrar costos.
- El árido y el cemento deben ser bien mezclados en estado seco. Sólo antes de emplear el concreto, el agua es añadida gradualmente mientras se continua el mezclado. Ya que la relación agua:cemento determina la resistencia y durabilidad del concreto (el exceso de agua produce vacíos de aire), la adición del agua requiere especial cuidado.
- Principalmente se aplica el mismo criterio en concretos preparados, suministrados por una planta central de dosificación/mezclado, mediante camiones mezcladores

(que son pocos comunes en países en desarrollo). Sin embargo, un estudio del Cement Research Institute, India, recomienda la transportación de mezclas «semisecas» en vehículos pequeños que no agiten (más baratos) y se complete el mezclado antes del destino final.

- La uniformidad del concreto fresco se mide generalmente con la prueba de asentamiento: llenando un molde cónico en tres capas de igual volumen y compactando con una varilla cada capa 25 veces, alisando la parte superior, levantando el molde y midiendo la diferencia en alturas entre el molde y la muestra de concreto fresca. Los asentamientos entre 25 y 100 mm. son los más adecuados.
- Las mezclas se especifican principalmente por una designación en grados, ejem. C7, C10, C25, etc., las cuales hacen referencia a su resistencia a compresión (C) en N/mm² (MPa).



Encofrado

- El encofrado, que puede usarse varias veces, usualmente esta hecho de tablonces de madera o paneles de acero, con las juntas suficientemente herméticas para soportar la presión del concreto compactado, sin tener espacios vacíos por los cuales se filtre la pasta de cemento.
- La textura de la superficie de concreto endurecido puede determinarse por el tipo de encofrado. Si se necesitan superficies lisas, los residuos de concreto de moldeados anteriores deberán ser retirados de los encofrados.
- Para facilitar su retiro la superficies interiores de los encofrados deberían ser aceitadas con una brocha o spray.
- Si se necesitan refuerzos, estos son colocados en el encofrado después del aceitado y se colocan separadores (piezas de piedra o concreto roto) entre la superficie aceitada y el acero, de modo que el encofrado y el acero no hagan contacto entre sí. Esto es necesario para evitar que el acero sea expuesto sobre la superficie de concreto, en donde se puede oxidar fácilmente.
- La elección del encofrado debe tomar en cuenta la facilidad de ensamblar y desencofrar. En algunos casos, el encofrado puede diseñarse para que permanezca in situ (encofrado perdido); por ejemplo, en donde se necesita una capa aislante o un acabado especial, estos pueden constituir el encofrado (o parte de éste).

Colocación y Curado

- El concreto es transportado desde el mezclador hasta el encofrado mediante grúas, volquetes, carretillas, baldes, tuberías u otro medio, dependiendo de los recursos con los que se cuenta. En muchos países en desa-

rollo, largas cadenas de trabajadores pasan el concreto en pequeñas cubetas de metal de uno a otro. Si el concreto no es producido en el lugar de la obra, se trae concreto preparado en camiones especiales.

- El concreto debe ser colocado sin interrupción, llenando áreas completas, ya que las juntas entre concreto colocado en diferentes tiempos son puntos débiles.
- Después que cierta cantidad de concreto esté en el encofrado se necesita compactarlo para llenar todos los vacíos. Esto se realiza más efectivamente con un vibrador (ya sea unido al encofrado o inmerso en el concreto) que libere el aire atrapado. Sin embargo, para la mayoría de construcciones de bajo costo, que no necesitan de resistencias altas, puede ser suficiente una compactación manual con una varilla adecuada.
- Es importante lavar inmediatamente todo el equipo que ha estado en contacto con el concreto, pues sería difícil retirarlo después de endurecido.
- El encofrado es retirado después de algunos días cuando el concreto esté suficientemente duro. Pero el desarrollo de la resistencia (curado) concluye después de varias semanas y un requisito vital es que el concreto se mantenga húmedo al menos 14 días, ejem. cubriéndolo con bolsas de yute húmeda que son mojadas regularmente.
- Todos los puntos indicados arriba, desde la preparación de la mezcla de concreto hasta el curado, se aplican igualmente para la construcción in situ (en el lugar de la obra) y para la prefabricación.



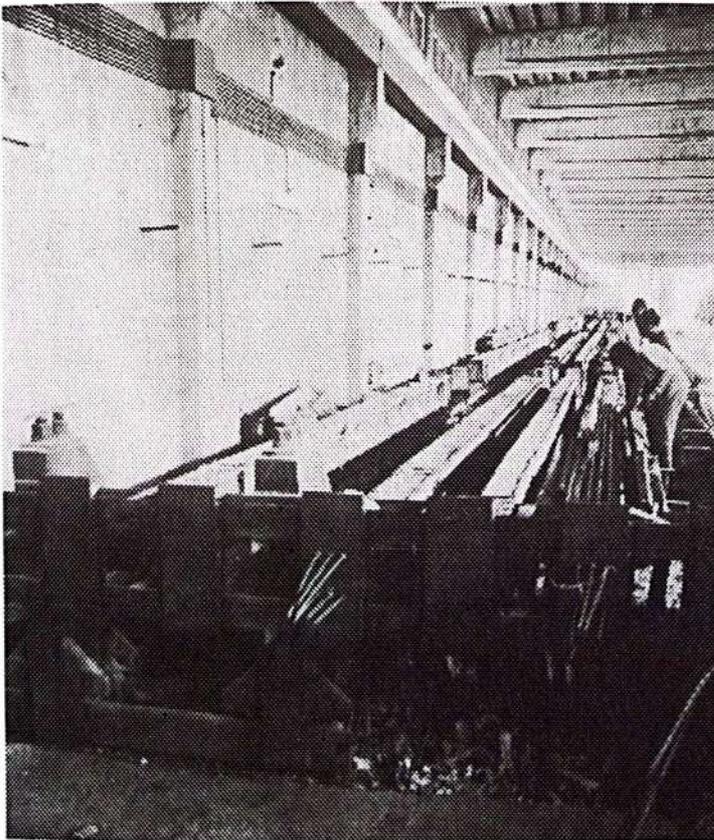
Aplicaciones

- Concreto en masa, con árido graduado o de tamaño predominantemente pequeño, para cimientos, pisos, pavimento, muros monolíticos (en algunos casos), ladrillos, tejas, bloques huecos, tuberías.
- Concreto cavernoso, un concreto de peso ligero con árido grueso de un solo tamaño (denso o ligero) dejando vacíos entre ellos, adecuado para muros con y sin soporte de carga, muros interiores en estructuras porticadas o base gruesa para losas de piso. El concreto cavernoso proporciona un excelente soporte para enlucidos, buen aislamiento térmico (debido a los espacios de aire), y poca contracción durante el secado. Los vacíos grandes también evitan la acción capilar.
- Concreto de árido ligero, emplea arcilla expandida, escoria de alto horno esponjosa, ceniza volante aglutinada, pumita u otro árido ligero, para elementos y muros aislantes térmicos, y para bloques de construcción ligero.
- Concreto aireado, producido introduciendo aire o gas a la mezcla de cemento y arena (sin árido grueso), para aislamiento térmico, aplicaciones no estructurales y bloques de construcción ligeros. Las desventajas son la baja resistencia a la erosión, excesiva contracción y permeabilidad. Sin embargo, es fácil de manipular y puede ser cortado con una sierra y clavarse como la madera.
- Concreto armado, también conocido como RCC (concreto de cemento reforzado), que incorpora barras de acero en las secciones del concreto que están en tracción (para complementar la baja resistencia a tracción del concreto en masa y controlar el agrietamiento por retracción y térmico), para losas de piso, viguetas, dinteles, columnas, escaleras, estructuras porticadas, elemento de grandes luces y estructuras laminares curvas o plegadas, etc., todos estos vaciados in situ o prefabricados. La elevada relación resistencia: peso del acero y su coeficiente de expansión térmica que es muy parecido al del concreto, lo convierte en un material ideal de refuerzo. Si se dispone de barras corrugadas (que tienen nervios para evitar movimientos longitudinales después del vaciado), estas deben ser preferida, ya que son más efectivas que las barras lisas, pudiendo ahorrarse hasta 30% de acero.
- Concreto pretensado, que es el concreto armado con el acero de refuerzo sometido bajo tensión durante la producción, para la construcción de piezas más ligeras, rígidas y resistentes al agrietamiento, tales como viguetas, losas, cerchas, escaleras y otras unidades de gran vano. Con el pretensado, se necesita menos acero y el concreto es sometido a compresión, permitiéndole soportar cargas mucho más pesadas antes que esta compresión sea superada. El pretensado se obtiene por pre-tensado (en el cual el acero es estirado antes que el concreto sea vaciado) o por post-tensado (después que el concreto ha alcanzado una resistencia adecuada permitiendo que el acero pase por conductos curvos o rectos, que son llenados con relleno de cemento después que el refuerzo ha sido tensado y anclado). Esto es esencialmente un proceso de fábrica, que requiere equipos especiales caros (gatos, anclajes, bancos de pretensado, etc.), caro no adecuado para viviendas de bajo costo.
- Sin embargo, la tecnología del concreto pre-tensado con alambre de acero de bajo carbono laminado en frío (CWPC), desarrollado en China, en donde aprox. 3000 fábr-

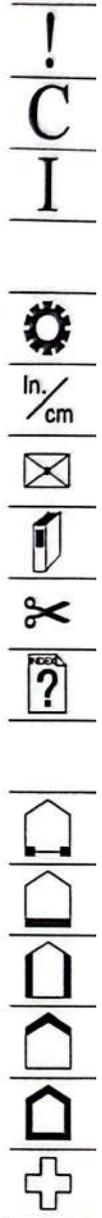
cas de CWPC producen anualmente 20 millones de m³ de piezas prefabricadas, es una alternativa prometedora. Las resistencias a tracción de los alambres de acero de bajo carbón (alambre de acero normal) de 6.5 a 8 mm. de diámetro son duplicadas estirándolos con un troquel a temperaturas normales, produciendo alambres de 3, 4 ó 5 mm. de diámetro, y ahorrando de 30 a 50% de acero. Se emplea el concreto de grado C30. La tecnología es de fácil comprensión e implementación, el equipo es simple (Bibl. 09.09).

Ventajas

- El concreto puede tomar cualquier forma y llegar a resistencias a compresión mayores de 60 N/mm².
- Los concretos armados combinan las altas resistencias a compresión con las altas resistencias a tracción, haciéndolos adaptables a cualquier diseño de construcción y a todos los requerimientos estructurales. Son ideales para prefabricación de elementos y para construcciones en condiciones peligrosas (zonas sísmicas, suelos expansivos, etc.).
- El requerimiento de energía para producir 1 kg. de concreto en masa es el menor de los materiales de construcción fabricados (1 MJ/kg, igual a la madera; Bibl. 00.50), mientras el concreto armado (con 1% del volumen de acero) requiere aproximadamente 8 MJ/kg.
- La alta capacidad térmica y reflectancia (debido al color claro) son especialmente favorables para construcción en climas cálidos secos y zonas altas tropicales.



*Planta de producción de concreto pretensado en Bangladesh
(Foto: K. Mukerji)*



- El concreto trabajado adecuadamente es extremadamente durable, no necesita mantenimiento, resistente a la penetración de humedad, acción química, fuego, insectos y ataque de hongos.
- El concreto tiene un prestigio extremadamente elevado.
- Una variedad de residuos industriales y agrícolas procesados puede ser empleada adecuadamente para reemplazar el cemento y/o mejorar la calidad del concreto.

Problemas

- Alto costo del cemento, acero y encofrado.
- Difícil control de calidad a pie de obra, con el riesgo de agrietamiento y deterioro gradual, si esta erróneamente mezclado, vaciado y curado con insuficiente agua.
- En climas húmedas o regiones costeras, se oxida el refuerzo (si esta insuficientemente protegido), originando grietas por la expansión.
- Resistencia al fuego sólo hasta aprox. 500°C, el refuerzo de acero comienza a fallar (si no esta bien cubierto) y después de incendios, usualmente las estructuras de RCC tienen que ser demolidas.
- La demolición del concreto es difícil y los escombros no pueden ser reciclados, sino sólo para árido, agregados de un concreto nuevo.
- Los efectos electromagnéticos negativos del concreto armado crea condiciones de vida dañinas.

Soluciones

- La proporción de cemento puede ser reducida mediante una cuidadosa composición de la mezcla, graduación de los áridos, realización de ensayos, control de calidad y sustituyéndolo con puzolanas más baratas; también, puede reducir costos, incrementando la producción de cemento descentralizada con suministros suficientes y poco desperdicio (un mejor embolsado).
- Se puede ahorrar en refuerzo de acero mediante un buen diseño estructural y empleo de barras corrugadas o pre-tensado con alambre de acero de bajo carbono laminado en frío.
- El control de calidad sólo es posible con un equipo bien entrenado y una supervisión continua.
- Incrementar la resistencia al fuego de los elementos no estructurales es posible empleando cemento aluminoso con ladrillos refractarios triturados, que resisten temperaturas de hasta 1300°C (concreto refractario).
- Se puede sustituir el árido de grava por ladrillo refractario triturado (residuo de ladrillos), donde la grava sea escasa (ejem. Bangladesh), obteniéndose un concreto relativamente liviano de resistencia ligeramente menor pero mayor resistencia a la abrasión (erosión). Como el árido de ladrillo absorbe agua, se necesita más agua al preparar la mezcla de concreto.
- Deberían diseñarse juntas de expansión, si se pronostican excesivos movimientos térmicos.

FERROCEMENTO

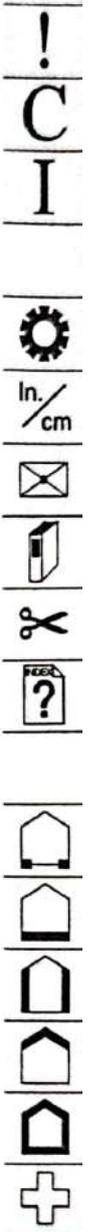
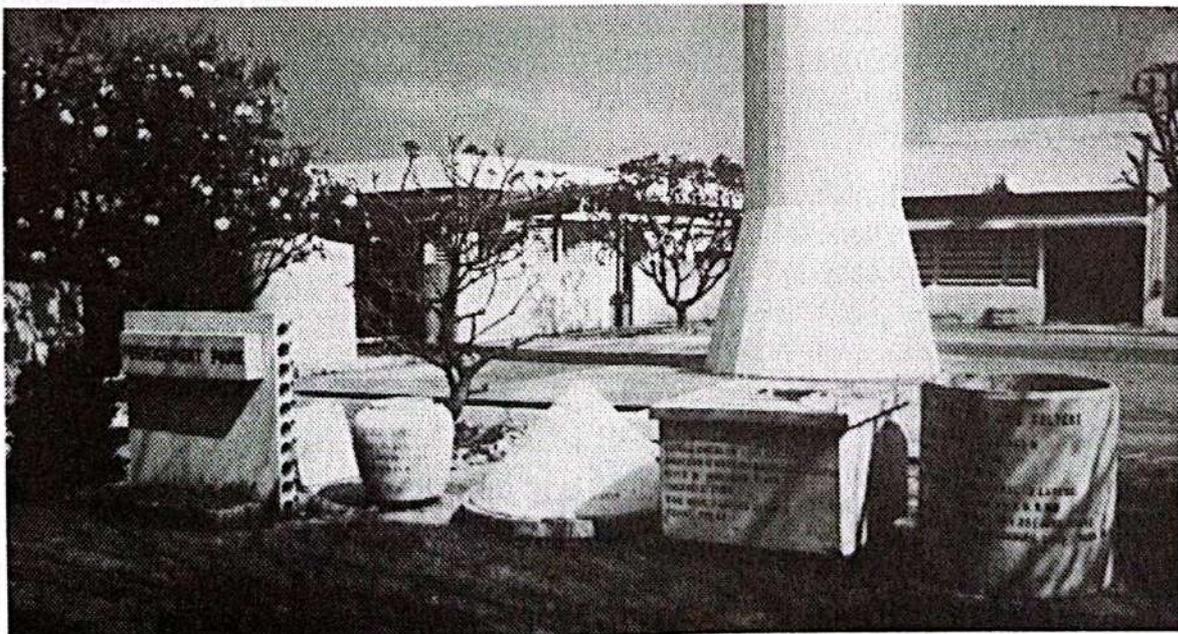
Generalidades

El ferrocemento básicamente es igual que el concreto armado (RCC), con las siguientes diferencias:

- Su espesor raramente excede los 25 mm., mientras que los elementos de RCC raramente son menores de 100 mm.
- Se emplea un mortero rico en cemento portland, sin áridos gruesos como en el RCC.
- Comparado con el RCC, el ferrocemento tiene un mayor porcentaje de refuerzo, que comprende malla de alambre y alambres de pequeño diámetro ligeramente separados, distribuidos uniformemente en toda la área transversal.
- La relación resistencia a tracción a peso es mayor que la del RCC, y su tendencia al agrietamiento es menor.
- El ferrocemento puede ser construido sin encofrado para casi cualquier forma.

El ferrocemento es un material relativamente nuevo, fue empleado primero en Francia, a mediados del siglo XIX, para la construcción de un bote de remo. Su empleo en construcciones de edificaciones comenzó a mediados del siglo XX en Italia. Aunque su aplicación en un gran número de campos se ha incrementado rápidamente por todo el mundo, el estado del conocimiento del ferrocemento aún esta en su infancia, y su comportamiento a largo plazo aún no es conocido.

En 1976, se fundó el International Ferrocement Information Centre (IFIC) en el Asian Institute of Technology, Bangkok, Tailandia. Sirve como un local de consulta de información sobre el ferrocemento y publica el Journal of Ferrocement y otras publicaciones. La foto a continuación muestra el Ferrocement Park en Bangkok con algunos objetos típicos hechos con ferrocemento. (Foto: K. Mukerji).



Composición del Mortero

- Los componentes esenciales del mortero, que representa aprox. 95% del ferrocemento son cemento portland, arena, agua y, en algunos casos un aditivo.
- La mayoría de los tipos de cemento estándar, localmente disponibles, son adecuados, pero deben estar frescos, de consistencia uniforme y sin terrones ni materias extrañas. Para aplicaciones especiales se necesitan tipos de cemento especiales, ejem. cemento resistente al sulfato en estructuras expuestas a sulfatos (como en el agua de mar).
- Solo debe emplearse arena inerte, limpia, libre de materia orgánica y sustancias nocivas, y relativamente sin limo ni arcilla. El tamaño de las partículas no debe ser mayor de 2 mm. y es deseable una granulometría continua para obtener una mezcla trabajable de alta densidad. Se puede emplear arenas ligeras (ejem. ceniza volcánica, pumita, plásticos inertes resistente a los álcalis), si no se requiere de resistencias altas.
- El agua potable es la más adecuada. Debe estar libre de materia orgánica, aceite, cloruro, ácidos y otras impurezas. No debe emplearse agua de mar.
- Los aditivos se pueden emplear para reducir el agua, incrementando así la resistencia y reduciendo la permeabilidad (añadiendo los llamados «super plastificantes»); para la impermeabilización; para incrementar la durabilidad (ejem. añadiendo hasta 30% de ceniza volante); o para reducir la reacción entre el mortero y las armaduras galvanizadas (añadiendo trióxido de cromo en cantidades de aprox. 300 partes por millón del peso del mortero).

- Las proporciones de la mezcla recomendadas son: relación arena/cemento de 1.5 a 2.5, y relación de agua/cemento de 0.35 a 0.5, todas las cantidades determinadas por peso. Para la estanqueidad (como en estructuras que retienen agua o líquido) la relación agua/cemento no debe ser mayor de 0.4. Debe tenerse mucho cuidado al seleccionar y proporcionar los materiales constituyentes, especialmente buscando reducir el agua necesaria, ya que el exceso de agua debilita el ferrocemento.

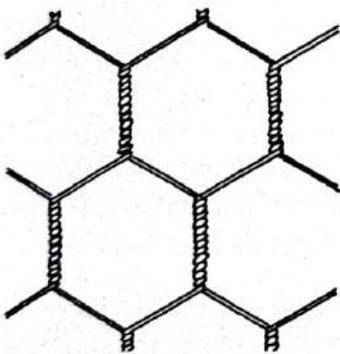
Armaduras

- La malla de refuerzo (con aberturas de mallas, de 6 a 25 mm.) puede ser de diferentes tipos, siendo el principal requisito la flexibilidad. Debe estar limpia y libre de polvo, grasa, pintura, óxido suelto y otras sustancias.
- El galvanizado, como las soldaduras, reduce la resistencia a tracción y el revestimiento de zinc podría reaccionar en el ambiente alcalino produciendo burbujas de hidrógeno en la malla. Esto puede evitarse añadiéndose trióxido de cromo al mortero.
- El volumen del refuerzo es de 4 a 8% en ambas direcciones, esto es entre 300 y 600 Kg/m³; la superficie específica correspondiente al refuerzo varía entre 2 y 4 cm²/cm³ en ambas direcciones.
- La malla de alambre hexagonal, llamada comúnmente tela de gallinero, es la más barata y fácil de usar, y disponible casi en todos los lugares. Es muy flexible y puede emplearse en secciones muy delgadas, pero no es estructuralmente tan eficiente como las mallas con aberturas cuadradas, pues los alambres no están orientados en las direcciones principales (máxima) de los esfuerzos.

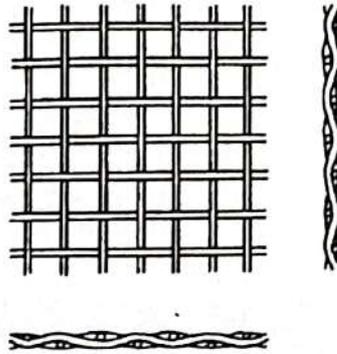
- La malla de alambre cuadrada soldada es mucho más rígida que la tela de gallinero y proporciona una mayor resistencia al agrietamiento. Sin embargo, soldaduras inadecuadas producen puntos débiles.
- La malla de alambre cuadrada trenzada tiene características similares que la malla soldada pero es un poco más flexible y fácil de trabajar que la malla soldada. La mayoría de los diseñadores recomiendan mallas cuadradas trenzada de alambres con diámetro de 1 mm (calibre 19) o 1.6 mm (calibre 16) espaciados a 13 mm (0.5 pulg.).
- Metal plegado, que se forma cortando láminas de poco calibre y estirándolas en dirección perpendicular al corte, tiene casi la misma resistencia que la malla soldada pero es más rígida y por lo tanto proporciona una

mejor resistencia al impacto y un mejor control de las grietas. No puede emplearse para hacer piezas de curvas agudas.

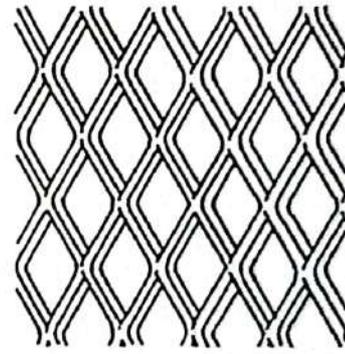
- El acero de esqueleto que generalmente soporta a la malla de alambre y determina la forma de la estructura de ferrocemento, pueden ser alambres lisos o corrugado de diámetros pequeños (generalmente no más de 5 mm) para mantener una estructura de refuerzo homogénea (sin tensiones diferenciales). Alternativamente, se han empleado encofrados que sirven de esqueleto con madera o bambú, pero con éxito limitado.
- Las fibras, en formas de alambre de acero cortas u otros materiales fibrosos, pueden añadirse a la mezcla de mortero para controlar el agrietamiento e incrementar la resistencia al impacto.



Malla Hexagonal de Alambre

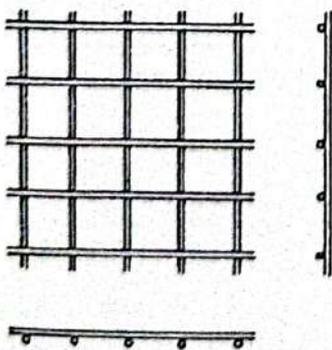


Malla Cuadrada de Alambre Trenzado

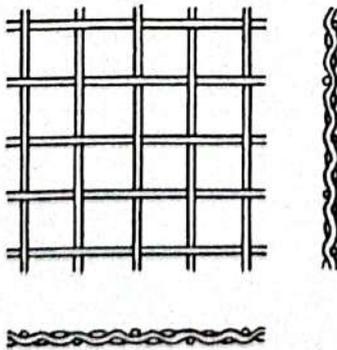


Metal Plegado

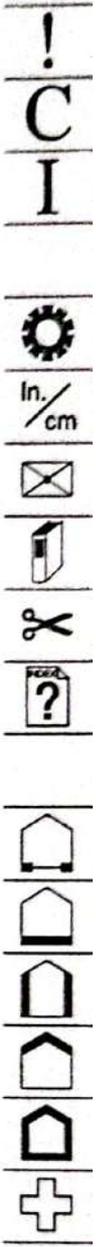
Malla Cuadrada Soldado



Malla Trenzada (alambre ondulado)



Malla Tejada



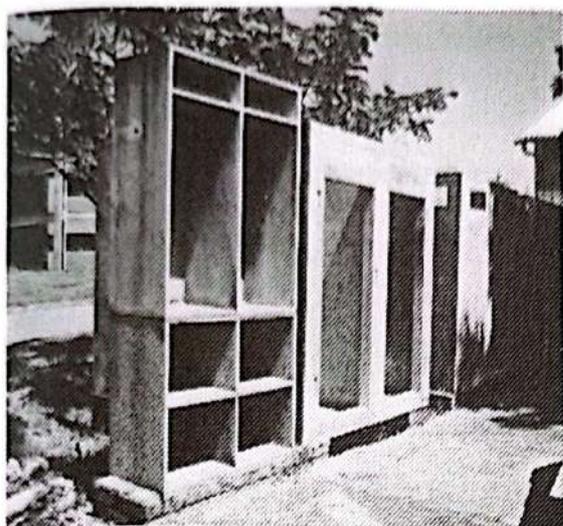
Método de Construcción

- El primer paso es preparar el esqueleto en el cual se fija la malla de alambre atada con un alambre delgado (o en algunos casos soldándola). Se necesita un mínimo de dos capas de malla de alambre y, dependiendo del diseño, se han empleado hasta 12 capas (con un máximo de 5 capas por cm de espesor).
- La arena, el cemento y los aditivos son dosificados cuidadosamente por peso, mezclados en seco y luego con agua. El mezclado a mano generalmente es satisfactorio pero el mezclado mecánico produce mezclas más uniformes, reduce el trabajo manual y ahorra tiempo. La mezcla debe ser trabajable, pero tan seca como sea posible, para una mayor resistencia final y para asegurar que mantenga su forma y posición entre la aplicación y el endurecimiento.
- Después de revisar la estabilidad del esqueleto y el refuerzo de la malla de alambre, se aplica el mortero a mano o con una llana, y se trabaja completamente dentro de la malla para cerrar todos los vacíos. Esto puede hacerse en una sola aplicación, acabando ambos lados antes que se produzca el fraguado inicial. Para ello se necesita que dos personas trabajen simultáneamente en ambos lados.
- Las estructuras más gruesas pueden hacerse en dos etapas, esto es, enluciendo la mitad del espesor por un lado, dejándola curar por dos semanas, después de las cuales se completa la otra superficie.
- La compactación se alcanza golpeando el mortero con una llana o pieza plana de madera.

- Debe tenerse cuidado de no dejar ningún refuerzo expuesto en la superficie, el recubrimiento mínimo de mortero es de 1.5 mm.
- Cada etapa de colocación del enlucido debe realizarse sin interrupción, preferiblemente en climas secos o bajo techo, y protegido del sol y del viento. Como en construcciones de concreto, el ferrocemento debe ser curado húmedo por lo menos 14 días.

Aplicaciones

- Construcción de botes (una de las más exitosas aplicaciones, especialmente en China).
- Protección de presas, canales de irrigación, sistemas de drenaje.
- Silos (encima o debajo del terreno) para almacenaje de granos y otros alimentos comestibles.
- Tanques de almacenamiento de agua, con capacidades de hasta 150 m³.
- Tanques sépticos y retrete, e incluso módulos completos de servicios para lavado y retrete.
- Tubos, canales, retrete, palanganas, y similares.
- Paredes, techos y otros componentes de construcción, o edificaciones completas, in situ o en forma de elementos prefabricados.
- Muebles, tales como repisas, mesas y camas, etc. y varios artículos para juegos infantiles en el terreno.



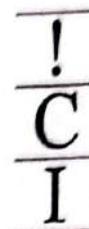
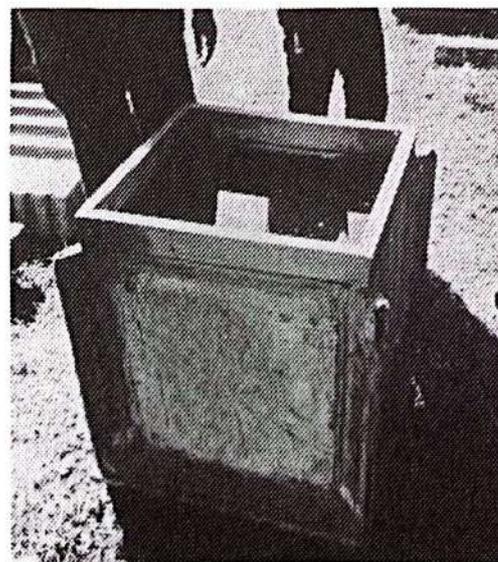
Algunas Aplicaciones de Ferrocemento

Muebles, piezas de sanitarios, elementos para techos en el Structural Engineering Research Centre, Madras, India



Letrina, lavabo, cisterna de retrete y tanque de agua (hecho de cinco piezas cuadradas, ensambladas in situ) en el Housing & Building Research Institute, Dhaka, Bangladesch.

(Fotos: K. Mukerji)



Ventajas

- Los materiales necesarios para producir ferrocemento están disponibles fácilmente en la mayoría de los países.
- Puede tomar casi cualquier forma y se adapta a casi cualquier diseño tradicional.
- En donde la madera es escasa y cara, el ferrocemento es un útil sustituto.
- Como material de construcción, el ferrocemento es una alternativa climáticamente y ambientalmente más apropiada y barata que láminas de hierro galvanizado y de asbesto-cemento.
- La fabricación de elementos de ferrocemento no requiere equipo especial, es intensiva en trabajo y fácilmente de aprender por los trabajadores no especializados.
- Comparado con el concreto reforzado, el ferrocemento es más barato, no requiere encofrado, es más liviano y tiene una superficie específica de refuerzo 10 veces mayor, alcanzando una mayor resistencia al agrietamiento.
- El ferrocemento no es atacado por agentes biológicos, tales como insectos, gusanos, y hongos.

Problemas

- El ferrocemento aún es un material relativamente nuevo, por ello su comportamiento a largo plazo aún no es suficientemente conocido.
- Aunque el trabajo manual en la producción de componentes de ferrocemento no requiere conocimientos especiales, el diseño estructural, cálculo de los refuerzos requeridos y determinación del tipo y de las propor-

ciones correctas de los materiales constituyentes requieren considerable conocimiento práctico y experiencia.

- Las mallas galvanizadas pueden causar formación de gas en los alambres y así reducir la resistencia de adherencia.
- El uso excesivo de ferrocemento en construcciones puede crear condiciones de vida dañinas, ya que el alto porcentaje de refuerzo tiene efectos electromagnéticos nocivos.

Soluciones

- Investigar sobre las condiciones de las estructuras de ferrocemento más antiguas.
- Desarrollos de guías de construcción y reglas sencillas que puedan ser aplicados sin conocimiento técnico especial.
- La malla galvanizada puede ser sumergida en agua durante 24 horas y luego secada durante 12 horas, para dejar que las sales empleadas durante la galvanización salgan a la superficie. Luego el residuo puede ser cepillado.
- Los problemas con la malla galvanizada se puede reducir añadiendo trióxido de cromo al agua de la mezcla.
- Se deben evitar las habitaciones completamente cerradas con componentes de ferrocemento (esto es, pisos, paredes y techo).

FIBRA Y MICRO CONCRETO

Generalidades

El fibro concreto (FC) básicamente esta hecha de arena, cemento, fibras y agua. En el caso del micro concreto (MC) se emplea árido fino en lugar de fibra. Este es uno de los materiales más nuevos empleados para viviendas de bajo costo. Sin embargo, debido a la intensa investigación y amplia experiencia práctica en muchas partes del mundo, se ha convertido en una tecnología madura.

Los tipos y características del fibro concreto son extremadamente diversos, dependiendo del tipo y cantidad de fibra empleada, del tipo y cantidad de cemento, arena y agua, los métodos de mezclado, colocación y curado, y -no menos importante- de la destreza en la producción, supervisión y control de calidad.

El concreto reforzado de fibra más conocido y, hasta hace poco, el más exitoso fue el asbesto cemento (ac), que fue inventado en 1899. Los serios riesgos contra la salud (cáncer a los pulmones) asociados con la extracción y procesamiento de asbesto conllevaron el reemplazo del asbesto por una mezcla de otras fibras (cóctel de fibras) en muchos lugares.

En la década de los '60 se desarrollaron los concretos reforzados con fibra, que empleaban fibra de acero, fibra de vidrio, polipropileno y algunas otras fibras sintéticas, y la investigación sobre ellos aún continua. Sin embargo, a estos se les puede considerar generalmente inapropiados para países en desarrollo, debido a los altos costos y abastecimiento limitado de dichas fibras. Por ello, esta sección principalmente tratará del concreto de fibra natural.

Dependiendo de los recursos disponibles en diferentes lugares, se ha probado un amplio rango de fibras naturales. Estas esencialmente son fibras orgánicas, ya que el único ejemplo práctico de fibra inorgánica natural es el as-

besto. Las fibras orgánicas son de origen vegetal (a base de celulosa) o de origen animal (a base de proteínas).

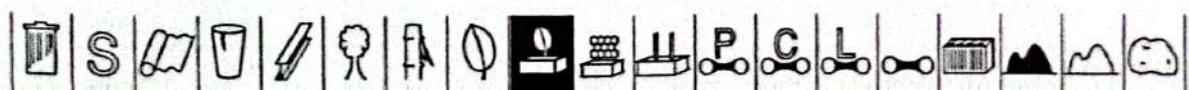
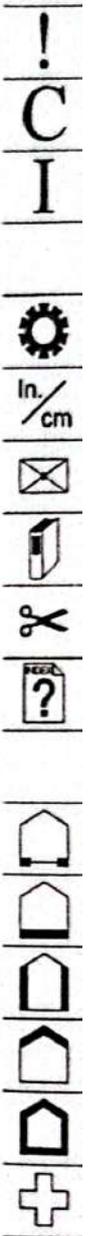
Las fibras vegetales pueden dividirse en cuatro grupos:

- Fibras de liber o tronco (ejem. yute, lino, cáñamo).
- Fibras de hojas (ejem. sisal, henequén, abacá).
- Fibras de pelusas de frutas (estopa de coco).
- Fibras de madera (ejem. bambú, juncos, bagazo).

Las fibras animales incluyen pelo, lana, seda, etc., pero son menos recomendadas sino están perfectamente limpias, ya que los contaminantes, tales como la grasa, debilitan la adherencia entre la fibra y la matriz.

Del concreto de fibra natural o del micro concreto se puede hacer una variedad de elementos para la construcción, pero su aplicación más extendida es en la producción de tejas romanas y pantiles para techo. Luego de algunos años de trabajo experimental, a fines de 1970 en varios países se iniciaron aplicaciones en gran escala en proyectos de vivienda de bajo costo con láminas FC. Sin embargo, los resultados de esta experiencia de campo con las láminas FC fueron extremadamente diversas, yendo desde «muy satisfactorio» a un «completo fracaso» (techos con goteras, rotura de las láminas, etc.), creando controversias e incertidumbre acerca de la viabilidad de la nueva tecnología.

Esta situación originó que SKAT (Swiss Centre for Appropriate Technology Maganament) realizará, junto con un grupo de expertos internacionales, una evaluación sistemática de las experiencias de producción en 19 países en



desarrollo, concluyendo en un informe sobre la situación del «FCR-Fibre Concrete Roofing» en 1986 (Bibl. 11.08). Las principales conclusiones de este estudio fueron:

- La mayoría de las fallas en la producción y en la aplicación de FCR se debieron a la falta de transferencia de conocimientos prácticos, inadecuado entrenamiento profesional y como consecuencia insuficiente control de calidad.
- El nivel de conocimiento actual está suficientemente avanzado para asegurar el abastecimiento de tejados durables y de buena calidad, con una vida útil mínima de 10 años o más.
- Un metro cuadrado de tejas o láminas FC pueden producirse a un costo de US\$ 3 a 5 (esto es, de US\$ 6 a 10 por techo FC incluyendo la estructura de soporte), que es más barato que cualquier material comparable para techado, pero ese beneficio en costo puede ser anulado completamente sino se toma en cuenta ciertos estándares mínimos de producción e instalación.
- El contenido de fibra del FCR es requerido principalmente para mantener unida la mezcla húmeda durante la manufactura, para evitar agrietamiento durante la contracción al secarse y para proporcionar resistencias tempranas hasta que el techo esté instalado. En matrices normales de cemento portland, las fibras se corroen después de meses o de algunos años a causa del ataque alcalino. Por ello, el FCR debe ser instalado y tratado con los mismos cuidados y precauciones que los materiales de arcilla cocida o concreto reforzado.
- La principal ventaja de la tecnología es que se puede fabricar localmente un sustituto de la lámina de hierro corrugado galvanizada (gci) más barato, y termalmente, acústica-

mente y estéticamente más satisfactorio, en cualquier escala de producción deseada (generalmente pequeña o mediana escala), con una relativamente pequeña inversión de capital y un gran efecto en la generación de empleo. Comparado con el de asbesto cemento (ac) una ventaja es la ausencia de cualquier riesgo a la salud.

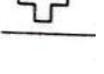
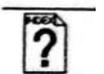
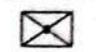
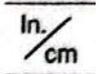
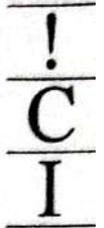
El estudio del FCR también identificó la necesidad de un programa de seguimiento que atienda y asesore a los productores y usuarios actuales y potenciales del FCR. Así, en colaboración con ITDG, GATE y otras organizaciones AT, se estableció en 1987 el Servicio de Asesoría para Tejado (RAS), en SKAT, St. Gall. RAS publica manuales y documentos periódicos y funciona generalmente como un banco de consultas para la información y asistencia técnica sobre todos los aspectos del tejado de fibra y micro concreto.

Para un mejor entendimiento del rol jugado por cada uno de los materiales constituyentes, discutiremos aquí algunos de los puntos principales:

Fibras

- El principal propósito del concreto reforzado con fibras es mejorar su resistencia a tracción y evitar el agrietamiento. Mientras los refuerzos de asbestos y acero cumplen esta función durante varios años, las fibras naturales mantienen sus resistencias sólo durante un período relativamente corto (a menudo mucho menos de un año), debido a su tendencia a degradarse en la matriz alcalina, especialmente en ambientes, cálidos y húmedos.
- Para muchas aplicaciones (ejem. techos), ésta pérdida de resistencia no necesariamente es una desventaja. Las fibras mantienen unida la mezcla húmeda, evitando el agrietamiento durante el moldeado y secado, y da al producto suficiente resistencia

- para soportar el transporte, la manipulación e instalación.
- Cuando las fibra pierden su resistencia, el producto es equivalente a un concreto no reforzado. Sin embargo, en ese momento el concreto habrá alcanzado su resistencia total, y como el agrietamiento se ha evitado en las etapas iniciales, podría ser más resistente que un producto similar hecho sin refuerzo.
 - La misma resistencia final del producto puede obtenerse sin fibra (MC). Sin embargo durante la fabricación y transporte se requiere de gran cuidado.
 - El contenido de fibra generalmente es de aprox. 1 a 2% del peso nunca del volumen, ya que las densidades de las fibras pueden variar grandemente.
 - Los productos de fibro concreto han sido producidos con fibras largas y cortas (cortadas), teniendo ambos métodos sus ventajas y desventajas.
 - Con fibras largas adecuadamente alineadas se obtiene mayor resistencia al impacto y resistencia a la flexión. Sin embargo, el método de trabajar varias capas de fibra en el concreto, de modo tal que cada fibra esté completamente encajada en la matriz, es relativamente difícil, y por ello raramente realizado.
 - En el método de fibras cortas, las fibras cortadas son mezcladas con el mortero, el cual es fácil de manipular como una masa homogénea. Debido a que las fibras se distribuyen aleatoriamente, imparten resistencia al agrietamiento en todas las direcciones. La longitud y cantidad de las fibras es importante, ya que fibras demasiada largas y en exceso tienden a formar trozos y bolas, y la insuficiencia de fibra producen agrietamiento excesivos.
 - En las fibras extremadamente lisas y uniformes (ejem. algunas variedades de polipropileno) que pueden extraerse fácilmente, son inefectivas. Por otro lado, una buena adherencia del mortero a la fibra producirá un modo de fallo frágil y repentino, cuando las fibras fallan se rompen en tracción.
 - Si se pueden encontrar métodos para superar el debilitamiento y degradación de las fibras naturales, será posible amplio rango de aplicaciones semiestructurales del concreto de fibra natural, ejem. vigas huecas, pasos de escaleras, etc. Por ello, se esta realizando una intensiva investigación sobre la durabilidad de la fibra (ver BIBLIOGRAFIA).
 - Como la corrosión de la fibra natural es causada por el agua alcalina en el concreto, es necesario reducir la alcalinidad. Esto se obtiene empleando cemento aluminoso o reemplazando hasta el 50% del cemento portland con una puzolana altamente activa (ejem. ceniza de cascara de arroz o escoria granulado de alto horno). Se obtiene los mejores resultados añadiendo sílica fumo (humo) ultra fina (un subproducto de las industrias de metales de silicio y ferrosilicio), pero está puzolana no está fácilmente disponible en la mayoría de países en desarrollo.
 - Para sellar el sistema de poros de la matriz de concreto se han probado varios métodos (ejem. el uso de una mayor proporción de elementos finos, menor relación agua-cemento, etc.), y se han obtenido interesantes resultados añadiendo pequeñas bolitas de cera al mortero fresco. Cuando el concreto fraguado se calienta (ejem. por el sol), la cera se derrite y llena el sistema de poros, reduciendo así la absorción del agua que causa la degradación de la fibra.



- Un requisito esencial es que las fibras estén libres de toda impureza, tales como grasa que interfiere con la adherencia entre la fibra y el mortero, y el azúcar (como en las fibras de bagazo) que retardan el fraguado del cemento.

Cemento

- La matriz cementosa de las primeras muestras del compuesto contenían una gran proporción de cemento (2 partes de cemento: 1 parte de arena), debido a ello se le dio el nombre de «fibro cemento». La nueva generación de compuestos reforzados con fibra compactados mecánicamente contienen sólo 1 parte de cemento: 1 a 2 partes de arena (dependiendo de la calidad del cemento), de ahí el nombre «fibro concreto» se hizo más apropiado.
- Para el MC generalmente es adecuado una proporción de 1 parte de cemento, 2 partes de arena y 1 parte de agregado.
- La proporción de cemento necesita ser mayor si la arena no tiene una buena granulometría y sí no se puede hacer la compactación con una máquina vibradora. Para la compactación manual mediante apisonado la relación cemento:arena debería ser 1:1.
- El cemento portland ordinario de calidad estándar disponible en la mayoría de lugares es generalmente adecuado. Para la producción de componentes para techo, deben evitarse los de fraguado lento, ya que retrasan el desmolde y por ello requieren muchos más moldes y espacio de trabajo.
- Para aplicaciones en las cuales el incremento en la durabilidad de la fibra es esencial (y el fraguado lento no cause problema), el cemento podría ser reemplazado parcialmente por una puzolana (ejem. ceniza de casca-

ra de arroz). Debido a que las calidades del cemento, puzolana y fibras difieren grandemente, la proporción del cemento sustituido debe ser determinado por ensayos de laboratorio.

Arenay Arido Grueso

- Para obtener la menor proporción de vacíos, debería emplearse partículas de arena angulosa de buena granulometría. Las partículas pequeñas llenan los espacios vacíos entre las grandes, requiriendo menos cemento y produciendo una matriz menos permeable.
- Para productos FC sólo se emplea arena entre 0.06 y 2.0 mm.
- Para productos MC se emplean entre 25 y 50% de árido grueso. El tamaño máximo de grano no debe exceder los dos tercios del espesor del producto.
- La arena y el árido grueso deben ser de origen silicio o tener características similares. No deben contener minerales que puedan reaccionar químicamente con el cemento.
- Las partículas finas de limo y arcilla deben reducirse en lo posible, ya que la arcilla interfiere con la adherencia entre la arena y el cemento.
- La proporción correcta de arena debe determinarse mediante ensayos de muestra. Demasiado arena generará un producto poroso, frágil. Muy poca arena implica desperdicio del cemento que es más caro y una mayor tendencia a desarrollar grietas durante el fraguado.

Agua

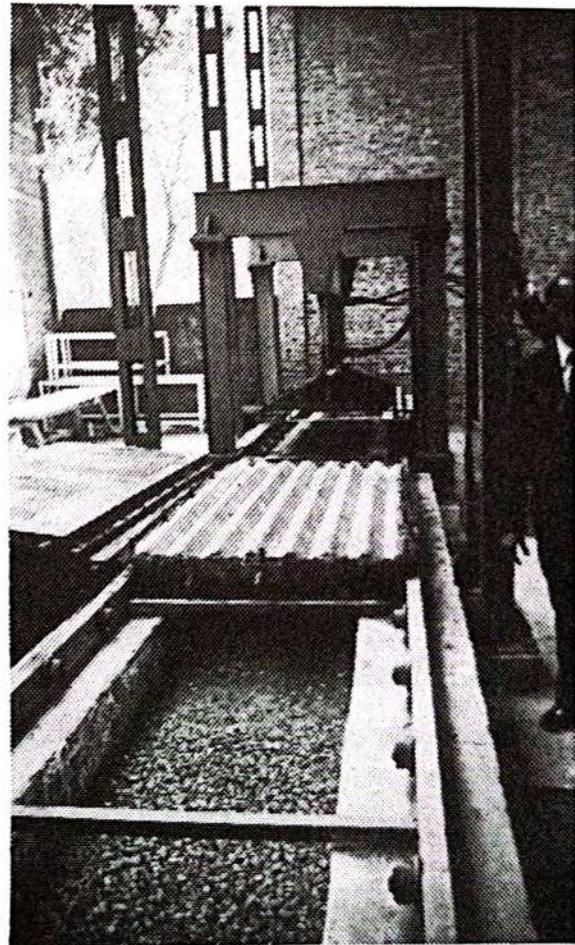
- Para proteger de la corrosión al acero de refuerzo, se emplea agua limpia potable para preparar las mezclas de concreto. En

concretos de fibra las impurezas, tales como las sales, no necesariamente afectan a las fibras, y se han obtenido resultados satisfactorios con agua salobre. Pero siempre es recomendable emplear el agua más limpia disponible.

- Una adecuada relación de agua a cemento es esencial para la calidad del producto. La tendencia es emplear demasiada agua pues ello hace más fácil trabajar la mezcla. El agua en exceso se evapora gradualmente, dejando poros que debilitan el producto e incrementan su permeabilidad. La relación correcta de agua a cemento es 0,50-0,65 por peso.

Aditivos

- Los aditivos pueden ser útiles para acelerar o retardar el fraguado, o mejorar la facilidad de trabajar con la mezcla fresca, pero es probable que sean caros y difíciles de obtener. Generalmente, no se necesitan aditivos para los productos FC/MC, excepto en los casos en donde la durabilidad de la fibra requiere ser mejorada y la impermeabilidad es esencial.
- Como lo discutimos antes (ver Fibras), la degradación de la fibra puede ser dilatada reduciendo la alcalinidad de la matriz de cemento. Esto se obtiene añadiendo una



Prensa hidráulica y molde de arrastre, para la producción de laminas corrugadas de fibro cemento para techo, reforzado con fibra de estopa de coco o viruta de madera. En este método, desarrollado en el Central Building Research Institute, Roorkee, India, las láminas moldeadas se mantienen presionadas durante el período de fraguado (4 horas), luego de los cuales son desmoldadas y curadas en pilas verticales (Foto: K. Mukerji).

!
C
I



In./cm



puzolana adecuada, tal como la ceniza de cáscara de arroz, ceniza volante o escoria granulada de alto horno.

- Reducir la permeabilidad del producto también retarda la degradación de la fibra. Un método interesante (también discutido antes) es añadir pequeñas bolitas de cera a la mezcla fresca. En el concreto endurecido las ceras se funden con el calor, formando una película impermeable dentro y alrededor de los vacíos (Bibl. 11.07).
- También se dispone de una variedad de otros agentes a prueba de agua, y su selección debe regirse por su disponibilidad, costos y efectividad.
- El color de los productos FC/MC puede ser cambiado como se desee añadiendo un pigmento (en polvo) a la mezcla fresca, aproximadamente 10% del volumen del cemento para pigmentos rojos, pero mucho más para otros colores. Sin embargo, los pigmentos usualmente son más caros que el cemento y constituyen un incremento significativo en el costo del producto final (Bibl. 11.15).

Aplicaciones

- Tejas y láminas corrugadas para techos.
- Baldosas planas para pisos y pavimentos.
- Paneles ligeros para pared y elementos para enchapados.
- En lucidos para mampostería de concreto o muros de concreto.
- Jambas de ventanas y puertas, antepechos de ventana, parasoles, tuberías.
- Muchos otros usos no estructurales

Ventajas

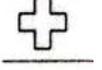
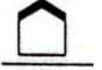
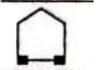
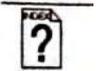
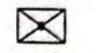
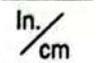
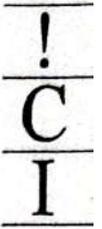
- Se puede emplear una gran variedad de fibras naturales localmente disponibles (incluso subproductos agrícolas) y baratas.
- Si son fabricados y aplicados correctamente, los productos FC/MC puede ser los materiales durables más barato producido localmente.
- La tecnología se adapta a cualquier escala de producción, desde unidades de producción con un solo hombre, como en el caso de la producción de tejas en pequeña escala.
- El comportamiento acústico y térmico del tejado FC/MC es superior al de láminas de gci.
- La alcalinidad de la matriz de concreto evita que las fibras sean atacadas por hongos y bacterias.

Problemas

- En muchos países en desarrollo, el abastecimiento limitado y el alto precio del cemento puede hacer del FC/MC una alternativa inapropiada respecto de otros materiales localmente producidos.
- Los productos FC/MC de buena calidad sólo pueden ser producidos por trabajadores bien entrenados, con un buen cuidado en todas las etapas de la producción y con un control de calidad regular y completo. Sin éstos, la falla es casi segura.
- La introducción de este material relativamente nuevo enfrenta una gran renuencia y desconfianza, debido a experiencias pasadas negativas o a falta de información.
- Una incorrecta manipulación, transporte e instalación de los productos FC/MC puede originar fácilmente grietas y roturas, volviéndose débiles o inútiles antes que inicien su vida útil.

Soluciones

- En áreas de abastecimiento limitado, la producción local y distribución del cemento debe recibir apoyo y especial atención, ya que sin el abastecimiento suficiente, de buena calidad y a un precio estándar del cemento, la tecnología FC/MC no es viable.
- La transmisión del conocimiento práctico mediante cursos de entrenamiento y asistencia técnica de expertos es un requisito especial al inicio de cada proyecto de FCR/MCR (Información disponible mediante RAS en SKAT, St. Gall).
- Los problemas de daños durante el manejo, transporte e instalación pueden reducirse haciendo productos más pequeños. Las láminas para techado no debe ser mayores de 1 m., y debe ser transportadas (ejem. en camiones) paradas verticalmente y firmemente aseguradas, en lugar ser tendidas, para evitar las roturas.
- Los techos FC/MC deben ser tratados como techos de tejas de arcilla, y los movimientos sobre ellos no deben ser hechos sin tablonés para que repartan la carga.
- Mientras más aplicaciones exitosas de FC/MC hayan en un país, mayor será la aceptación de la nueva tecnología.



FIBRAS NATURALES, HIERBA, HOJAS

Generalidades

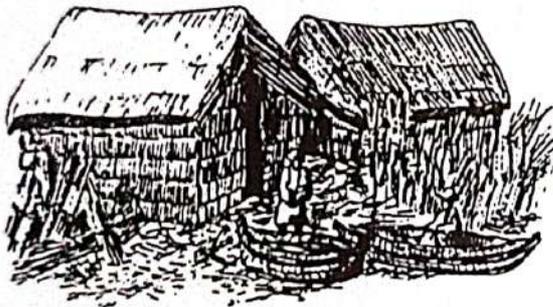
Considerando que diversas criaturas vivientes construyen refugios de hojas, hierbas y fibras naturales, estos materiales son quizás los primeros materiales de construcción empleados por el genero humano, cuando las cuevas y otras moradas naturales no estaban disponibles.

Hay un abastecimiento continuo de estos materiales en casi todas las regiones. En algunos lugares, constituyen el único material de construcción útil disponible, en otros son emplea-

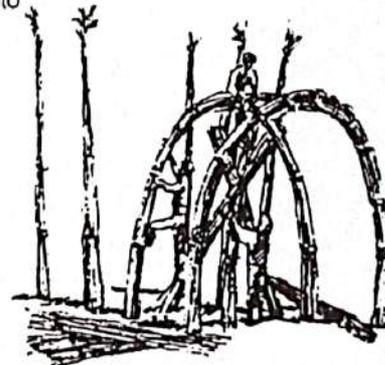
dos junto con diversos materiales adicionales.

Los aspectos comunes de estos materiales vegetales (a base de celulosa) son su renovabilidad y su baja resistencia a compresión, al impacto y su poca durabilidad. Las fibras, hierbas y hojas solas generalmente son demasiado débiles para soportar su propio peso, pero en grandes cantidades, cuando son torcidas, entrelazadas, empaquetadas o comprimidas, pueden ser empleadas para diversas aplicaciones estructurales y no estructurales en la construcción de edificaciones.

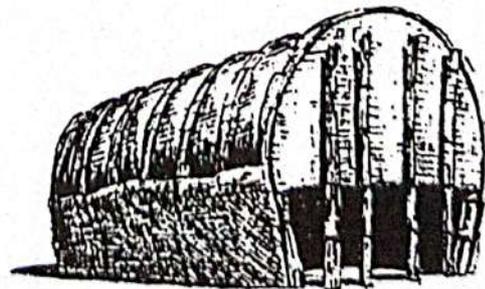
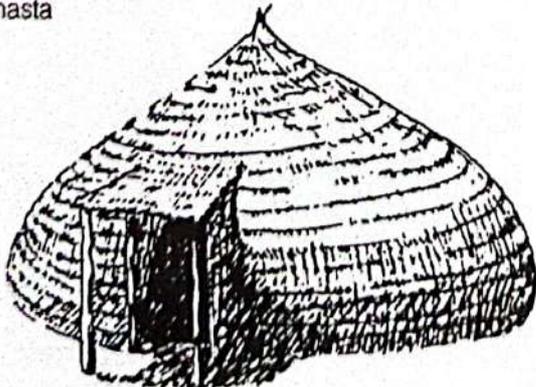
Casas de juncos de los indios Uros, Lago Titicaca, Perú



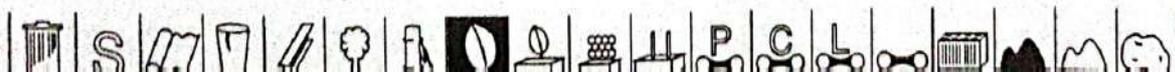
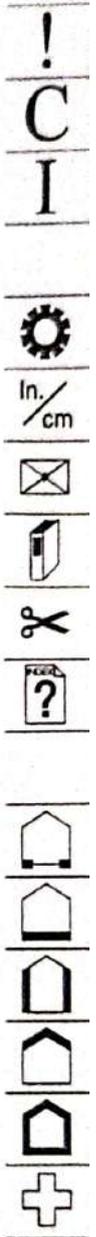
Mudhif (Casa de Visita) del Ma'dan (Pantanos Arabes), Irak: Juncos gigantes empaquetadas como estructura y andamio, esteras de junco como revestimiento



Morada de Sidamo, Etiopia: estructura en forma de canasta

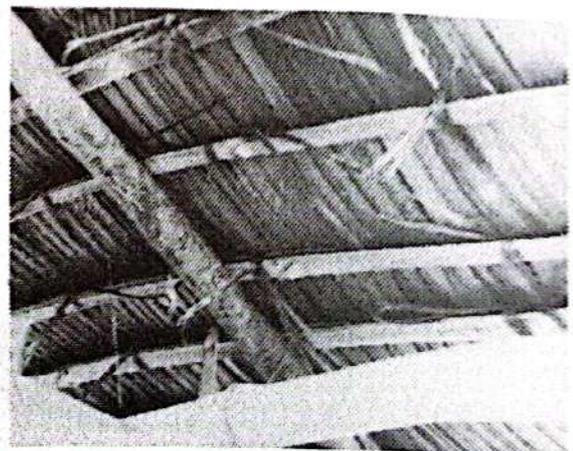
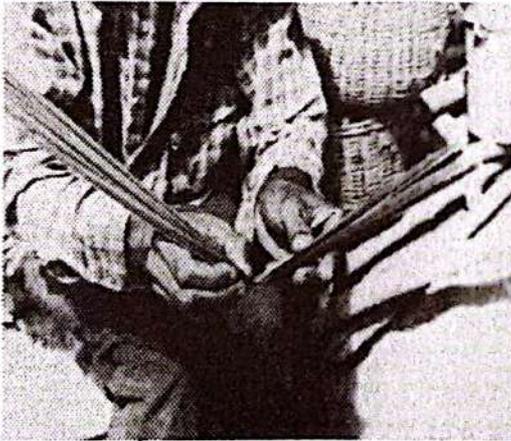


Ejemplos de Moradas Tradicionales Hechas de Hierbas y Hojas (Bibl. 23.17)



Aplicaciones

- Fibras naturales (tales como el sisal, cáñamo, hierba de elefante, estopa de coco) como refuerzo de construcciones con tierra o fibro concreto y otros elementos compuestos (ejem. tableros de fibra).
- Fibras naturales, torcida para cuerdas, para unir elementos de construcción o producir piezas estructurales tensoras, especialmente en la construcción de techos.
- Paja para techos de paja o para hacer tableros de partículas. En un proceso industrial, las planchas de paja comprimidas («stramit») son producidas mediante calor y presión, sin ningún aglomerante, pero con papel en ambos lados.
- Juncos, empaquetadas o atadas como tableros, o rasgadas y tejidas como esteras, para diversos usos como columnas, viguetas, revestimiento de paredes, protectores solares, o material para techado, o como subestructura para construcciones entretejidas y embadurnadas.
- Hojas, principalmente hojas de palma, para techos de paja o para hacer esteras y paneles tejidos para pisos, paredes y techos.

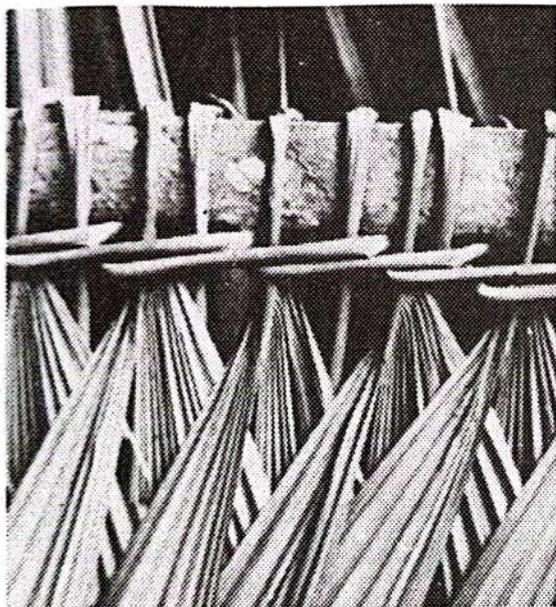


*Producción e Instalación de Tejas de Hoja de Palma de Raphia, Ghana
(Fotos: H. Schreckenbach, Bibl. 00.49)*

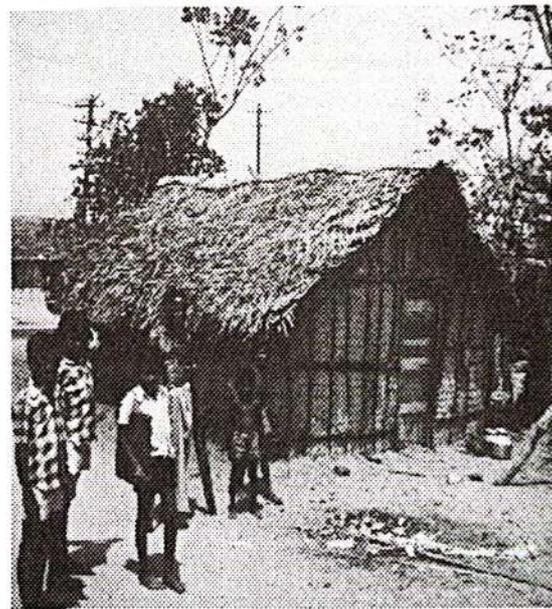
Ventajas

- Generalmente son materiales abundantes disponibles localmente, baratos (o incluso sin costo), rápidamente renovables (que también pueden crecer en un patio).
- Técnicas tradicionales (en la mayoría de los casos), fácilmente entendidas e implementadas por personas locales.
- El tejado de paja, si esta ejecutado adecuadamente, puede ser perfectamente impermeable y posee buenas propiedades acústicas y térmicas.

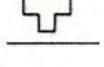
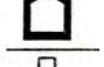
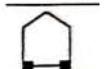
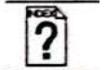
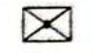
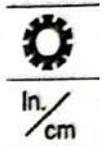
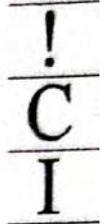
- Las construcciones de junco tienen alta resistencia a tracción, una buena relación resistencia-peso, y, por tanto, usualmente buen comportamiento a los movimientos sísmicos. En caso de colapsar su peso ligero causa menos daño que la mayoría de los otros materiales.
- Las planchas de paja comprimida tienen alta estabilidad dimensional y resistencia al impacto y al agrietamiento, no son fácilmente inflamables, y (si se mantienen secas) no son atacadas por agentes biológicos. Las planchas son empleadas como tableros de madera.



Fijación de Techo de Paja de Hojas de Palmera (Visto desde abajo), Brasil, (Foto: K. Mathéy)



Techo de Paja Tipico de Palmera de Coco sobre casa de estructura de Bambú con paredes de estera de Bambú, Trivandrum, India (Foto: K. Mukerji)



Problemas

- En la mayoría de los casos, hay una baja esperanza de vida, aproximadamente de 2 a 5 años, aunque con buenas construcciones y mantenimiento se alcanzan vidas útiles de 50 o más años (en el caso de techado de paja con junco).
- Vulnerabilidad a los agentes biológicos (atracción y anidamiento de insectos, roedores, aves, y desarrollo de hongos y descomposición).
- Riesgo de fuego, originado dentro del edificio o esparcido a través de la llamas o fragmentos incandescentes llevados por el viento.
- Tendencia a absorber la humedad, volviéndose así más pesado, acelerando el deterioro y creando condiciones insalubre.
- Baja resistencia a la destrucción por los huracanes.
- Deformación y destrucción gradual debido a impactos, esfuerzos estructurales y fluctuaciones en temperatura y humedad.
- Baja aceptabilidad debido a la idea generalizada de que estos materiales son inferiores, empleados sólo para viviendas de pobres.
- Aleros amplios e inclinaciones de techo de 45° como mínimo ayudan a proteger las superficies expuestas y a evacuar rápidamente el agua de las lluvias.
- Reducción del riesgo de fuego en techos de paja mediante la aplicación de una capa de suelo estabilizado sobre la superficie exterior para evitar inflamaciones con los fragmentos llevados por el viento, y restringe el flujo de aire a través del techo de paja en el caso de ocurrir incendios.
- Mantenimiento de condiciones secas y buena ventilación para evitar el ataque de agentes biológicos. En muchas moradas tradicionales, se ahuma dentro de las casas para evitar anidamiento de insectos y putrefacciones.

Soluciones

- Impregnación de materiales contra el fuego y los agentes biológicos, mediante tratamientos previos o aplicación superficial, similar a la preservación de la madera o el bambú. (precaución: estos son costosos, y fácilmente lavados por la lluvia, contaminando los alrededores y el agua para beber recogida de los techos. Además los tratamientos de resistencia al fuego pueden promover el crecimiento de hongos provocando una rápida degradación).

BAMBU

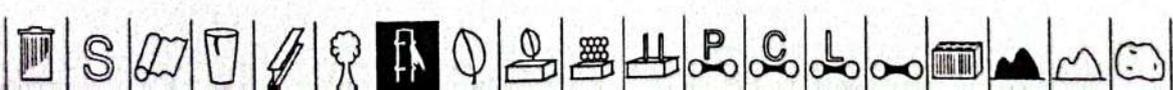
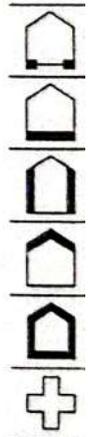
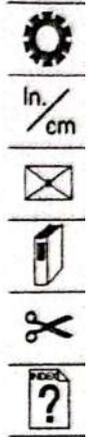
Generalidades

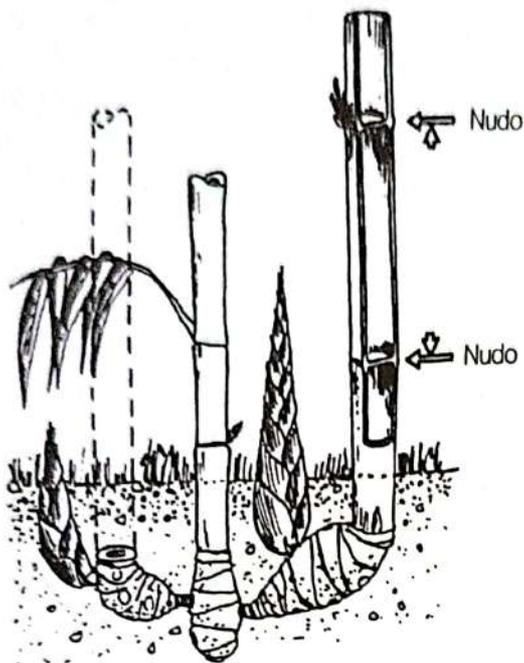
El empleo de bambú como material de construcción probablemente data de la invención de las primeras herramientas de construcción. Así, siendo una tecnología tradicional, vieja y bien establecida, ha producido un gran universo de formas y técnicas de construcción, que resultaron de todos los tipos de requerimientos y restricciones regidas por el clima, ambiente, religión, seguridad, estatus social y similares. Pero, a pesar de esta inmensa variedad de aplicaciones de un solo material, posee evidentemente un potencial casi ilimitado para el desarrollo de nuevas formas y métodos de construcción, haciendo usos de sus propiedades y características.

Características del Crecimiento

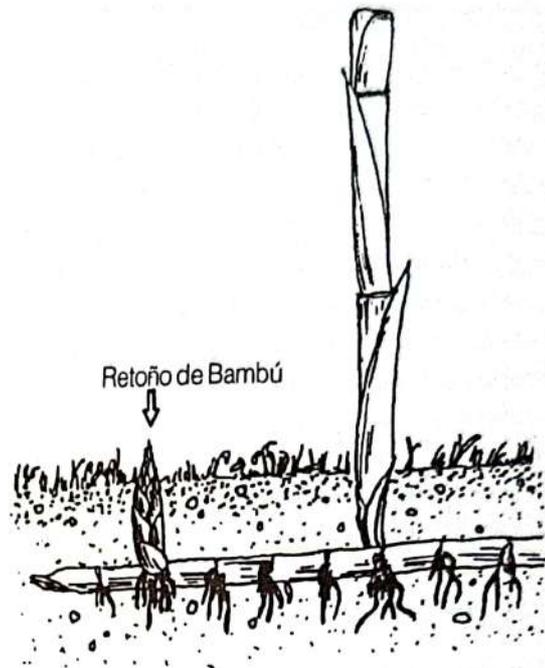
- El bambú es una gramínea perenne encontrada en la mayoría de regiones tropicales y subtropicales, y también en algunas zonas templadas. Se conocen más de 1000 especies de 50 géneros. La mayor cantidad se encuentra en Asia Meridional y en las Islas entre Japón y Java.
- El bambú difiere de las otras gramíneas por la larga vida de sus cañas (tallo hueco) y por su ramificación y lignificación (desarrollo de los tejidos leñosos). Como todo árbol de hojas, caduca, ellos cambian sus hojas anualmente y crecen nuevas ramas, incrementando su copa cada año.
- El bambú es la planta de más rápido crecimiento y se ha registrado crecimientos de más de un metro en un sólo día. Las cañas de bambú pueden alcanzar su altura final (las especies gigantes crecen hasta 35 metros y más) durante los primeros seis meses de crecimiento, pero toma cerca de 3 años para que desarrolle la resistencia requerida para la construcción; su madurez total generalmente se alcanza después de los 5 ó 6 años.
- El bambú florece una sola vez en su vida. Dependiendo de las especies esto sucede entre 10 y 120 años, y todos los bambús de la misma especie, incluso si están plantados en diferentes países, florecen simultáneamente. Las hojas que cambian antes del florecimiento no son reemplazadas por unas nuevas y las cañas mueren. La regeneración se realiza después de 10 o más años. En lugares en donde una especie de bambú constituye un recurso natural valioso, su muerte puede tener graves consecuencias económicas para la población. También los animales, como el raro panda gigante en la provincia de Sichuan de China, son amenazados por la extinción ahora que su fuente de alimentación, el bambú en forma de flecha, esta floreciendo y muriendo en masa.
- Hay dos principales tipos de bambú:
 - a) Simpodio, o bambú en formaciones agrupadas que se encuentra en las regiones más cálidas, y
 - b) Monopodio, o bambú trepador, encontrado en las zonas más frías.
- A las raíces del bambú se les llama rizomas, que crecen lateralmente debajo del suelo. Las rizomas del bambú simpodio se multiplican con pequeñas uniones simétricamente hacia afuera en un círculo desde el cual crecen los retoños de bambú, formando agrupaciones. El bambú monopodio envía sus rizomas en todas las direcciones cubriendo una gran área con cañas ampliamente espaciadas.
- Las cañas de bambú cilíndricas y huecas comprenden una pared exterior leñosa, fibrosa, dividida por nudos a intervalos que son paredes transversales duras, delgadas que dan a la planta su resistencia. Las ramas y hojas se desarrollan a partir de estos nudos.

! C I





Bambú Simpodio



Bambú Monopodio

Siega y Preservación

- El bambú sin tratamiento se deteriora en 2 ó 3 años, pero con una siega correcta y tratamiento preservativo, su vida útil puede incrementarse aproximadamente 4 veces.
- Las cañas maduras (de 5 a 6 años de edad) tienen mayor resistencia al deterioro que las cañas más jóvenes.
- Ya que el ataque de hongos e insectos se incrementa con el contenido de humedad, el bambú debe ser segado cuando tenga el menor contenido de humedad, esto es, en la estación seca en el trópico, en otoño o invierno en las zonas más frías.
- Las cañas deben ser cortadas de 15 a 30 cm. sobre el nivel del suelo inmediatamente encima de un nudo, de modo que no pueda acumularse agua en el fragmento restante, ya que esto podría destruir los rizomas.
- Las cañas recién cortadas, con sus ramas y sus hojas, se deben dejar paradas unos cuantos días (evitando que la superficie cortada esté en contacto con la tierra) para que las hojas transpiren y se reduzca el contenido de almidón de la caña. Este método llamado «curado por grupos», reduce los ataques de los insectos barrenadores, pero no tienen efecto sobre las termitas o los hongos.
- Cuando se consideren tratamientos preservativos del bambú, debería darse prioridad a los métodos no químicos.
- Montones de bambú son ahumados sobre fogatas o en cámaras especiales, destruyendo el almidón y haciendo que la capa de la pared exterior sea desabrida para los insectos. Sin embargo, pueden ocurrir grietas que eventualmente facilitan el ataque de los insectos.

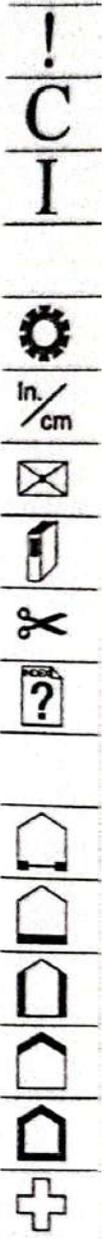
- La inmersión del bambú en agua (preferiblemente corriente) durante 4 a 12 semanas elimina el almidón y el azúcar que atrae los insectos barrenadores. Se necesitan piedras grandes para mantener sumergidos las cañas.
- Aplicación de lechada de cal o capas de estiércol, creosota (un producto de la destilación de la hulla) y bórax, aunque no en el interior, debido a sus fuertes olores.
- Una resistencia efectiva contra termitas, la mayoría de tipos de hongos y contra el fuego se obtiene principalmente mediante tratamiento químico. Sin embargo, debe tenerse mucho cuidado en la elección del preservativo, el método de aplicación y las medidas de seguridad. En la mayoría de países industrializados, una gran cantidad de preservativos altamente nocivos están prohibidos, pero proveedores e instituciones gubernamentales en países en desarrollo e incluso publicaciones recientes aún recomiendan su uso. No deberían emplearse preservativos químicos sin conocimiento completo de su composición, y aquellos que contienen DDT (dicloro-difenil-tricloroetano), PCP (pentaclorofenol), Lindane (gamma-hexacloro-ciclohexano) y arsénico DEBEN SER EVITADOS.
- Aún continua la investigación sobre preservativos no venenosos y no se ha llegado a un esclarecimiento completo sobre la toxicidad de los químicos recomendados y disponibles comúnmente. Sin embargo, parece seguro emplear preservativos a base de bórax, soda, potasa, alquitrán vegetal, cera de abeja y aceite de linaza. Sus resistencias a los agentes biológicos es menor que la de los químicos venenosos mencionados anteriormente, pero pueden ser igualmente efectivos junto con buenos diseños de edificaciones (exclusión de humedad, buena

ventilación, accesibilidad para realizar mantenimiento y chequeos regulares, evitar el contacto con el suelo, etc.). Diversos métodos de tratamiento químico son posibles:

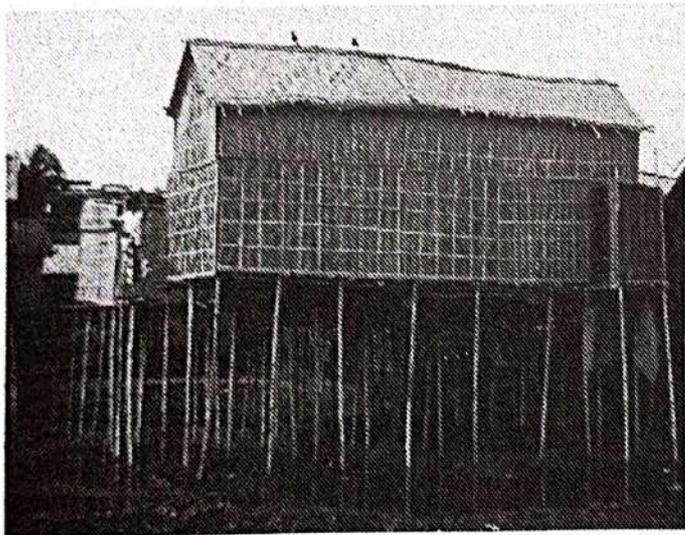
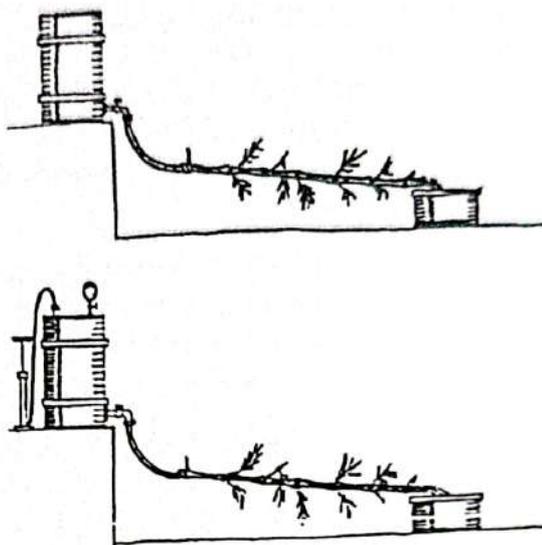
- Pasar brocha y rociar las cañas, lo cual sólo tiene un efecto temporal, debido a la baja penetración de los preservativos.
- Sumergiendo la porción inferior de las cañas recién cortadas (las que tienen hojas) en una solución preservativa la cual sube por los vasos capilares mediante la transpiración de las hojas. Este método (llamado «remojo») sólo funciona con cañas razonablemente cortas, ya que el líquido podría no subir hasta el extremo superior de las cañas largas.
- Inmersión completa del bambú verde durante aproximadamente 5 semanas en tanques abiertos llenos con una solución preservativa. Se puede reducir el período de remojo raspando la corteza externa o partiendo las cañas. Alterando inmersiones calientes y frías se puede acortar el proceso y hacerlo más efectivo.



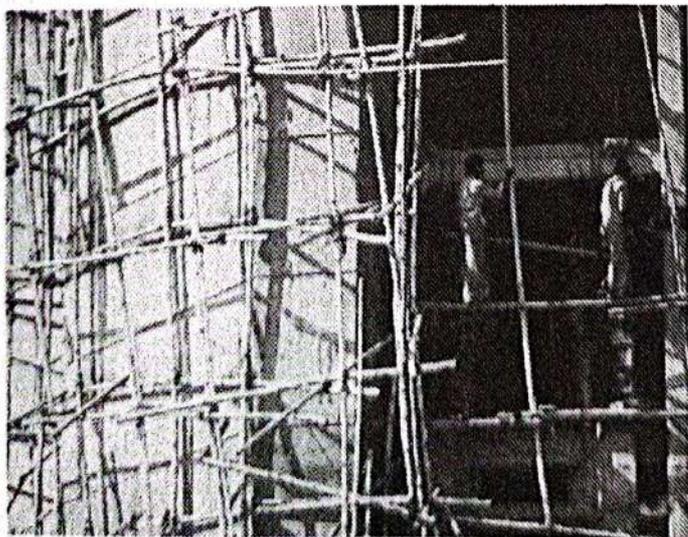
Remojo



- Reemplazando la savia por una solución preservativa, dejando que la solución fluya lentamente de un extremo de la caña al otro, expulsando la savia. Cuando la savia haya sido expulsada se puede recoger el excedente y volver a usar la solución preservativa. El proceso (llamado el método «Boucherie») toma 5 días, pero puede ser reducido a unas cuantas horas con un tratamiento bajo presión.



*Casas de Bambú sobre Pilotes,
Dhaka, Bangladesh*



Fotos: K. Mathéy

Aplicaciones

- Cañas completas para cimientos de pilotes (pero de poca durabilidad), estructuras reticuladas para edificaciones, vigas, cerchas estructuras laminares, gradas, escaleras, andamiajes, construcciones de puentes, tubos, cercados, muebles, instrumentos musicales.
- La mitad de las cañas como vigas, tejas para techos, canales, y para pisos paredes, refuerzo de concreto («bambúcreto»), estructuras laminares.
- Listones partidos de bambú para esteras y paneles tejidos, biombos ornamentales, refuerzo de concreto, estructura laminares, cercados, muebles.
- Tableros de bambú (cañas completas partidas y aplanadas) para piso, paneles para cielo raso y pared, puertas y ventanas.
- Fibras de bambú y virutas para tableros de fibra, tableros de partículas y fibro concreto.

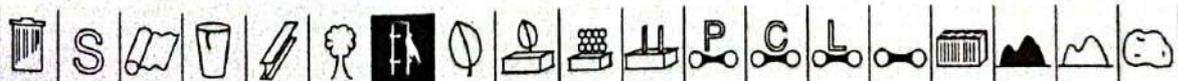
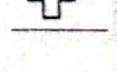
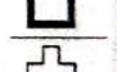
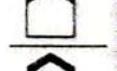
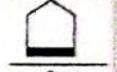
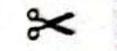
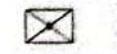
Ventajas

- En muchas regiones el bambú abunda, es barato y puede ser reemplazado rápidamente después del segado, sin que se originen las funestas consecuencias conocidas por el excesivo uso de la madera (es ambientalmente aceptable). La producción anual por peso por unidad de área puede llegar a ser 25 veces la producción de los bosques en los cuales crece la madera para construcción. El bambú puede crecer en los patios.
- La manipulación durante la tala, el tratamiento, transporte, almacenamiento y construcción es posible con métodos manuales simples e instrumentos tradicionales.

- No hay desperdicios: se pueden usar todas las partes de la caña; las hojas se pueden emplear como paja o como alimentación de animales.
- La superficie redonda, agradablemente lisa no necesita tratamiento superficiales.
- La elevada relación resistente a la tracción: peso, hace que el bambú sea un material ideal para la construcción de estructuras de techo y reticuladas. Con un diseño y mano de obra adecuados se pueden hacer construcciones totalmente de bambú.
- Debido a su flexibilidad y peso liviano, las estructuras de bambú pueden soportar incluso fuertes terremotos y, en caso de caerse, éstas causan menos daño que las estructuras hechas con la mayoría de los otros materiales. La reconstrucción es posible en poco tiempo y a bajo costo.

Problemas

- El bambú tiene una durabilidad relativamente corta, especialmente en condiciones húmedas, pues es atacado fácilmente por agentes biológicos, tales como los insectos y los hongos.
- El bambú se prende al fuego fácilmente.
- La baja resistencia a la compresión y a los impactos limitan su aplicación en la construcción. Un manejo inadecuado, mala mano de obra e inadecuado diseño de las estructuras de bambú pueden causar fisuración astillamiento lo cual debilita el material y lo hace más vulnerable a los ataques de insectos y hongos. Los clavos pueden causar astillamiento.
- Las distancias irregulares entre los nudos, su forma redonda y la disminución gradual del ancho de las cañas hacia el extremo supe-



rior hacen imposible construcciones con ajustes herméticos. El bambú, por lo tanto, no puede reemplazar a la madera en muchas aplicaciones.

- El bambú causa un mayor desgaste de las herramientas que la madera.
- Los tratamientos para preservar el bambú no son lo suficientemente bien conocidos, especialmente con respecto a la alta toxicidad de algunos preservativos químicos recomendados por proveedores y entidades oficiales.

Soluciones

- Ciertas especies de bambú tienen una resistencia natural a los ataques biológicos, por lo que debe fomentarse su cultivo y empleo.
- Sólo deberán emplearse las cañas maduras y tratadas adecuadamente. El bambú no debe estar almacenado por mucho tiempo (si es así, entonces no debe estar en contacto con la tierra) y debe ser manipulado cuidadosamente (evitando que se fisure o se dañe superficie externa dura). Debe ser empleado en estructuras cuidadosamente diseñadas (que aseguren condiciones secas, buena ventilación de todos los componentes, accesibilidad para realizar las inspecciones, el mantenimiento y los reemplazos de las piezas dañadas).
- La protección contra el fuego se obtiene mediante un tratamiento con ácido bórico, el cual también es un efectivo fungicida e insecticida, y fosfato de amonio.
- Si se emplean clavos, tornillos o tarugos es esencial taladrar previamente para evitar astillamiento. Para las construcciones de bambú es más apropiado unir las piezas mediante amarres.

- El bambú no debe ser empleado donde se requieran componentes con ajuste hermético. En cambio, los espacios libres entre los elementos de bambú pueden ser empleados con ventaja para proporcionar ventilación.
- No deberían seguirse ciegamente las recomendaciones para tratamientos preservativos con productos químicos. Deberían buscarse primero diferentes opiniones de expertos. Independientemente del tipo de preservativo empleado, debe tenerse cuidado de proteger la piel y los ojos del contacto de éste. La necesidad de seguir completamente las precauciones de seguridad no es exagerada.

MADERA

Generalidades

La madera no sólo es uno de los materiales de construcción más antiguos, junto con la piedra, tierra y otros materiales vegetales, sino que se ha mantenido hasta hoy como el más versátil y, en términos de comodidad interior y aspectos de salud, el material más aceptable.

Sin embargo, la madera es un material extremadamente complejo, disponible en gran variedad de especies y formas, adecuado para todo tipo de aplicaciones. Esta diversidad de aplicaciones y productos de madera requiere un buen conocimiento de las limitaciones y propiedades respectivas así como experiencia y destreza para obtener los máximos beneficios del empleo de la madera.

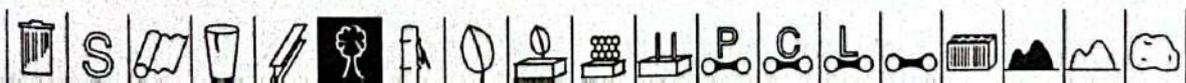
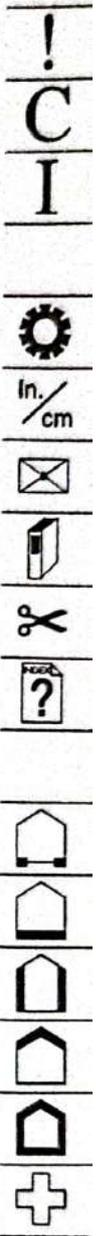
Aunque para las construcciones solo se emplea una pequeña proporción de la madera talada, el interés universal acerca de la rápida depredación de los bosques, especialmente el talado excesivo de grandes árboles viejos (que toman cientos de años para ser reemplazados) y el gran desastre económico, climático y ambiental que conlleva la deforestación, ha originado un gran interés de investigar sobre materiales alternativos y el uso racionalizado de la madera. Ya que la madera no puede ser completamente reemplazada por otros materiales, debe mantenerse como uno de los materiales de construcción más importantes, y por ello se requiere grandes esfuerzos en mantener y renovar los recursos de madera con continuos programas de reforestación a gran escala.

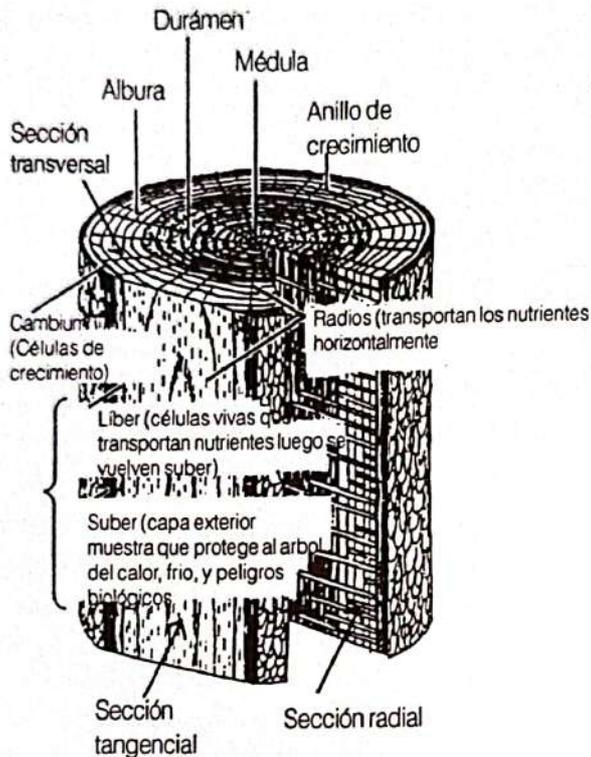
Características del Crecimiento

- El corte transversal de una rama o tronco de árbol muestra una cantidad de anillos concéntricos, siendo el anillo más interno el más antiguo. El grosor del tronco se incrementa con la adición de nuevos anillos, generalmente un anillo por año, pero debido

a las excepciones de esta regla, se les llama anillos de crecimiento (en lugar de anillos anuales).

- Los anillos comprenden módulos de células tubulares o fibrosas (traqueas) que transportan humedad y nutrientes a todas las partes del árbol. La madera temprana (madera de primavera) formada durante el período principal de crecimiento tiene células más grandes mientras que, durante la estación seca, la madera tardía (madera de verano) crece más lentamente, tiene paredes de células más delgadas y poros o vasos más pequeños, formando un anillo más angosto, más denso y más oscuro lo cual le da resistencia estructural del árbol.
- Cada anillo forma una banda nueva de albura «activa», el almidón es extraído de un anillo interior de albura (algunas veces sustituido por toxinas naturales) el cual se añade al núcleo «inactivo» del duramen. Mecánicamente es difícil diferenciar entre albura y duramen, pero usualmente la albura es de color más claro y contiene sustancias (por ejemplo, almidón, azúcar, agua) que atrae hongos y a ciertos insectos.
- Mientras más lento crece el árbol, más angosto son los anillos de crecimiento y más densa y más fuerte es la madera. Su resistencia a los peligros biológicos usualmente también es mayor.
- Las maderas generalmente están clasificadas como maderas duras o blandas. Las maderas duras son de árboles frondosos, en las zonas tropicales generalmente perenne, en las zonas templadas generalmente de hoja caduca (que mudan sus hojas anualmente). Las maderas blandas generalmente son árboles coníferos, encontrados principalmente en zonas templadas. La diferenciación sólo es en términos botánicos,

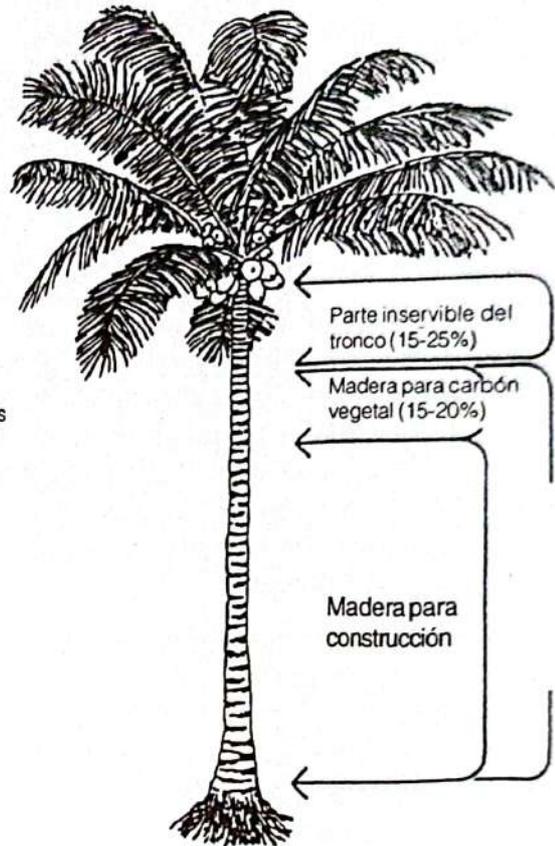




ESTRUCTURA DE UN TRONCO DE ARBOL
(MADERA DURA Y MADERA BLANDA)

no en propiedades mecánicas, ya que algunas maderas duras (ejem. la balsa) son mucho más suave que la mayoría de maderas blandas.

- En los últimos años, se ha descubierto que la madera de coco es un buen sustituto para las variedades comunes de madera. Mientras la madera de coco esta relacionada con la madera dura, hay unas diferencias básicas en las características de crecimiento: la madera de coco no tienen durámen ni albura, no tiene anillos anuales y por lo tanto no aumenta en diámetro; la edad esta determinada por demarcaciones circunferenciales a lo largo de la longitud de la corteza; no tiene ramas ni nudos; la densidad decrece



PARTES UTILES DE UNA PALMERA DE COCO

desde la parte exterior hacia el centro, y desde la parte inferior hasta la porción superior del tronco. La madera de coco usualmente es comercializada sólo después de 50 años de edad, cuando el rendimiento de la copra empieza a decrecer rápidamente.

Tipos y Propiedades de Madera

- La madera para construcción de edificaciones esta dividida en dos categorías: especies de madera primaria y secundaria.
- Las maderas primarias generalmente son de lento crecimiento, las maderas duras estéticamente llaman la atención las cuales tienen una considerable resistencia natural contra los ataques biológicos, los movimien-

tos por la humedad y la deformación. Por ello, son caras y escasas.

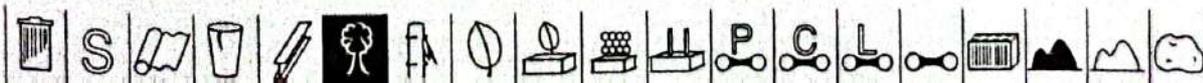
- Las maderas secundarias principalmente son especies de rápido crecimiento con una poca durabilidad natural, sin embargo, con tratamiento de preservación y secado apropiados, sus propiedades físicas y durabilidad pueden ser enormemente mejoradas. Con los elevados costos y la escasez de oferta de las maderas primarias, se está incrementando la importancia de las maderas secundarias.
- Investigaciones en diversos países del Asia-Pacífico han mostrado que la madera del cocotero es una madera secundaria viable, la cual se encuentra en abundancia en muchas áreas de la costa tropical. Sin embargo, se requiere de equipo y conocimiento especializado en el procesamiento de la madera de coco, ya que cada porción del tronco de coco tiene una densidad y resistencia diferente, y su alto contenido de sílice y las partes externas duras causan un rápido desgaste de los dientes de la sierra (requiriendo unas cuchillas especiales de tungsteno-carburo).
- Sin considerar las diversas excepciones, las principales propiedades de la madera son: densidad relativamente baja comparado con otros materiales de construcción estándares; alta relación resistencia:peso con las más grandes resistencias a compresión y a tracción en dirección paralela a la fibra; elasticidad; baja conductibilidad térmica; irregularidades en el crecimiento; tendencia a absorber y liberar humedad (higroscopicidad); combustibilidad; renovabilidad.
- La contracción de la madera es un aspecto común y varía de acuerdo a la dirección de la contracción: la contracción radial es de

aproximadamente 8% desde su estado verde a su estado seco; la contracción tangencial es de aproximadamente 14 a 16%; en sentido longitudinal la contracción puede ser obviada o despreciable (0.1 a 0.2%).

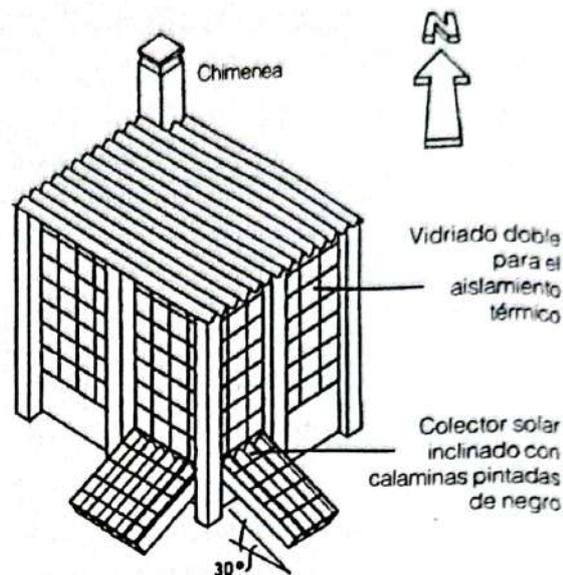
Secado y Tratamiento de Preservación

- El secado es el proceso por el cual el contenido de humedad de la madera es reducido a su contenido de humedad de equilibrio (entre 8 y 20% de su peso, dependiendo de la especie de madera y de las condiciones climáticas). Este proceso, que toma desde unas pocas semanas hasta varios meses (dependiendo de la edad, la especie de la madera, la época en que fue talado, el clima, el método de secado, etc.), hace que la madera sea más resistente a la degradación biológica, que incremente su resistencia, su rigidez y estabilidad dimensional, y reduzca su peso (y consecuentemente los costos de transportación).
- El secado al aire se realiza apilando la madera de modo que el aire pueda circular alrededor de cada pieza. Es esencial protegerla de la lluvia y evitar el contacto con la tierra.
- El secado con aire forzado es básicamente igual que el secado con aire con la diferencia de que la velocidad del secado es controlada apilando la madera en una cabaña cerrada y empleando ventiladores.
- Con el secado en horno se obtiene un secado acelerado en cámaras cerradas que contienen aire caliente, cuya circulación y humedad es controlada, esto reduce el período de secado en 50 a 75%, pero se incurre en mayores costos. Una alternativa económica es emplear hornos solares.
- El período necesario para el secado es enormemente reducido si la madera es tala-

!
C
I



Hornos Solares para el Secado de la Madera



diseñado por el Commonwealth Forestry Institute (CFI) y ITDG, Reino Unido: El calor solar es recogido por una serie de paneles pintados de negro; el aire caliente circula por las pilas mediante dos ventiladores grandes; la humedad es liberada por varios orificios.

diseñado por CBRI, Roorkee, India: dos colectores solares transportan el aire fresco calentado hacia la cámara de secado y el aire húmedo escapa por la chimenea; el horno trabaja sin ventiladores en base al principio de circulación del aire térmico.

da durante la estación de seca o en invierno, cuando el contenido de humedad del árbol es bajo.

- El secado sólo no siempre es suficiente para proteger las maderas (particularmente las especies secundarias) de la degradación por los hongos y del ataque de los insectos. La protección contra estos peligros biológicos y contra el fuego se obtiene efectivamente mediante tratamientos preservativos con ciertos productos químicos.
- Los productos químicos y métodos de aplicación generalmente son iguales para las maderas, que las descritas en la sección sobre Bambú. Así, los comentarios acerca de

evitar preservativos altamente nocivos son igualmente válidos en el caso de la madera.

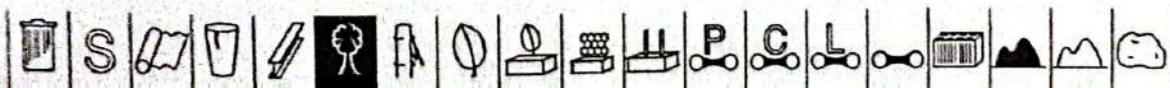
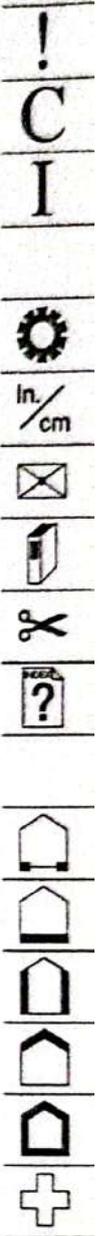
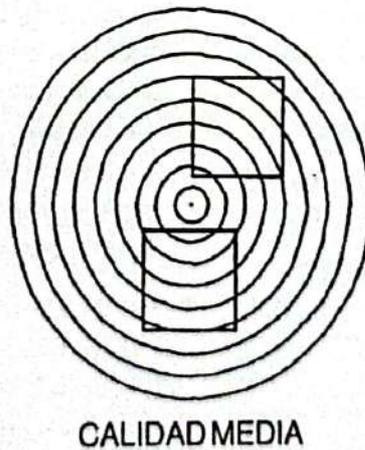
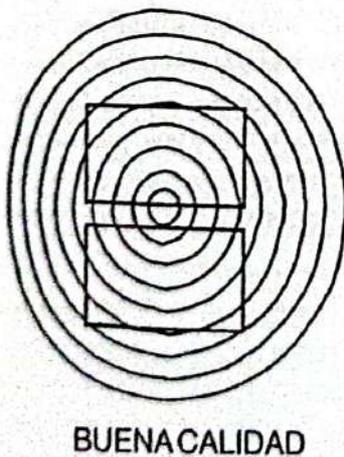
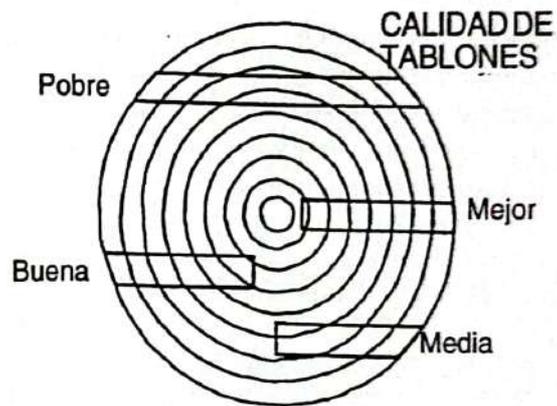
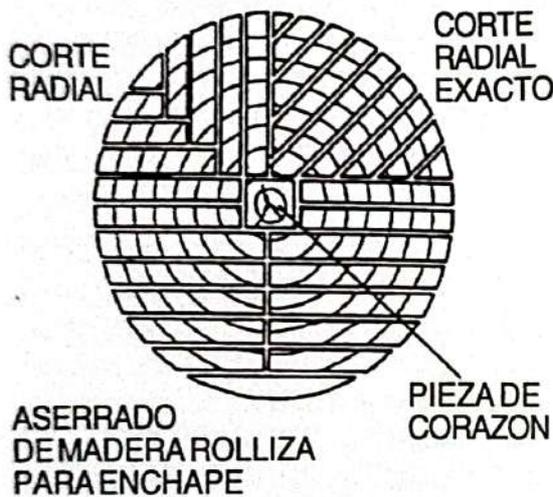
- Cuando se considere un tratamiento preservativo de la madera, debe recordarse que la madera es el más sano de los materiales de construcción y sería paradójico «envenenarlo», especialmente cuando se pueden implementar otros métodos para protegerla, por ejemplo, con preservativos no tóxicos y un buen diseño de la edificación (excluyendo la humedad, teniendo una buena ventilación, accesibilidad para el mantenimiento y las revisiones periódicas, evitando el contacto con la tierra, etc.).

Productos de la Madera

- Las maderas rollizas, generalmente de árboles jóvenes (de 5 a 7 años) con la corteza pelada, secados y tratados según sea necesario. Se evita el costo y desperdicio incurridos durante el aserrado y se emplea el 100% de la resistencia de la madera. Una madera rollizo es más fuerte que una madera aserrada de igual área transversal, pues las fibras pasan uniformemente entorno a los defectos naturales y no terminan como fibras inclinadas en las superficies cortadas. Las maderas rollizas también tienen esfuerzo de crecimiento de tracción grandes alrededor de sus perímetros y esto les ayuda a in-

crementar la resistencia de la compresión que soporta la madera rolliza durante la flexión.

- La madera aserrada, principalmente de árboles más viejos con tronco de gran diámetro, cortados en secciones rectangulares como vigas o tablones. La parte del tronco de donde son cortados y la inclinación de la fibra influye enormemente sobre la calidad del producto (tal como se muestra en los diagramas). Al cortado en tablas antes del secado se le llama transformación; al re-aserrado y dar la forma después del secado se le llama manufactura.



- Madera contra chapeada (plywood), hechas de varias capas («pelando» un tronco previamente hervido haciéndola girar contra un cuchillo) encoladas tal que la dirección de la fibra de cada capa vaya en ángulos rectos respecto a la capa de cualquier lado, produciendo paneles extremadamente grandes de mayores resistencias y menor movimiento por humedad que los tablonos de madera aserrada. Ya que los lados exteriores deben tener movimientos por humedad y resistencias uniformes, siempre debe haber un número impar de capas. El espesor va de 3 a 25 mm. Un problema importante es el empleo de colas a base de formaldehído, que son bastantes tóxicos.
- Madera de bloque, comprende un centro sólido de bloques (usualmente maderas secundarias) de hasta 25 mm. de ancho, a cada lado cuenta con una capa exterior (de maderas primarias), con sus fibras en ángulos rectos respecto a las de los bloques.
- Madera laminada encolada, compuesto de capas de madera con la orientación de la fibra de cada capa usualmente en la misma dirección, o varía de acuerdo al empleo que se le dará al producto. Mediante este método, se pueden producir piezas estructurales curvas o rectas de secciones transversales muy grandes (variables) y grandes longitudes con maderas pequeñas de baja calidad, obteniéndose altas resistencias, estabilidad dimensional y muy buena apariencia.
- Tableros de partículas (también llamado cartón), principalmente hecho de astillas de madera, (pero también de otras fibras o materiales pequeños de ligno celulosa), que son secadas combinadas con una resina sintética y prensadas en caliente (requiriendo aprox. 8% de aglomerante) o prensadas por extrucción (requiriendo sólo 5% de aglomerante) dándoles casi cualquier forma. los tablonos prensados en caliente son más resistentes que los tablonos extruídos; y el movimiento por humedad actúa en ángulos rectos al plano de los tablonos prensados en caliente, y paralelos al plano de los tablonos extruídos. Para mejorar sus resistencias, los tablonos extruídos son invariablemente enchapados.
- Tableros de fibra (que van desde «tablonos blandos» que tienen buen aislamiento térmico, hasta «tableros duros» que tienen propiedades similares a la madera contra chapeada) principalmente hechos de fibras de madera (u otros vegetales, que se entrelazan mecánicamente, no necesitando adhesivos ya que la lignina de las fibras actúa como agentes adherente. Las láminas son prensadas en caliente (tableros duros) o simplemente secadas sin prensar (tableros suaves), y pueden contener aditivos tales como repelentes líquidos, insecticidas y fungicidas.
- Losas de virutas de madera, comprende largas virutas de madera saturadas con un aglomerante inorgánico (tales como cemento portland o oxidocloruro de magnesio) y comprimidos (durante 24 horas, antes del desmoldado y curado durante 2 a 4 semanas). Se pueden emplear varias especies de madera, excepto aquellas que contienen apreciables cantidades de azúcar, que retardan el fraguado del cemento. Las losas de virutas de madera son relativamente ligeras de peso, elásticas, resistentes al fuego, hongos y ataque de insectos, pueden ser fácilmente aserrados como tableros de madera y enlucidas.
- Aserrín, y otros subproductos de aserraderos y forestales finamente picados, como aditivos en la producción de ladrillo de arcilla. Las partículas de madera son quemadas, produciendo ladrillos de arcilla cocida porosos y livianos.

- Adhesivos a base de tanino, extraídos de la corteza de ciertos árboles, empleados en la producción de tableros de partículas.
- Alquitrán vegetal, obtenido de la destilación seca de la madera, y empleado como un preservante para madera.

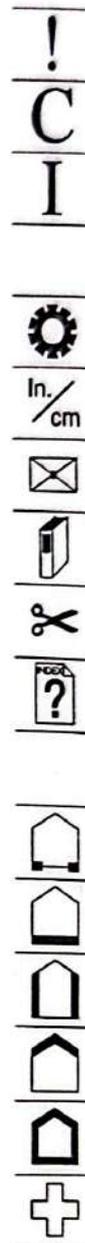
Aplicaciones

- Estructuras reticuladas para techos y construcciones completas o parciales, empleando madera rolliza, vigas de madera aserrada o piezas laminadas encoladas.
- Pisos estructurales y no estructurales, paredes y entrepisos o techos, hechos de madera rolliza (construcción de bloques), tableros de madera aserrada, o grandes paneles de madera contra chapeada, tableros de partículas, tableros de fibra o losas de virutas de madera; en la mayoría de los casos, adecuado para sistemas de construcción prefabricados.
- Paneles o capas de aislamiento hechas de losas de viruta de madera o tableros blandos.
- Enchapado de piezas de madera de inferior calidad con chapeado o capa exterior, para obtener superficies atractivas y suaves, o enchapado de otros materiales (ladrillos, concreto, etc.) con tableros y bardas.
- Marcos de ventana y puertas, hojas de puertas, persianas, biombos, protectores solares, antepechos de ventana, escaleras y elementos de construcción similares, principalmente de madera aserrada y todo tipo de tablas y costeros.
- Construcciones de techos, incluyendo cerchas, viguetas, vigas, enlistonados y bardas de madera principalmente de madera aserrada o rolliza.

- Encofrados para construcciones de tierra apisonada o concreto y andamios para obras de construcción en general, de madera aserrada y rolliza de baja calidad.
- Muebles, empleando alguno o combinaciones de los productos de madera descritos arriba.

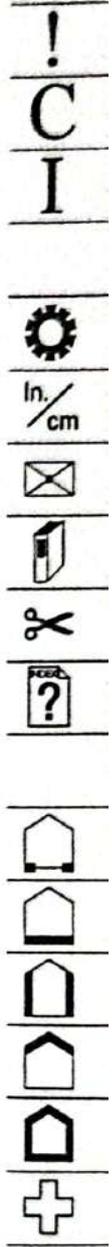
Ventajas

- La madera es adecuada para construcciones en todo tipos de climas, y no es igualada por otro material de construcción natural o manufacturado en términos de versatilidad, comportamiento térmico y brindar condiciones de vida saludables y confortable.
- La madera es renovable y al menos las especies secundarias se encuentran en todas las regiones pero las regiones más áridas, procurando que la reforestación esté bien planificada e implementada.
- La mayoría de especies tienen muy altas relaciones resistencia: peso, haciéndolas ideales para la mayoría de fines en la construcción, particularmente cuando se buscan materiales resistentes a huracanes y terremotos.
- La madera es compatible con los conocimientos tradicionales y raramente requiere equipo sofisticado.
- La producción y procesamiento de la madera requiere menos consumo de energía que la mayoría de los otros materiales de construcción.
- La madera proporciona buen aislamiento térmico y absorción acústica, y las piezas más gruesas se comportan mucho mejor en el fuego que el acero: la superficie quemada protege a la madera no quemada, la cual mantiene su resistencia.





- El empleo de especies de rápido crecimiento ayuda a conservar a las especies primarias de lento crecimiento, reduciendo así los serios problemas ambientales causados por el talado excesivo de la madera.
- Empleando madera rolliza se ahorra el costo y los desperdicios de un aserrado y mantiene su resistencia total, que es mayor que el de las maderas aserradas de igual área transversal.
- La madera de coco era considerada previamente un material de desperdicio con grandes problemas de colocación, su utilización como material de construcción no sólo resuelve el problema del desperdicio sino que proporciona a más gente con un material barato, de buena calidad y permite conservar en gran medida otras fuentes de madera caras y escasas.
- Todas las losas, tablonés y láminas a base de madera proporcionan elementos delgados de tamaños que nunca podrían ser obtenidos con madera aserrada. Además de requerir menos material por volumen (que generalmente consiste de madera de baja calidad e incluso desperdicios), son posibles construcciones más grandes, más ligeras y suficientemente fuertes.
- Las estructuras de madera demolidas a menudo pueden ser recicladas como material de construcción, o quemadas como combustible, siendo la ceniza un fertilizador útil, o procesadas para producir potasa (un preservativo de madera).
- Altos costos y oferta decreciente de especies de madera resistentes naturalmente, debido a las exportaciones y talado incontrolado, lo que se relaciona con serios problemas ambientales.
- Extrema dureza de algunas maderas secas (ejem. madera de coco) hacen difícil el aserrado y requieren de sierras especiales.
- Movimientos térmicos y por la humedad (perpendiculares a las fibras) causando deformaciones, contracción y agrietamiento.
- La mayoría de las especies de madera abundantes y baratas son susceptibles a la degradación por hongos (por el moho y descomposición) y al ataque de los insectos (por escarabajos, termitas).
- Peligro de fuego de los elementos de madera y productos de madera de pequeña dimensión.
- Alta toxicidad de los preservativos químicos más efectivos y recomendados, lo que representa serios peligros para la salud a largo plazo.
- Defectos de las uniones entre los elementos de madera debido a contracciones o corrosión de las uniones de metal.
- Decoloración y astillamiento o erosión de la superficie debido a la exposición a los rayos solares, elementos químicos o abrasivos llevados por el viento.



Troncos en un Aserradero de Kumasi, Ghana.
(Foto: H. Schreckenbach, Bibl. 00.49)



Soluciones

- Conservación de los recursos forestales mediante amplios programas de reforestación a largo plazo, y empleo de subproductos forestales y variedades de madera de más rápido crecimiento, reduciendo así también los costos.
- Talado de la madera en invierno o en estación seca, cuando el contenido de almidón y humedad, que atrae a los insectos destructores de madera, es menor.
- Aserrar las especies de madera duras (ejem. maderas de coco) cuando aún están verdes, ya que la humedad de las tablas fresca lubrica las sierras.
- Reducción del contenido de humedad a menos del 20% mediante secado, para evitar el crecimiento de hongos. Debe tenerse cuidado en controlar y disminuir la velocidad del secado para evitar grietas, cortes u otros defectos.
- Las temperaturas bajo 0°C y sobre los 40°C también evitan el crecimiento de hongos, así como la inmersión completa en agua.
- El tratamiento químico de la madera contra hongos, insectos y fuego sólo debería realizarse con conocimiento total de las sustancias constituyentes, su toxicidad (especialmente los peligros a la salud y al ambiente a largo plazo asociados con su producción y empleo), el método correcto de aplicación y las medidas de precaución requeridas. Deben tomarse en cuenta las opiniones de diferentes expertos, para determinar la opción menos nociva. Los objetivos, tales como recubrir tableros de partículas con capa exterior o lámina plástica, no siempre son aceptables, ya que la emisión de gases formaldeídos no se reduce sino que se desarrolla en un mayor período.
- Las aplicaciones con madera en interiores y en exteriores deben ser diferenciadas de acuerdo a la durabilidad y grado de toxicidad: bajo condiciones ideales (seco, bien ventilado, limpio), incluso las maderas poco durables pueden ser empleadas en interiores; las maderas tratadas que podrían representar un peligro a la salud sólo deben emplearse externamente, pero bien protegidas contra la lluvia, si se presume que se filtraran productos químicos tóxicos.
- Buen diseño de construcción empleando madera bien seca, una buena mano de obra y un mantenimiento regular pueden reducir considerablemente la necesidad de maderas tratadas químicamente.
- Un buen diseño de construcciones de madera incluyen: evitar el contacto con el suelo; protección contra la humedad mediante barreras, de vapor bota aguas y ventilación; evitar cavidades, que pueden actuar como tiro de aire esparciendo rápidamente el fuego; accesibilidad a todas las partes críticas para un mantenimiento regular; proporcionar juntas diseñadas para acomodar el movimiento térmico y por la humedad; evitar uniones de metal en lugares expuestos a la humedad; protección de los componentes exteriores contra la lluvia, luz solar y viento mediante amplios techos y vegetación.

METALES

Generalidades

Los metales no son considerados generalmente materiales apropiados para construcciones de bajo costo en los países en desarrollo ya que usualmente son caros, en muchos de los casos importados y muy a menudo requieren equipo y herramientas especiales. Sin embargo, solo un pequeño porcentaje de edificaciones son construidas sin el empleo de metales, ya sea como clavos, bisagras, láminas para techo o armadura para concreto.

Los metales empleados en la construcción se dividen en dos grupos principales:

- Metales ferrosos: hierros y aceros.
- Metales no ferrosos: aluminio (Al), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), plomo (Pb), níquel (Ni), estaño (Sn), zinc (Zn).

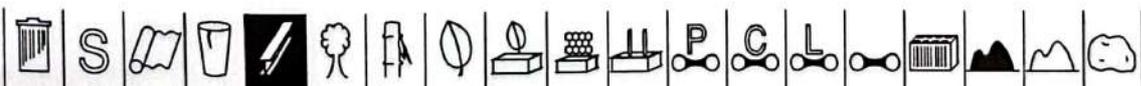
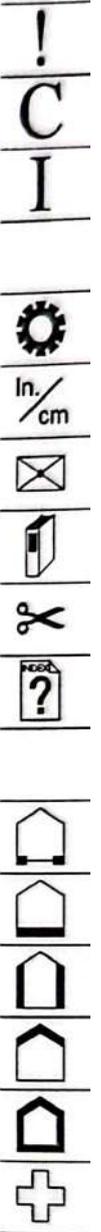
Metales Ferrosos

- Todos los metales ferrosos están hechos de arrabio, producidos calentando minerales de hierro, cok, piedra caliza, y algunos otros materiales, en un alto horno.
- El hierro fundido son aleaciones de hierro, carbón (más de 1.7%), silicio, manganeso y fósforo. Tienen puntos de fusión relativamente bajos, buena fluidez y estabilidad dimensional.
- El hierro forjado es hierro puro con un contenido de carbón sólo de 0.02 a 0.03%, es sólido, dúctil y más resistente a la corrosión que el acero, pero es caro e inadecuado para soldar, de modo que ha sido casi completamente reemplazado por el acero laminado.
- Aceros son todos aleaciones de hierro con contenido de carbón entre 0.05 y 1.5%, y con adiciones de manganeso, silicio, cromo, níquel y otros ingredientes, dependiendo de la aplicación y calidad requeridos.

- Aceros con bajo contenido de carbón, con menos de 0.15% de carbón, son suaves y se usan como alambre y láminas delgadas para hojalata.
- Aceros laminado, con 0.15 a 0.25% de carbón, son los más ampliamente empleados y el más versátil de todos los metales. Son fuertes, más dúctiles y adecuados para laminar y soldar, pero no para fundir.
- Aceros con mediano contenido de carbón, hasta 0.5% de carbón, son aceros especiales empleados en ingeniería.
- Aceros con alto contenido de carbón, hasta 1.5% de carbón, tiene alta resistencia al desgaste, son adecuados para fundir, pero difíciles de soldar. Pueden ser endurecidos para emplear como limas y herramientas para cortar.

Metales No Ferrosos

- Aluminio, el tercer elemento más común, pero difícil de recuperar como metal (producido con altos costos y uso intensivo de energía), es el metal más liviano, tiene buena resistencia a los refuerzos, alta resistencia a la corrosión, alta conductividad térmica y eléctrica, y refleja bien el calor y la luz. El aluminio y sus aleaciones tiene numerosas aplicaciones en las construcciones, pero sus altos costos y disponibilidad limitada en la mayoría de los países en desarrollo lo hace un material de construcción menos apropiados.
- Cobre, es un importante metal no ferroso, disponible en su forma pura o en aleaciones, tales como latón, bronce, etc., y adecuado para una gran cantidad de aplicaciones especiales, pero con pocas aplicaciones en construcciones de bajo costo.
- Plomo, principalmente usado en su forma pura, es el metal más denso, pero también el



más suave y por ello el más débil. Su buena resistencia a la corrosión lo hace útil para aplicaciones externas, ejem. en techados (canales, bota aguas, etc.), pero raramente en construcciones de bajo costo. Su alta toxicidad lo vuelve un material menos recomendado, especialmente en donde hay materiales alternativos, para tubos y pigmentos de pintura.

- Cadmio, cromo, níquel, estaño, zinc, y algunos otros metales son empleados principalmente como constituyentes de aleaciones para cumplir ciertos requerimientos, o como revestimiento de metales menos resistentes para mejorar su durabilidad, siendo un ejemplo común la galvanización (revestimiento de zinc) de las láminas corrugadas de hierro (gci).

Aplicaciones

- Elementos de acero estructural (columnas, vigas, viguetas, secciones huecas, etc.) para complementar estructuras entramadas, o piezas individuales, tales como dinteles, cerchas, estructuras especiales y similares.
- Láminas, usualmente corrugadas para mayor estabilidad, para techos (principalmente de hierro galvanizado corrugado, menos comúnmente láminas corrugado de aluminio), muros (paneles de relleno o enchapado), parasoles, cercas, etc.
- Planchas, listones o chapas metálicas para bota aguas (ejem. acero, cobre, plomo), fijaciones (como en cerchas de madera) y revestimiento (para protección contra daños físicos o para reflejar el calor).
- Barras de acero, emparillados, mallas de alambre para refuerzo en concreto y ferrocemento. El empleo de barras deformadas (torcida o corrugada) proporciona

una mayor adherencia mecánica entre el acero y el concreto, reduciendo los costos de construcción hasta en 10%. Los alambres de acero dulce de 6.5 a 8 mm. de diámetro, estirados con un troquel a temperaturas normales, produciendo alambres de 3, 4 ó 5 mm. de diámetro, tienen el doble de su resistencia a tracción original y baja plasticidad, y son empleados (predominantemente en China) para hacer componentes de concreto pretensados, ahorrando de 30 a 50% de acero.

- Alambre de diversos tipos y espesores, ejem. alambre de acero para atar refuerzo de acero u otros componentes de construcción, alambres de cobre para instalaciones eléctricas y alambres de acero galvanizado grueso, aluminio o cobre para conductores en pararrayos.
- Mallas de alambre de acero galvanizado o metal plegado (hechos ranurando una lámina de metal y anchando las ranuras en forma de diamante) como base para enlucidos o para protección de aberturas.
- Clavos, tornillos, pernos, tuercas, etc., usualmente acero galvanizado, para conexiones de todo tipo de elemento de construcción, encofrados, andamios y equipo de construcción.
- Secciones de acero laminado o secciones de aluminio extruído de diversos perfiles para marcos de ventana y puerta, elementos para dar sombra, rejas fijas o movibles.
- Artículos de ferretería de todo tipo, ejem. bisagras, tiradores, cerrojos, ganchos, diversos artículos de seguridad, pasamanos, etc.
- Tubos, canales, tinas para sanitarios, instalación de gas, eléctrica.
- Equipo y herramientas de construcción.

Soluciones

- Se pueden reducir los costos con un empleo limitado de los metales haciendo modificaciones en el diseño que permitan el empleo de materiales alternativos más baratos.
- Para contrarrestar el calor y la condensación: evitar los techos con láminas de metal en áreas de intensa radiación solar y grandes fluctuaciones de temperaturas; techos de doble capa con espacio para ventilación de aire y capa inferior absorbente; superficie exterior reflectantes.
- Para evitar la corrosión: evite emplearlos en condiciones húmedas; renovar periódicamente los revestimientos protectores; en caso de metales diferentes, evite el contacto con arandelas no metálicas; evite el contacto entre los productos de cemento y el aluminio (mortero o concreto).
- Para reducir el ruido: vanos más cortos y revestimiento de bitúmen en la cara inferior de las láminas para techado; también detalles cuidadosos de los puntos de suspensión, y aplicación de capas aislantes o cielos rasos suspendidos.
- Para la resistencia al levantamiento: láminas más gruesas y uniones más fuertes.
- Para reducir la toxicidad: evitar el plomo o los componentes plomo cuando puedan estar en contacto con el agua para beber o la comida, buena ventilación de las habitaciones en donde se produce gases tóxicos.

VIDRIO

Generalidades

Como los metales, el vidrio es un líquido solidificado. Es producido fundiendo arena, cenizas de sosa, piedra caliza, dolomita, alumina, feldespato, potasa, bórax, cristal desmenuzado (vidrio roto) y/o otros ingredientes, a aprox. 1500°C, dándoles formas y dejándolos enfriar lentamente (templar) para evitar agrietamiento. Aunque las primeras formas del vidrio fueron producidas hace miles de años, su producción en gran escala y empleo en las construcciones tiene menos de 2 siglos de antigüedad.

El vidrio no es un material esencial en las construcciones de bajo costo en países en desarrollo, pero ciertos productos del vidrio o incluso vidrio de desecho son ampliamente usados para mejorar la calidad de otros materiales, o el confort de interiores.

Aplicaciones

- Vidrio plano como vidrio plano transparente (con reflexión y visión no distorsionada), vidrio fundido (usualmente transparente) o variedades especiales (para el control solar, aislamiento térmico, decoración, etc.) principalmente para vidriados de ventanas, a veces puertas, también para colectores solares, invernaderos, paredes Trombe (muro para el almacenamiento térmico).
- Bloques de vidrio aligerados (hechos uniendo por fusión fundiendo dos bandejas de vidrio) para paredes sin carga o pantalla para proporcionar luz y transmisión del calor solar.
- Fibra de vidrio, junto con otros materiales tales como el cemento, poliéster y resinas epoxicas, para materiales de techo ligero o paneles de paredes de cerramiento parasoles, cisternas y otros elementos de cualquier forma deseada.

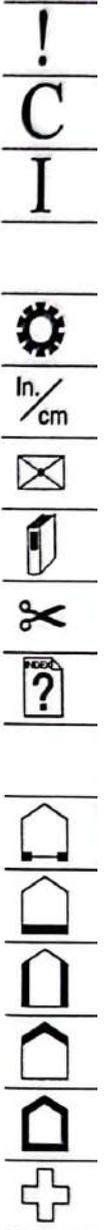
- Lana de vidrio, son de fibra de vidrio rociadas con un aglomerante y formadas en planchas o rollos, como material aislante térmico.
- Botellas recicladas empleadas como sustituto de bloques de vidrio aligerado.
- Vidrio de desecho, triturado como un polvo fino y mezclado con arcilla (7 partes de polvo:3 partes de arcilla), actúa como un fundente y reduce la temperatura necesaria para cocer los ladrillos en más de 50°C (ahorrando casi 50% del combustible). Los ladrillos son fuertes y resistentes al viento y a la lluvia. También se obtienen ladrillos fuertes y resistentes con 31% de vidrio triturado, 6% de arcilla, 7% de agua y 56% de ladrillos viejos triturados.

Ventajas

- Durabilidad, usualmente alta en condiciones normales, y buena resistencia a los productos químicos (con algunas excepciones) y agentes biológicos.
- Suficiente resistencia y elasticidad, tal que una lámina de vidrio común se puede doblar hasta 1/125vo. de su vano.
- En regiones con estaciones frías se utiliza la energía solar captando el calor dentro de la edificación a través del vidrio («efecto invernadero»), proporcionando confort en los interiores y ahorrando combustible para calefacción.
- El vidrio puede ser reciclado.

Problemas

- El vidrio es frágil y por ello difícil de transportar; una instalación incorrecta, tensiones térmicas, impactos repentinos, etc. pueden romperlo.
- El vidrio roto puede causar serias heridas.



- La mayoría de variedades modernas de vidrio absorben gran parte de los rayos ultravioleta del sol, que son de vital importancia (especialmente para los niños) para la síntesis de la vitamina D y para destruir bacterias dañinas.
- Los ácidos fluorhídrico y fosfóricos, y los álcalis fuertes (ejem. sosa cáustica, removedores de pinturas alcalinos, productos de cemento) atacan al vidrio; el deterioro también es causado por la acción prolongada del agua.
- Aunque el vidrio no es combustible, se quiebra y luego se funde con el fuego.

Soluciones

- Los elementos pequeños de vidrio son fáciles de transportar y menos probable de romperse. Una buena alternativa a las ventanas acristaladas normales son las ventanas con persianas de vidrio regulables, especialmente en los trópicos húmedos, donde se necesita ventilación cruzada.
- El vidrio de baja calidad y más barato hecho principalmente de arena cuarzosa, no permite la visibilidad sin distorsión, pero deja pasar los saludables rayos ultravioleta.
- El agua que corre del concreto fresco debe ser retirada adecuadamente del vidrio para evitar deterioros. En condiciones secas, con regular limpieza, el vidrio es extremadamente duradero.

PLASTICOS

Generalidades

Los plásticos son materiales sintéticos a base de compuestos de carbón derivados del petróleo y en menor cantidad del carbón de piedra. Todos los materiales plásticos son polímeros (largas cadenas de moléculas unidas flojamente entre sí), las longitudes y características de éstos pueden ser regulados fácilmente en la fabricación, lo cual explica la inmensa variedad de los plásticos.

Todos los materiales plásticos pueden ser clasificados como termoplásticos o termoestables:

- Los termoplásticos se ablandan en el calor sin experimentar cambios químicos (si no se sobrecalienta) y se endurecen nuevamente al enfriar.
- Los termoestables experimentan un cambio químico irreversible durante el moldeo, de modo que ellos no se ablandan en el calor y de ahí que no pueden ser reciclados.

Mientras que algunos países en desarrollo tienen sus propias industrias de plásticos, muchos otros tienen que importar materias primas o productos terminados, que son caros. Esto no siempre es una desventaja en la construcción de edificaciones, ya que los plásticos no son materiales esenciales, pero si se disponen de ellos, tienen numerosas aplicaciones en la construcción, ya sea para sustituir o proteger otros materiales, o para mejorar las condiciones de confort.

Aplicaciones

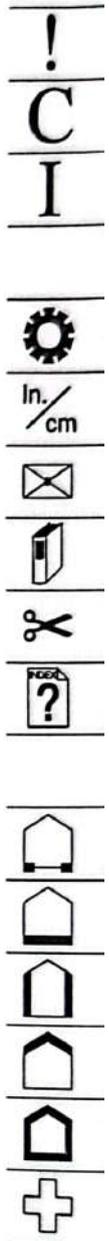
- Los plásticos rígidos para diversos usos en abastecimiento de agua e instalación sanitaria; láminas opacas o transparentes, traslúcidas para elementos de techos y muros sin carga, vidriados, revestimientos, etc.; perfiles extruídos para marcos de ventana, muebles, etc.; plásticos reforzados con fibras

(ejem. con vidrio, yute o fibras de sisal) para muros auto sostenibles (plegados o doble curvatura) y elementos de techos (sistemas de construcción completos).

- Membranas y láminas plásticas para capas impermeables; cubierta para el curado del concreto; protección temporal de aberturas contra el viento y lluvia; estructuras provisionales. Tubos y variedades más gruesas para aislamiento eléctrico.
- Fibras sintéticas para tejidos y cuerdas de alta resistencia, y como refuerzo resistentes a los alcalis (ejem. en elementos de techado de fibro concreto).
- Plásticos empojados principalmente como materiales para aislamiento térmico, paneles ligeros para losas, o como áridos en elementos de concreto ligero.
- Adhesivos y resinas sintéticas para la producción de diversos materiales componentes, tales como tableros de partículas, madera contra chapeada, todo tipo de laminado y paneles hechos con diferentes materiales colocados alternados (sandwich).
- Barnices, pinturas esmaltadas, pinturas al temple, pinturas en emulsión.
- Selladores para juntas de dilatación, uniones impermeables y expuestos a los agentes atmosféricos.

Ventajas

- Impermeabilidad y resistencia a la mayoría de los productos químicos, por lo tanto, sin corrosión.
- Buena relación resistencia: pesos en la mayoría de los materiales plásticos; la ligereza en el peso hace que la manipulación y transportación sea más fácil y barato; no se necesitan estructuras de soporte pesado.



- Capacidad de tomar una amplia variedad de formas, colores y otras propiedades físicas; imitación y sustitución de materiales escasos y caros.
- Generalmente buena resistencia a los agentes biológicos.
- Excelente aislamiento eléctrico.

Problemas

- Altos costos y limitada disponibilidad en muchos países en desarrollo.
- Inflamabilidad de la mayoría de plásticos, con desprendimiento de emanaciones nocivas y denso humo.
- Gran expansión térmica, hasta 10 veces superior a la del acero, rápida pérdida de sus propiedades mecánicas a elevadas temperaturas.

- Deterioro de la mayoría de plásticos debido a prolongadas exposiciones a los rayos ultravioletas del sol.

Soluciones

- Emplear plásticos sólo en propósitos especiales, ejem. para impermeabilización, aislamiento eléctrico y térmico, transporte más fácil y barato o en áreas propensas a movimientos sísmicos.
- Evitar materiales combustibles instalados cerca de los plásticos y proveer suficientes aberturas de ventilación para retirar el humo y los gases en caso de fuego.
- Prever suficientes juntas de dilatación en los elementos plásticos.
- Evitar el empleo de plásticos expuestos a la luz solar.

AZUFRE

Generalidades

Aunque hay varias aplicaciones muy útiles del azufre como material de construcción, la tecnología aún no es ampliamente conocida. Esto probablemente se debe a que la investigación y desarrollo ha tenido lugar casi exclusivamente en Canadá y Estados Unidos y solo algunas edificaciones prototipo han sido construidas en países en desarrollo. Sin embargo, la creciente disponibilidad de azufre, principalmente de la desulfuración del petróleo y el gas natural, están causando problemas su disposición en algunos países, problemas que pueden ser resueltos si el azufre es empleado ampliamente como material de construcción.

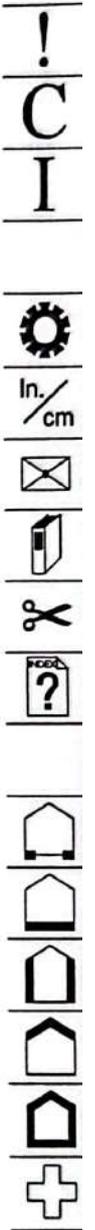
El azufre también se produce naturalmente en regiones volcánicas y desde hace tiempo ha servido como material básico para la industria química, particularmente para la producción de ácido sulfúrico, un material primario para la industrialización a gran escala. El azufre también es empleado en la producción de fertilizantes e insecticidas.

A temperaturas normales, el azufre puro es un material cristalino amarillo, que se funde aproximadamente a 119°C y se endurece rápidamente al enfriar. Estando fundido se adhiere firmemente a una amplia variedad de materiales proporcionándoles impermeabilidad y resistencia a sales y ácidos. El azufre puede ser guardado indefinidamente y reciclado numerosas veces calentando y remodelando.

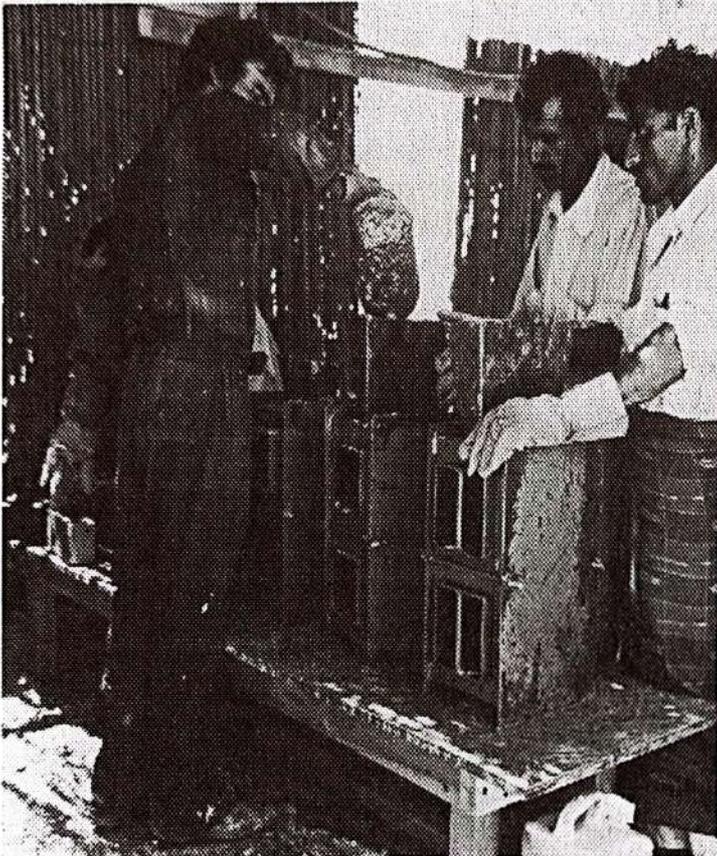
El empleo del azufre también tiene varias limitaciones que deben conocerse. Es necesario una mayor investigación, preferiblemente en el azufre producido en países en desarrollo, especialmente con el propósito de emplear aditivos de bajo costo, desarrollo de equipos prácticos, baratos y métodos de construcción simples.

Productos de Azufre

- Concreto de azufre, comprende el azufre elemental (aprox. 30% por peso) y áridos inorgánico fino y grueso (aprox. 70%), formando un material semejante al concreto que puede ser moldeado y que es hidrófugo. Este no contiene ni agua ni cemento. El azufre en polvo y los agregados pueden ser mezclados en un mezclador convencional equipado con un calentador, que eleva la temperatura de la mezcla hasta 140°C en pocos minutos. Precalentar los áridos a aprox. 180°C y añadir harina de sílice produce una mezcla fluida homogénea y productos más uniformes. El color puede variar con diferentes agregados. El concreto de azufre puede ser cortado con una sierra y perforado.
- Revestimiento de azufre en materiales débiles, flexibles y porosos los hace fuertes, sólidos e impermeables. Mediante inmersión, roceado o pintado, casi cualquier material puede ser impregnado con azufre.
- Adhesivo de azufre, empleando azufre fundido como un adhesivo, o aplicando externamente sobre juntas no adherentes, se pueden producir adherencia extremadamente fuertes entre dos componentes.
- Espuma de azufre, producido introduciendo pequeñas cantidades de agentes espumantes, son livianos (pesando aprox. 170 kg/m³), rígidos y tienen excelente resistencia térmica, baja contracción y absorción de agua.
- Asfaltos sulfurados, en los cuales el árido o el asfalto (empleados en construcción de pavimentos y carreteras) es reemplazado parcialmente por azufre, elevando así la viscosidad a altas temperaturas o disminuyéndola a bajas temperaturas.



- Concreto infiltrado con azufre, producido introduciendo azufre fundido en concreto pobre curado-húmedo, para incrementar su resistencia a los esfuerzos y al agua.



Demostración del empleo del azufre en Dubai. Emiratos Arabes Unidos: moldeado de bloques huecos machihembrado de concreto de azufre. (Foto: A. Ortega, Montreal).

Aplicaciones

- Bloques, ladrillos y tejas de cualquier forma deseada hechos de concreto de azufre para construcciones de muro y piso de carga. Los bloques más adecuados son hechos huecos y machihembrado, facilitando construcciones rápidas y exactas, siendo las cavidades rellenas con concreto reforzado (ejem. en regiones sísmicas) o con material aislante (ejem. en climas más fríos).
- Impregnación de materiales porosos y débiles (tales como techos de paja; paneles de caña, esteras entretejidas, telas o papeles estirados sobre marcos de madera; elementos de madera; e incluso concretos poco resistentes) para proporcionar resistencia a los esfuerzos y al agua. Por ejemplo, una gran pieza de tela, extendida sobre un marco e impregnada con azufre, forma una concavidad, que se endurece y -cuando es volteado de arriba hacia abajo- se vuelve un panel en forma de cúpulas impermeables y resistentes a los esfuerzos.
- Muros rígidos hechos colocando ladrillos o bloques de concreto en seco a los cuales luego se les aplica un revestimiento de azufre en las superficies interiores y exteriores. Dinteles fuertes también han sido hechos ten-

diendo en fila bloques huecos de concreto y uniéndolos aplicando azufre fundido entre las juntas sobre las dos superficies verticales externas.

- Aislamiento térmico de edificaciones con espuma de azufre, o producción de muros sin carga, livianos y placa de falso techo.
- Pavimentación de patios y otras superficies exteriores, caminos, etc. con asfaltos sulfurados.
- Tubos, cisternas y una variedad de elementos prefabricados hechos de concreto infiltrado con azufre para mejor resistencia química, resistencia mecánica más alta e impermeabilidad, a pesar de la menor proporción de cemento.

Ventajas

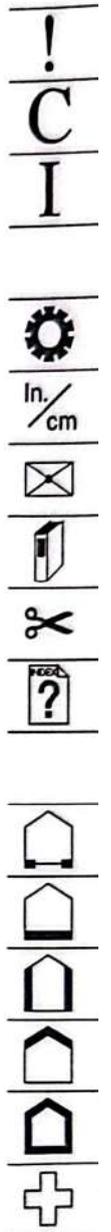
- El azufre elemental puro abunda en muchas regiones; puede ser guardado indefinidamente y puede usarse una gran cantidad de veces; necesita relativamente poco consumo de energía y sólo un equipo simple para fundirlo; se adhiere a una amplia variedad de materiales; no tiene sabor ni olor (excepto cuando es calentado o cortado con una sierra eléctrica) y no actúa sobre la piel; y es un pobre conductor de calor y electricidad.
- El concreto de azufre obtiene el 90% de su resistencia final entre 6 y 8 horas (el cemento portland normal requiere entre 30 y 60 días para obtener la misma resistencia); no es atacado por sales (por lo que se puede emplear áridos sin lavar e incluso arena de mar); no necesita agua (de especial importancia en regiones desérticas, en las cuales incidentalmente también se producen grandes cantidades de azufre como subproducto de la refinación del petróleo); puede ser moldeado para producir elementos de

construcción con dimensiones precisas y bordes agudos (especialmente adecuado para la fabricación de bloques machihembrado, que pueden ser ensamblados sin emplear mortero ni un adiestramiento especial); tiene una superficie resistente químicamente, no absorbente, suave, dura y atractiva (que es fácil de limpiar simplemente lavándola), eliminando la necesidad de enlucir o pintar; y mantiene gran parte de las características del azufre elemental puro.

- El revestimiento de azufre puede incrementar considerablemente la resistencia y prolongar la vida útil de muchos materiales.
- Las adhesiones de superficies con azufre reduce el tiempo de construcción, ahorra cemento y produce uniones fuertes, impermeables.
- Las espumas de azufre tienen características similares de aislamiento térmico, pero de mayor resistencia a la compresión que las espumas sólidas convencionales, tales como el poliuretano expandido.
- Los asfaltos sulfurados pueden ser más fuertes y más baratos que los materiales comunes usados para pavimentar.
- El concreto infiltrado con azufre requiere menos cemento que los concretos con la misma resistencia e impermeabilidad.

Problemas

- El azufre tiene un bajo punto de fusión (aprox. 119°C) y se inflama aproximadamente 245°C. La combustión del azufre se automantiene y por ello, una vez inflamado, continuara prendido hasta extinguirse. Al quemar azufre se produce dióxido de azufre que es un gas tóxico.



- El azufre puro se vuelve frágil y desmenuzable (forma cristalina ortorómbica) al enfriarse, haciéndolo inadecuado para diversas aplicaciones.
- El azufre tiene un coeficiente de expansión térmica mucho mayor que el concreto de cemento portland, y el concreto de azufre tiende a contraerse al enfriarse.
- Bajo condiciones húmeda, el acero de refuerzo tiende a corroerse en presencia del azufre, haciendo al concreto de azufre inadecuado para aplicaciones estructurales.

Soluciones

- No debe emplearse el azufre como material de construcción en donde la temperatura probablemente exceda de 80°C.
- Un incendio de azufre en una estructura cerrada puede ser sofocada cerrando todas las entradas e impidiendo el ingreso del aire; también puede ser extinguida con agua o arena.
- Además de evitar todas las fuentes potenciales de fuego (ejem. cocinas, calentadores) cerca de los componentes a base de azufre, una medida de precaución es añadir al azufre fundido un material resistente al fuego. Un material adecuado es el dicitlopentadieno.
- La tendencia del azufre al volverse frágil y desmenuzable se subsana añadiendo un elemento plastificador que retarde la cristalización del azufre. También se ha encontrado que el dicitlopentadieno es efectivo para este propósito, así como incrementa la estabilidad térmica del concreto de azufre.
- La contracción del concreto de azufre en elementos prefabricados (ejem. bloques huecos) es superada sobre llenando el molde, y luego de enfriar, cortar el concreto extra con una sierra.
- La expansión térmica del concreto de azufre debe ser tomada en cuenta proporcionando juntas suficientemente amplias.
- La fragilidad y los movimientos térmicos de los materiales a base de azufre pueden ser reducidos mediante el refuerzo con fibra, pero sobre este aspecto se necesita una mayor investigación.

DESECHOS

Generalidades

Aunque el término «desecho» es de uso común, puede ser engañoso. No todos los desechos son basuras inútiles y están disponibles libremente. También es principalmente una cuestión de definición: desde un punto de vista un material puede ser inservible, mientras que desde otro punto de vista es un recurso valioso.

En este contexto, los desechos pueden ser definidos como subproductos (de la agricultura, forestales, procesos industriales e incluso domésticos), que esencialmente no tienen nada que ver con la construcción, pero que, con tratamiento y procesamiento especial, o unidos con otros materiales, puede sustituir económicamente, o incluso mejorar la calidad de los materiales de construcción convencionales. Las excepciones a esta definición son los materiales reciclados de construcciones demolidas que continúan sirviendo como materiales de construcción, aunque quizás en diferente manera.

Se descartan los artículos de consumo (tales como botellas, latas, llantas de carro), que han sido experimentados en diversos países industrializados, pero son de menor relevancia en los países en desarrollo, ya que dichos materiales ya tienen otras numerosas aplicaciones (ejem. artículos domésticos, instrumentos musicales, zapatos).

En esta sección hacemos referencia a una amplia diversidad de materiales, pero básicamente son de dos tipos: desechos orgánicos e inorgánicos. Como una subdivisión adicional los desechos orgánicos generalmente son subproductos de la agricultura o forestales y también desechos urbanos y domésticos, mientras que los desechos inorgánicos principalmente son obtenidos de procesos industriales y demolición de viejas edificaciones, pero hay algunas excepciones.

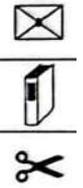
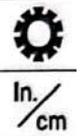
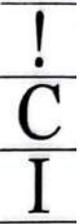
Desechos Orgánicos

Cáscaras de Arroz

- La capa exterior de los granos de arroz puede ser empleada una vez seca, tratada químicamente, o en forma de ceniza.
- Las cáscaras trituradas o completas mezcladas con arcilla en la producción de ladrillos, ayudan a quemar uniformemente el ladrillo, creando vacíos, y por lo tanto produciendo ladrillos ligeros.
- El vidrio soluble (silicato de sodio), un aglomerante útil, puede ser fabricado de cáscaras de arroz. Este puede ser empleado en la unión de cáscaras enteras o trituradas para producir tableros de partículas. También se pueden emplear otros aglomerantes.
- La ceniza de cáscara de arroz (RHA) es una puzolana útil, que puede ser mezclada con cal para producir un aglomerante cementoso. (Se dan mayores detalles en la sección titulada Puzolanas).
- La RHA mezclada con tierra, nodulada y aglutinada en un horno, produce áridos ligeros para concretos.

Desechos de Coco

- Estos incluyen cáscaras frescas, conchas de coco y desechos de la industria de estopa de coco.
- Las cáscaras consisten en fibras de 15-35 cm de largo (aproximadamente 60% de la cáscara), con alta resistencia a tracción, que es afectada por la humedad. Las fibras, y más la médula (material suave similar al corcho), son químicamente reactivas, mientras se mantienen secas. Durante el proceso de enriado (ablandamiento al empapar con agua) se vuelven inertes. Por la diferencia de reactividad entre las cáscaras frescas y las



enriadas se necesitan diferentes métodos de conversión en materiales de construcción.

- Las cáscaras no enriadas, prensadas en calor (a 150°C, 1 MPa de presión durante 15 a 25 minutos) sin aditivos, producen tableros de partículas fuertes.
- La médula no enriada, obtenida de la defibración de cáscaras maduras, prensadas en calor sin aditivos, produce fuertes tableros resistentes a la humedad. De igual manera se producen tableros elásticos más livianos, pero añadiendo médula enriada (material granular altamente elástico, de baja densidad).
- La médula enriada mezclada con resina líquida de corteza de nuez de acajú (sustancia elástica como el caucho) produce un relleno de juntas de expansión, resistente a fluctuaciones de humedad y temperatura y a los ataques de hongos e insectos.
- Gránulos de médula enriada como árido para concretos son útiles para aislamiento térmico.
- Fibras no enriadas, mezcladas con cera de parafina y prensadas en calor, producen tableros fuertes, flexibles y duros (tableros de fibra).
- Desechos de esquila de estopa de coco, que contienen fibra, médula, y polvo, unidos con un adhesivo, producen tableros de partículas con una atractiva apariencia jaspeada.
- Desechos de estopa de coco, mezclados con cemento portland y moldeados bajo compresión, producen grandes láminas corrugadas de techo (ver sección titulada Fibro Concreto).
- Los fragmentos de cáscara de coco y adhesivos convencionales producen tableros de partículas de buena calidad.

- El alquitrán de cáscara de coco, obtenido durante la destilación destructiva de la cáscaras, es un líquido ligeramente viscoso con propiedades antimicrobianas.

Desechos de Madera

- Aserrín, viruta, astillas de madera y otros residuos de madera de los aserraderos se pueden emplear de manera convencional para producir tableros de partículas, fibra y lana de madera.
- Con aserrín como árido en concretos, preferentemente con cemento oxicluro de magnesio, se pueden hacer componentes de concreto ligeros prefabricados (ejem. marcos de ventana y puerta).
- Desechos de madera mezclados con materiales inorgánicos (cemento, tras, cal, puzolana) en una máquina mezcladora despulpadora, produce tableros de cemento y pulpa para diversas aplicaciones sin carga.
- El tanino es extraído de la corteza de diversas especies de madera (obtenido del procesamiento de la madera) para producir adhesivos a base de tanino para la fabricación de tableros de partículas.

Cañas y Pajas

- La paja del trigo, cebada, arroz y otras plantas son prensadas en caliente, sin ningún aglomerante, para producir tableros rígidas, revestidas con papel en ambos lados (proceso «Stramit»).
- Los tableros flexibles también son hechas colocando cañas (o variedades rígidas de paja) lado a lado y luego cociéndolas transversalmente con alambre galvanizado ordinario.

- La paja y otros materiales fibrosos secos, cortados en largos de 10 a 20 cm., ablandados en agua y mezclados con barro arcilloso húmedo, pueden ser compactados en encofrados para hacer muros aislantes térmicos, rígidos (construcción de arcilla y paja).

Bagazo

- Este es un residuo fibroso del procesamiento de caña de azúcar. No es adecuado para el refuerzo de productos a base de cemento, ya que el azúcar residual retarda el fraguado del cemento.
- Con un adhesivo orgánico adecuado, se pueden hacer tableros de partículas y tableros de fibras con bagazo.

Hojas y Tallos de Plátano

- Las fibras de plátano han sido empleadas exitosamente en fibro concreto.
- Los tallos y hojas, cortados y hervidos en agua, forman un líquido espeso, que es aplicado sobre techos y muros de barro para su impermeabilidad y mayor resistencia a la abrasión y al agrietamiento.

Líquido de Cáscara de Nuez de Acajú (CNSL)

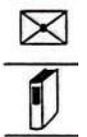
- Un subproducto del procesamiento de la nuez de acajú es un líquido viscoso extraído del mesocarpo. El CNSL ampolla severamente la piel de cualquier persona que haga contacto con ella, pero es un útil agente impermeable y antimicrobiano. Por ello, es empleado para proteger materiales susceptibles a los agentes biológicos (ejem. techado de paja), y es aplicado con una brocha. también puede ser roceado si es mezclado con kerosene para reducir la viscosidad.

Jacinto de Agua

- Esta hermosa planta, originalmente encontrada sólo en Brasil, se ha convertido en un serio problema, obstaculizando las vías navegables tropicales del mundo e invadiendo los arrozales en Asia Meridional. Ahora es ampliamente empleada para producir biogas, abono para mejoramiento de tierra y en ensilaje como alimento animal.
- Investigaciones en India y Bangladesh han demostrado que se pueden fabricar tableros duros flexibles, y resistentes con la pulpa fibrosa de los tallos cortados del jacinto de agua.

Desechos de Vegetales Varios

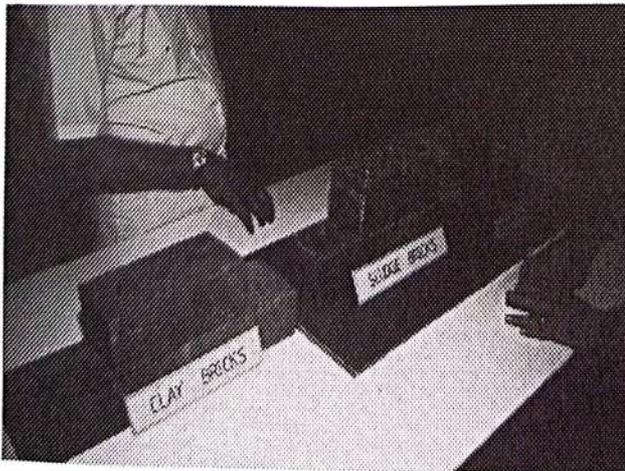
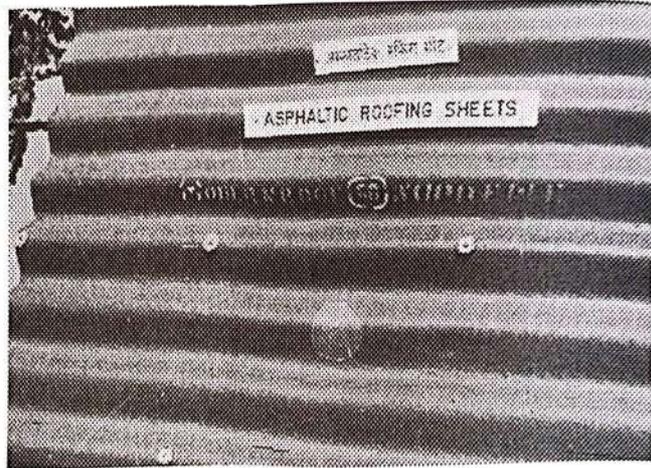
- Una gran variedad de otros residuos agrícolas (ejem. yute y tallos de cereal, cáscaras de maní) pueden ser empleados de manera similar a los mencionados anteriormente. Los usos más comunes son en la fabricación de tableros de partículas o tableros de fibra.
- El empleo de cemento como aglomerante, sólo es posible si el material residual no contiene «veneno» de cemento (que retarde el fraguado), si el material no tiene cavidades (que atrapen y por ello se pierda el cemento), y si las partículas o fibras son lo suficientemente largas para proporcionar resistencia al entrelazarse.
- Algunos granos no comestibles son adecuados para la carbonización (conversión en carbón mediante un cocido lento) para producir partículas de una fina estructura celular que contiene aire atrapado. Son similares, y empleados de igual manera, que los áridos ligeros convencionales (ejem. bolitas de poliestireno), son biológicamente inertes, resistentes al fuego (hasta los 2000°C) y altamente resistentes al agua y a los productos químicos.





Productos de Jacinto de Agua en el Housing & Building Research Institute, Dhaka, Bangladesh (Foto: K. Mukerji)

Láminas corrugadas asfaltadas fabricadas en la India (Foto: National Buildings Organization, Nueva Delhi)



Ladrillos hechos de lodo de aguas residuales comparados con ladrillos de arcilla cocida normales, en Nanyang Technological Institute, Singapur. (Foto: K. Mukerji)

Desechos de Papel y Textiles

- Aunque son recolectados para otros usos (tales como papel reciclado, material para embalaje, paño burdo, bolsas, esteras, etc.), los listones de tela y el papel residual desmenuzados pueden servir como aislantes térmicos, como por ejemplo muros con cavidad y paneles sandwich. Se puede obtener resistencia al fuego empapándolos en una solución de bórax y secándolos.
- Láminas corrugadas asfaltadas son producidas haciendo una pulpa de papel y residuos textiles lavados y amasados, formando láminas, secándolo en el sol o en cámaras, ribeteando, pasando por un horno con rodillos de corrugación y finalmente sumergiendo en un baño de asfalto caliente.

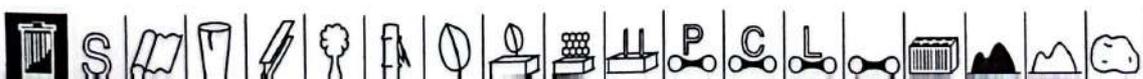
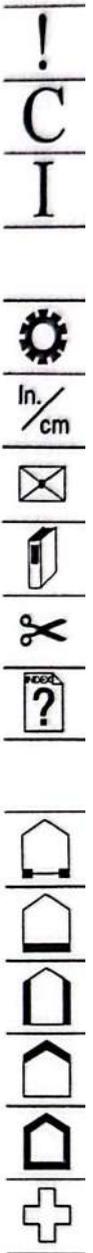
Lodo de Aguas Residuales

- El lodo de las plantas de tratamiento de aguas residuales normalmente es desaguado y empleado para relleno de terrenos. Al ser éste un serio problema de disposición en la pequeña isla del estado del Singapur, se realizó una investigación sobre la utilización del barro como material de construcción (en el Nanyang Technological Institute).
- Ladrillos cocidos hechos de arcilla mezclada con 40% de lodo seco o 50% de ceniza de lodo mostraron mejores resultados con la ceniza, aunque un por ciento mayor no es aconsejable.
- Añadiendo ceniza de lodo pulverizado, reemplazando hasta el 20% del cemento al concreto, mejora su facilidad para trabajar, el tiempo de fraguado se mantiene inalterable, pero la resistencia a compresión disminuye con el incremento de la proporción de ceniza de lodo.
- La ceniza de lodo puede ser triturada parcialmente y empleada como árido fino en concre-

tos ligeros, o como árido grueso en concretos cavernosos, con resultados satisfactorios.

Desechos de Carbón de Piedra

- El carbón de piedra es un material orgánico, pero los residuos a los que hacemos referencia aquí son bastantes inorgánicos, y pueden ser atribuidos a cualquier grupo.
- La ganga es un subproducto de la producción de carbón de piedra y esta compuesta mayormente de silicio y aluminio con 75% de óxido. En China se emplean grandes cantidades como material de construcción: principalmente como bloques de mampostería, áridos de concretos ligeros y como material sustituto al cemento.
- El carbón de piedra que se quema en plantas de energía térmica básicamente produce dos tipos de desechos: ceniza o clinker, formada por la combustión de terrones de carbón de piedra, o carbón de piedra pulverizado que se funde en terrones y cae a la parte inferior de la hornilla (o llamada también «ceniza inferior»); ceniza volante (o ceniza de combustible pulverizado) formada por la combustión de carbón de piedra pulverizado, produciendo un polvo fino, que es llevado hacia arriba por los gases en combustión. Las cenizas de carbón de piedra pueden contener carbón no quemado en diversas proporciones.
- La ceniza y ceniza volante aglutinada son empleadas como árido ligero en construcciones de concreto y en la fabricación de bloques.
- La ceniza volante y/o ceniza triturada puede ser empleada para hacer ladrillos de arcilla cocida, morteros de albañilería y concreto aireado. (Para mayor detalle sobre la ceniza volante ver sección titulada Puzolanas).



Desechos Inorgánicos

Escoria de Alto Horno

- Este es el material fundido que se asienta sobre el arrabio de la parte inferior del horno. (Los detalles figuran en la sección titulada Puzolanas).

Desechos de Bauxita

- El lavado del mineral de bauxita en la producción de alumina se recoge en estanques y al secar dejan un residuo llamado barro rojo.
- El barro rojo puede ser mezclado con arcilla para hacer tejas y ladrillos cocidos, o hacer pelotas y quemarlas para producir áridos ligeros para concreto. Las pelotas quemadas también pueden ser finamente trituradas para obtener una puzolana de alta calidad.

Lodo de Cal

- El lodo, en forma de precipitado fino de carbonato de calcio (con variadas cantidades de cal libre), es obtenido de las plantas de fertilizantes, fabricas de azúcar y papel, curtidurías, industrias de carburo de calcio y sosa.
- Los lodos de cal pueden ser usados para la fabricación de cemento portland y para producir ladrillos de arena y cal.
- El lodo de cal también puede ser moldeado en ladrillos y quemado en horno para producir cal viva (óxido de calcio).
- El lodo de cal seco mezclado con cáscaras de arroz y quemado en un horno rústico abierto produce un aglomerante hidráulico (ver sección titulada Puzolanas).

Fosfoyeso

- El fosfoyeso (sulfato de calcio, combinado con fosfatos) es producido como una mezcla

pastosa en la fabricación de fertilizantes y ácido fosfórico. Contiene diversas impurezas que deben ser retiradas mediante lavados caros, tratamientos químicos o térmicos. También es radiactivo en cierto grado y por lo tanto no recomendado para edificaciones.

- Si la cantidad de impurezas y radioactividad es suficientemente baja, el yeso purificado puede ser utilizado como un retardador del fraguado en el cemento portland, o para producir enlucidos de yeso, tableros enlucidos de yeso fibroso o bloques de yeso.
- Cementos del fosfoyeso tiene fraguado lento y baja velocidad de desarrollo de la resistencia a edades tempranas, pero las resistencias finales (a los 28 días) son comparables con las del cemento portland.

Desechos de Demolición

- Las edificaciones demolidas pueden proporcionar una gran cantidad de materiales que pueden ser reciclados en nuevas construcciones. Un desmantelamiento cuidadoso y separación de los diversos componentes individuales (piezas de metal, vigas y tablas de madera, ventanas, puertas, tejas, tubos, etc.) ayudan a conservar recursos limitados y ahorrar los enormes costos y energía requeridos para producir nuevos componentes.
- Los desechos de ladrillos pueden ser finamente triturados y empleados como aglomerante puzolánico (ver «Arcilla Cocida» en la sección titulada Puzolanas). También pueden ser triturados a un tamaño máximo de 20 mm. y empleados como árido grueso en construcciones de concreto (de especial importancia en países como Bangladesh, en los cuales son escasos los áridos naturales). El árido de ladrillos absorbe el agua, por lo que se requiere más agua al preparar la mezcla de concreto.

- El concreto roto sirve bien como árido para nuevos concretos.

Fragmento de Metal

- La recolección y reuso del fragmento de metal (chatarra) es una de las más grandes industrias en el mundo con respecto al número de compañías, personas empleadas, peso del material manipulado y de los equipos usados. Los fragmentos de metal pueden ser recolectados en obras de construcción (ejem. residuos de los cortes del acero de refuerzo y mallas, alambres y clavos), obras en demolición, talleres de ingeniería (residuos de cortes de tornos, taladros, etc.), garajes y fábricas (fragmento de carros, cilindros de aceite, maquinaria en desuso, etc.), casas domésticas (latas de estaño, artículos domésticos, herramientas rotas, muebles, etc.) y vertederos de residuos.
- Los fragmentos de metal recolectados y clasificados pueden ser fundidos en pequeñas fundiciones descentralizadas para producir nuevos componentes metálicos; darles nuevas formas en una herrería; cortados en piezas adecuadas; soldados formando nuevos productos; o reusados sin procesamiento especial.
- Las latas de bebidas desechables, de las cuales grandes cantidades se acumulan en países industrializados, son menos comunes en el tercer mundo. En lugares donde abundan, han sido empleadas exitosamente como ladrillos para construir muros ligeros de mampostería aislado térmicamente.
- Residuos de corte de metal de tornos, taladros, etc., si no están contaminados con aceite puede ser empleados como áridos en concretos, especialmente en donde se necesita incrementar la resistencia al agrietamiento, impacto y erosión (ejem. construcción de pavimentos y carreteras).

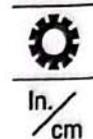
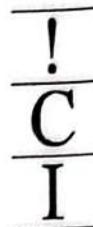
- Cilindros, materiales de carrocería y latas aplanadas, sirven como chapas de uniones baratas en construcciones de madera (ejem. para cercha de techo).

Vidrio Residual

- En la mayoría de países en desarrollo, las botellas usadas, limpias tienen un gran valor de reventa y difícilmente serán consideradas como material para construcción. En los países opulentos, en donde las botellas no tienen valor, han sido empleadas como ladrillos para construcción de muros, que permiten que la luz penetre y presentan una apariencia atractiva.
- El vidrio roto (cristal desmenuzado) puede ser reciclado en fabricas de vidrio, pero también tiene algunas aplicaciones como material de construcción.
- El vidrio residual, triturado como polvo fino y mezclado con arcilla (7 partes de polvo:3 partes de arcilla), actúa como un fundente y reduce la temperatura necesaria para cocer los ladrillos en más de 50°C (ahorrando casi 50% de combustible). Los ladrillos son sólidos y resistentes al viento y a la lluvia. También se producen ladrillos resistentes y muy fuertes con un 31% de vidrio triturado, 6% de arcilla, 7% de aguay 56% de ladrillos viejos triturados.
- El vidrio triturado, con una granulometría continua de aprox. 3 mm a 2 mm puede ser usado como árido en concretos, pero se ha encontrado que ciertos tipos de vidrio (ejem. el vidrio pyrex y sosa) se expanden en el ambiente alcalino del cemento portland, causando grietas y desintegración total del concreto.

Azufre

- Grandes cantidades de azufre son producidos en la desulfurización del petróleo y gas natural. Debido a sus muchas aplicaciones



como material de construcción, se ha tratado en una sección a parte titulada Azufre.

Aplicaciones

- Elementos, principalmente tablas, hechos con aglomerantes orgánico o inorgánicos, de desechos de coco, cáscaras de arroz, residuos de madera, bagazo, fibras de plátano y otros desechos vegetales.
- Tableros hechos mediante presión en caliente sin aglomerante de paja, cáscaras de coco, fibras de madera, jacinto de agua.
- Material aislante térmico y áridos ligeros en concretos hechos de nodulos de ceniza de cáscara de arroz, médula o meollo de coco, aserrín, paja, granos carbonizados, listones de tela y papel, ceniza de lodo de aguas residuales, ceniza volante aglomerada, escoria de alto horno, pelotas de barro rojo aglomeradas, azufre esponjoso.
- Sustitución de áridos en concretos por residuos de ladrillos y concreto rotos (residuos de demolición), vidrio triturado.
- Materiales para la producción de cemento y sustitutos (puzolanas) de cáscaras de arroz, ceniza volante, escoria de alto horno, bauxita, lodo de cal, fosfoyeso, arcilla cocida pulverizada.
- Aditivos en la producción de adobe de cáscara de arroz, residuos de madera, lodo de aguas residuales, ceniza, residuo de bauxita, vidrio triturado.
- Láminas corrugadas empleando residuos de estopa de coco, lana de madera, fibras vegetales, residuos de tejido y papel.
- Adhesivos y revestimiento para protección de superficies hechos de tanino, hojas y tallos de plátano, líquido de cáscara de nuez de acajú, lodo de cal, azufre.

Ventajas

- Conservación de recursos caros y escasos, y utilización de materiales disponibles localmente, reduciendo costos y transporte.
- Reducción de la contaminación al emplear materiales difíciles de ubicarles un lugar de desecho y evita la producción excesiva de nuevos materiales en procesos industriales contaminantes.
- Considerable ahorro de la energía requerida para producir nuevos materiales.
- Mejoramiento de la calidad de algunos materiales (ejem. usando ciertas puzolanas artificiales en concretos).

Problemas

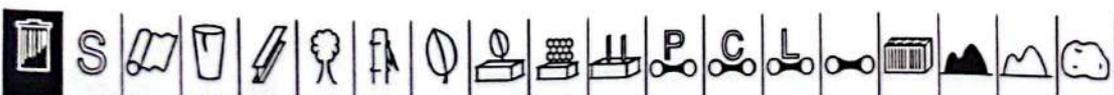
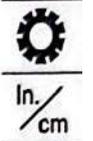
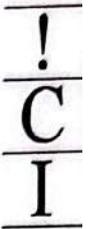
- La manipulación de desechos puede ser peligrosa, ejem. inhalación de partículas finas, ampollas, quemaduras y enfermedades por sustancias tóxicas; severos cortes con los fragmentos de metal y vidrios rotos.
- Aunque la cantidad total de desecho disponible es grande, se puede producir en numerosas unidades descentralizadas, haciendo extremadamente difícil la recolección.
- Una vez que un subproducto se convierte en un material de construcción útil, su precio se eleva, por lo que se pierden rápidamente el beneficio de emplear materiales baratos.
- No todos los materiales de construcción en base a desechos proporcionan la misma resistencia y durabilidad que la de los materiales que sustituyen (pero el precio es menor, esta desventaja puede ser aceptada).
- La idea de emplear desechos y el temor de problemas futuros que podrían surgir debido a las calidades inferiores de los materiales hace que los constructores sean reacios a emplearlos.

Soluciones

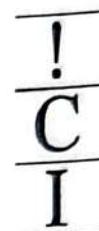
- Supervisión cuidadosa y observación estricta de las medidas de seguridad (ejem. empleo de guantes, anteojeras, ropa protectora) al manipular los desechos es de vital importancia para reducir los daños y los problemas de salud.
- Los fabricantes de subproductos útiles necesitan estar bien instruidos sobre los métodos apropiados de manipulación y almacenamiento del material para facilitar la recolección.
- Especialmente en el caso de los residuos menos conocidos pero prometedores, se

necesitan esfuerzos considerables para demostrar la tecnología y sus beneficios. Estructuras prototipos (preferentemente importantes edificaciones públicas) que son constantemente usadas pueden convencer a los más dubitativos.

- El empleo de desechos en edificaciones ofrece un amplio campo de investigación y debería darse prioridad (incluso en los países opulentos) ya que hay una gran necesidad para ahorrar recursos, energía y costos, y al mismo tiempo proporcionar más viviendas para los más necesitados.



INFORMACION FUNDAMENTAL SOBRE ELEMENTOS DE CONSTRUCCION



CIMENTOS

Generalidades

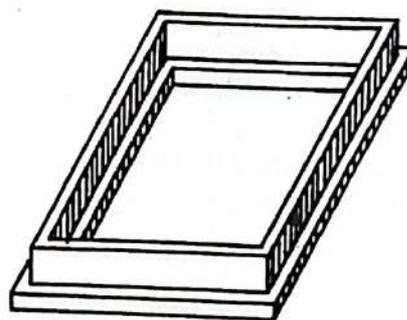
La estabilidad de una edificación depende principalmente del cimiento sobre el que esta construido. La construcción de un cimiento depende a su vez del tipo de edificación, y sobre todo, de la capacidad de soporte de carga del terreno. Los suelos blandos, o aquellas que se vuelven blandas cuando se humedecen, requieren de cimientos más sofisticados y más caros que los de suelos duros. Los fenómenos naturales, como movimientos sísmicos, huracanes, inundaciones, etc., también influyen en la construcción del cimiento.

Debido a los numerosos requerimientos y restricciones, hay una gran variedad de cimientos. Con respecto a las construcciones de bajo costo, aquí trataremos brevemente 5 tipos principales.

Tipos de Cimiento

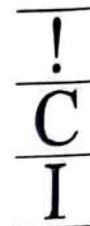
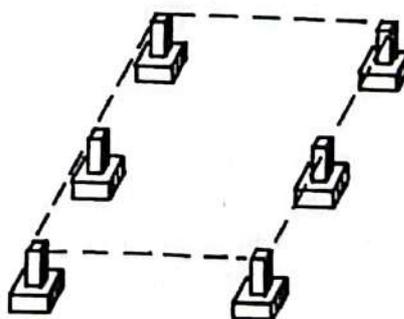
Cimiento Lineal o zapata

Este es el tipo de cimiento más común, consiste de una banda continua que soporta un muro de carga a lo largo de su longitud. También es empleado para pontear o volar sobre porciones blandas del terreno en cuyo caso, debe ser reforzado.



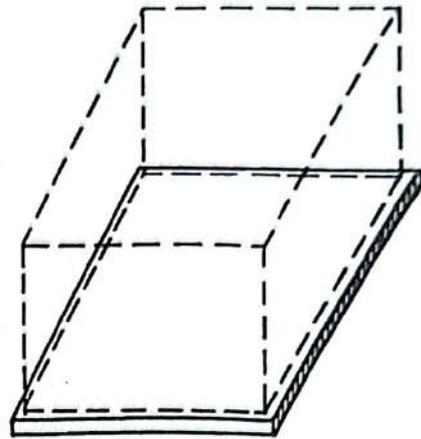
Cimiento de Puntos o aislado

Este es el cimiento común para columnas o postes (construcciones de esqueleto), y principalmente consta de una base cuadrada (a veces rectangular), que es más gruesa que el ancho o diámetro de la columna o poste, la longitud y el ancho de cada uno debe ser al menos tres veces el espesor.



Cimiento de Losa o Tipo Balsa

Este tipo de cimiento a menudo es usado para pequeñas edificaciones o estructuras con cargas uniformemente distribuidas (ejem. tanques de agua). Las losas sobre suelos homogéneos pueden hacerse sin refuerzo, pero sobre grandes áreas, es aconsejable el refuerzo, ya que suelos no uniformes producen esfuerzos diferenciales.



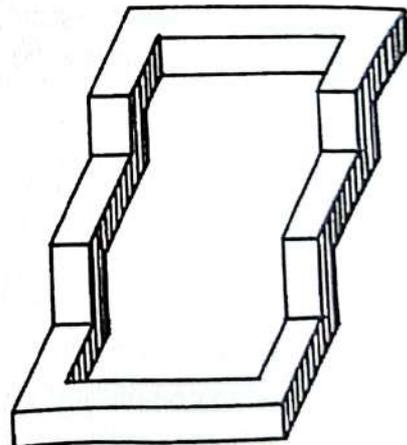
Cimiento de Pilote

Edificaciones sobre suelos pobres o bajo el agua exigen este tipo de cimiento. Se perforan huecos a través del suelo débil hasta el estrato resistente, y se llenan con material para cimiento estable (ya sea colocado in situ o prefabricado). Los pilotes llevan una losa de concreto reforzado o están unidas por la parte superior mediante vigas que actúan como cimientos de zapata. La estabilidad lateral se obtiene colocando algunas de los pilotes inclinados.



Cimiento Escalonado

Edificaciones sobre terrenos inclinados hacen necesario un cimiento escalonado. Este es una forma específica de cimiento de zapata, diseñado para ahorrar material y para proporcionar superficies horizontales a intervalos a lo largo de la pendiente.

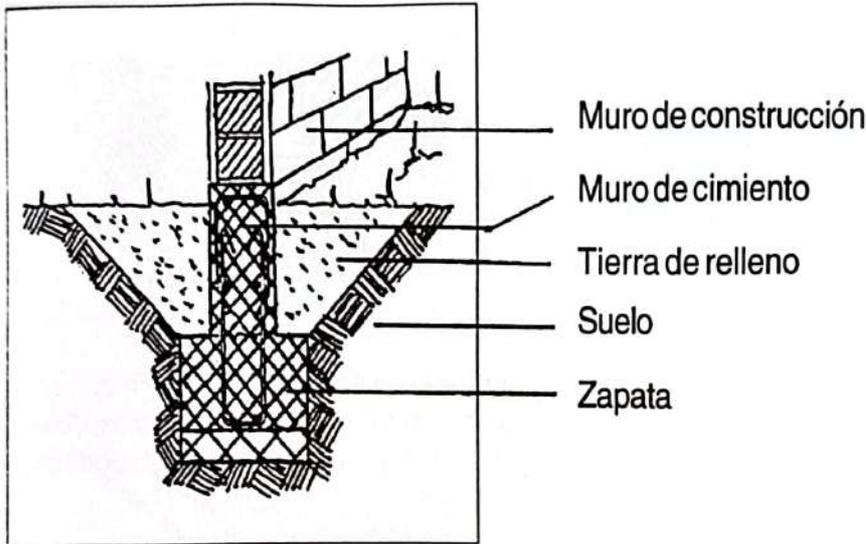


La mayoría de los otros tipos de cimientos son variaciones de algunas de las presentadas aquí, o son de tipo especial irrelevantes para construcciones de bajo costo.

Consideraciones de Diseño

Partes Básicas de un Cimiento

Un cimiento lineal o zapata es construido como sigue:

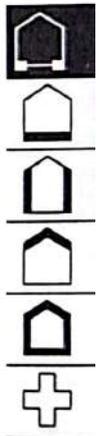
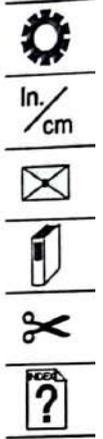
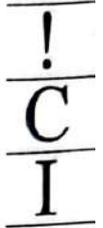


- La zapata sirve para tres propósitos principales: 1. proporcionar una base sólida, nivelada para los muros del cimiento; 2. transmitir el peso de la casa uniformemente sobre el piso; 3. resistir las fuerzas de succión de los huracanes.
- El muro del cimiento también tiene tres propósitos fundamentales: 1. proporcionar una base nivelada para el muro; 2. proporcionar la resistencia a torsión y a flexión necesaria para la construcción de la casa; 3. evitar que la humedad del subsuelo suba en los muros.

Dimensiones

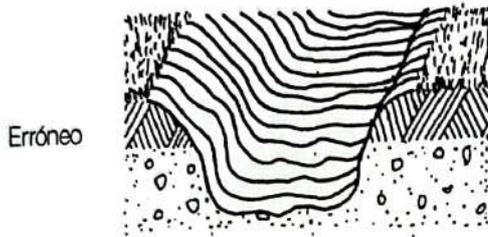
- Las zapata debe estar suficientemente profunda para alcanzar una buena tierra sólida sin plantas, raíces, materiales de relleno, etc. Las profundidades promedio son de 50 a 100 cm, pero deberían ser considerablemente más profundas, si se esperan lavado o deslizamientos debido a inundaciones o lluvias.

- El «método fácil» de determinar la profundidad de la zapata es preguntar a los vecinos, quienes tienen casas con buena estabilidad (sin grietas ni otros daños). En caso de duda, se recomiendan zapatas más profundas.
- El tamaño de la zapata depende de la resistencia del suelo y del peso de la casa. La altura preferiblemente debería exceder el espesor del muro o columna y la base debe ser suficientemente amplia para permitir un ángulo de 60° de distribución de carga. El ancho promedio de las zapatas va de 30 a 60 cm.
- Los muros del cimiento preferiblemente deben ser más gruesos que los muros que soportan, y suficientemente altos sobre el piso para proteger al muro de las salpicaduras de la lluvia. Alturas de 20 a 50 cm sobre el suelo son comunes, pero depende de la intensidad de las lluvias y del alero del techo.



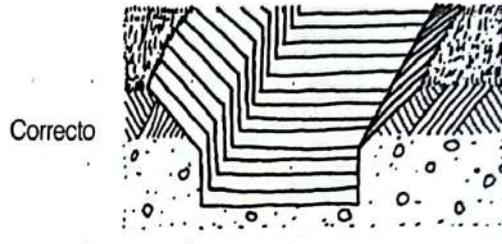
Excavación

- Las zanjas de los cimientos deben ser cavadas cuidadosamente para proporcionar una superficie inferior nivelada, dura y muros laterales a ángulos rectos de ésta. Deben evitarse los bordes redondeados.



Erróneo

- La tierra excavada debe ser guardada para relleno, cuando el muro del cimiento esté terminado. El relleno debe tener las mismas características (tipo de suelo, humedad, densidad) que el suelo no alterado que lo rodea.



Correcto

Materiales

- Los cimientos pueden hacerse de varios materiales con diferentes calidades. Un buen cimiento de concreto reforzado es el mejor cimiento y el más resistente para cualquier

tipo de edificación residencial. En donde el cemento es demasiado caro o escaso, otros materiales pueden brindar resultados satisfactorios.

<i>Material</i>	<i>Calidad del Cimiento</i>
Concreto Reforzado	Muy buena. Construcción resistente a movimientos sísmicos
Bloques de Cemento	Pobre a buena
Piedra y Argamasa	Media a buena
Ladrillos Cocidos	Media
Adobe estabilizado	Pobre a buena
Tierra Apisonada estabilizada	Sólo para regiones áridas o semi-áridas

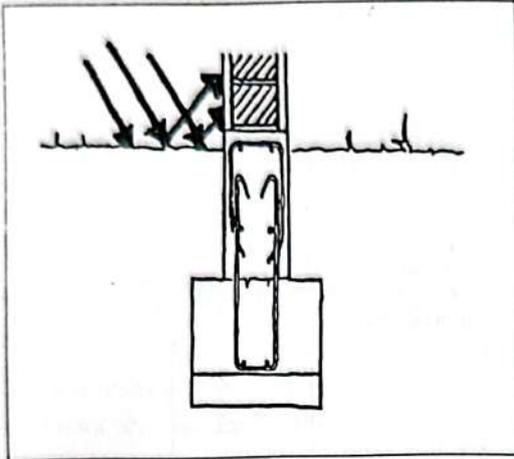
Protección de Cimientos

- La penetración del agua de la lluvia y humedad del terreno se evita con un buen concreto impermeable, piedra natural, ladrillos cocidos impermeables, pero también con una membrana o revestimiento impermeable, y alero protector. Tubos de drenaje tendidos

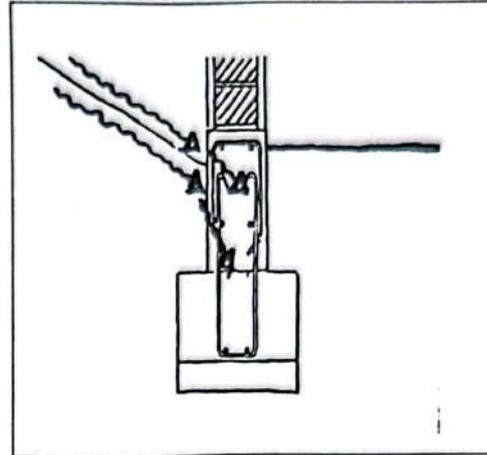
en un lecho de grava a lo largo de la zapata también son efectivos.

- Para la protección contra termitas, ver la sección **Agentes Biológicos**.

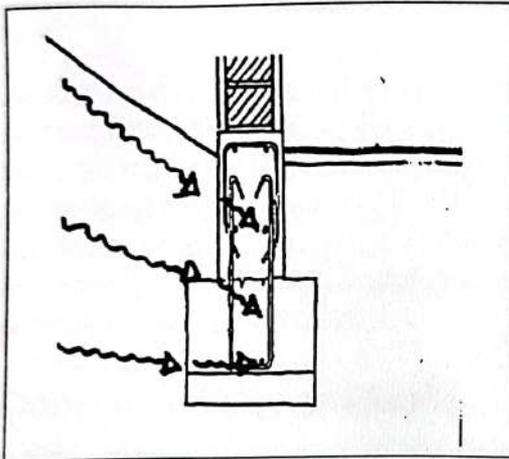
El cimiento puede ser atacado por:



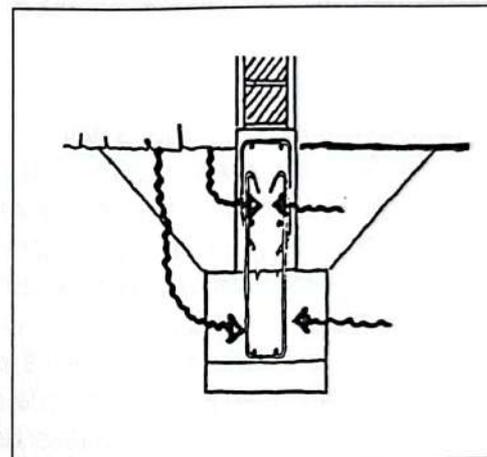
1. Lluvia y Viento



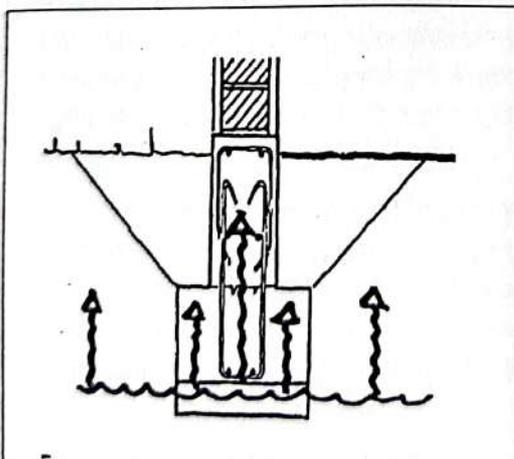
2. Corrientes Superficiales de agua



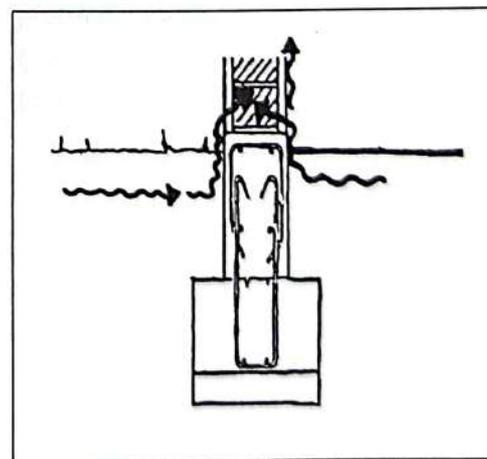
3. Corriente subterráneas de agua



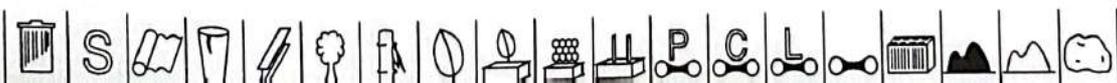
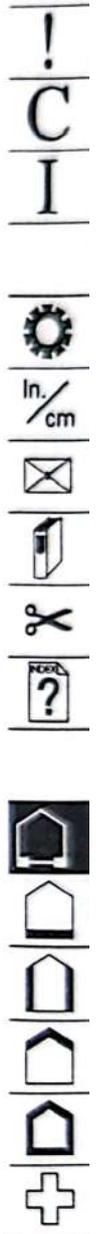
4. Agua de Filtración



5. Agua subterráneas

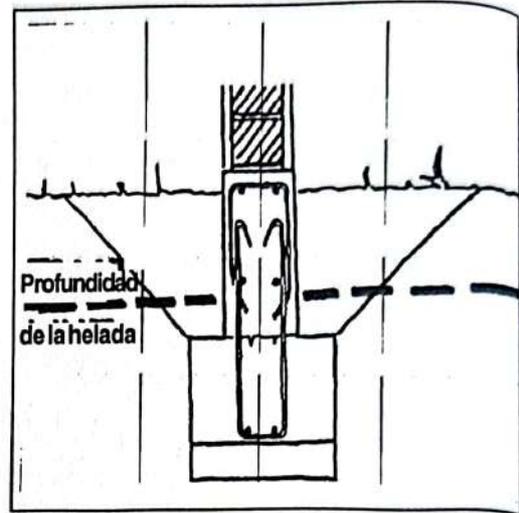


6. Termitas



Aspectos Diversos

- Los suelos arcillosos blandos, inadecuados para construir sobre ellos, pueden ser consolidados proporcionando drenajes verticales que extraigan el agua. Estos pueden ser drenajes de arena rígidos o drenajes flexibles. Se han desarrollado drenajes flexibles efectivos y baratos empleando tejidos de yute y fibra de coco en la Universidad de Singapur y en el Central Building Research Institute de la India.
- El agua del concreto fresco o del mortero de los cimientos de mampostería es absorbida rápidamente por la tierra, si esta es muy seca. Por ello, las zanjas para los cimientos deben ser regadas adecuadamente antes de colocar el material para los cimientos, y así reducir la absorción.
- En regiones de la sierra, donde las temperaturas pueden caer por debajo de 0°C , el agua en la tierra se puede congelar y expandirse, dañando el cimiento y consecuentemente toda la edificación. Este problema, llamado levantamiento de congelación, ocurre principalmente en tierras limosas. El problema es evitado colocando las zapatas debajo de la profundidad de la helada, que puede ser de 50 a 100 cm., o más abajo en climas más fríos.



PISOS Y ENTREPISOS

Generalidades

En muchas sociedades tradicionales de países en desarrollo es habitual que todas las actividades diarias, tales como trabajar, preparar comida, cocinar, comer y dormir, se realicen sobre el piso. Por ello, la construcción del piso y, más aún, el tipo de superficie son de gran importancia, especialmente en lo relacionado a la comodidad y limpieza.

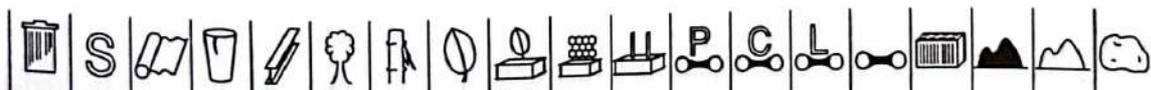
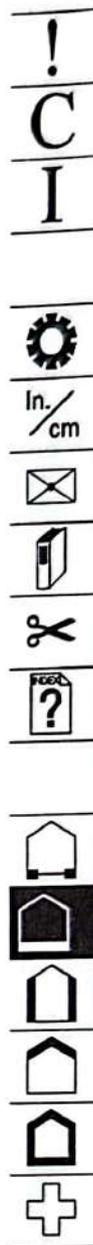
Pero incluso si las actividades no se realizaran básicamente sobre el piso, se debe tener cuidado en su diseño y la elección de los materiales, particularmente con respecto a las condiciones ambientales y climáticas locales, así como a los estilos de vida tradicionales y fenómenos naturales.

Aunque los climas compuestos son los más comunes, las consideraciones respecto al diseño para construcción de piso y entrepisos en las dos regiones climáticas principales (climas cálido seco y cálido húmedo) muestran los dos extremos, entre los cuales es posible una variedad de soluciones intermedias.

Consideraciones de Diseño

- Siempre es ventajoso construir pisos sobre la superficie de la tierra siempre que: brinden protección contra las salpicaduras de la lluvia e inundaciones en climas predominantemente húmedos, excluye la arena soplada por el viento en regiones predominantemente secas.
- En climas cálidos húmedos, los pisos separados del terreno, con un espacio de aire debajo, son preferidos principalmente para facilitar los movimientos de aire (necesario para disminuir el calor y la humedad) y para protección contra los parásitos.

- En climas cálido secos, los pisos preferiblemente deberían estar en contacto con la tierra para facilitar la conducción del calor de la edificación hacia la tierra.
- En regiones que podrían experimentar breves pero marcados enfriamientos estacionales, la normalmente grata frescura del piso pavimentado podría ser mitigado temporalmente con tapetes, alfombras o estereras.
- La elección del color del piso expuesto a la luz solar es determinado por un compromiso entre evitar el resplandor y disminuir la absorción del calor. Las superficies lisas son mejores en las áreas con polvo, pero en áreas húmedas debe recordarse no usar superficies resbaladizas para escalones.
- Condiciones no uniformes del terreno pueden causar que los cimientos y/o pisos se asienten parcialmente, causando serios daños. Por ello, en algunos casos, es aconsejable construir juntas de movimientos entre el piso y el muro (o cimiento).
- Una capa contra la humedad es necesaria donde la humedad del suelo es un problema.
- El diseño de los entrepisos debe tomar en cuenta el problema de la transmisión del sonido desde el piso superior al inferior: los materiales resilientes y las conexiones inadecuadas de entrepiso a muro pueden causar problemas acústicos.



Materiales Comunes para Pisos y Entrepisos

Material	Características
Tejas o Lajas de Piedra	Costo medio a caro; proporciona una superficie fresca, limpia; es impermeable, si las juntas son impermeables.
Tierra	Barato; adecuado para climas cálido-seco; en climas cálido húmedo se erigen sobre el terreno; se requiere de tratamiento impermeable y/o estabilizar y frecuente renovación (en algunas regiones, el estiércol es empleado tradicionalmente y muy efectivo).
Tejas y Ladrillo de Arcilla Cocida	Costo medio; proporciona una superficie fresca; requiere una cuidadosa colocación para evitar desnivel; adecuado para todos los climas; las bovedillas cerámicas sobre viguetas prefabricadas reducen el tiempo de construcción y dan buenas alternativas para entrepisos de concreto.
Losas de Concreto	Caras; resistentes; adecuadas para todos los climas; con refuerzo da buena resistencia para los asentamientos diferenciales del suelo; usado principalmente como subestructura; in situ o en construcciones prefabricadas.
Cemento pulido y baldosas de Concreto	Caras; resistentes; el cemento pulido se emplea como superficie de piso sin juntas o sin pulir como base para baldosa de concreto; baldosa de concreto disponible en grandes variedades de formas y tamaños.
Bambú	Costo medio a bajo; empleado en regiones cálido húmeda para pisos sin contacto con la tierra; adecuado para subestructura y revestimiento, preferiblemente con tableros de bambú (tiras rajadas y aplanadas); es necesario una muy buena hechura y protección contra agentes biológicos y el fuego.
Madera	Costo medio; consideraciones similares al bambú.
Plástico	Costo medio; principalmente tejas y láminas de PVC (cloruro polivinílico) como revestimientos de pisos colocadas sobre madera rústica o cemento sin pulir.
Concreto de Azufre	Costo medio; proporciona una superficie fresca, limpia e impermeable; es necesaria una protección contra excesos de calor.
Desechos	Costo medio a bajo; gran variedad de aplicaciones como puzolana y árido en concretos, material aislante térmico, adhesivos, tableros y tejas.

MUROS

Generalidades

Las principales funciones de los muros son:

- Exclusión del calor o frío, lluvia, viento, polvo, ruido y otros elementos ambientales y climáticos no deseados;
- Regulación del clima de interiores (temperatura, humedad, movimientos de aire);
- Privacidad;
- Seguridad contra intrusos animales y humanos;
- Soporte de estructuras de techo y entrepisos (aunque no es el caso en construcciones de esqueleto con muros de relleno).

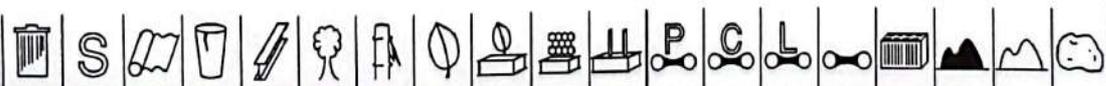
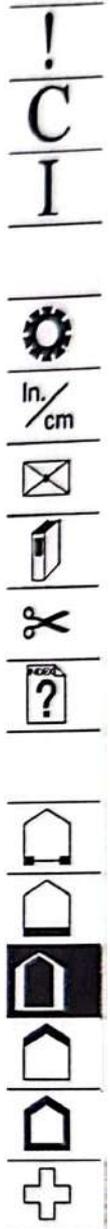
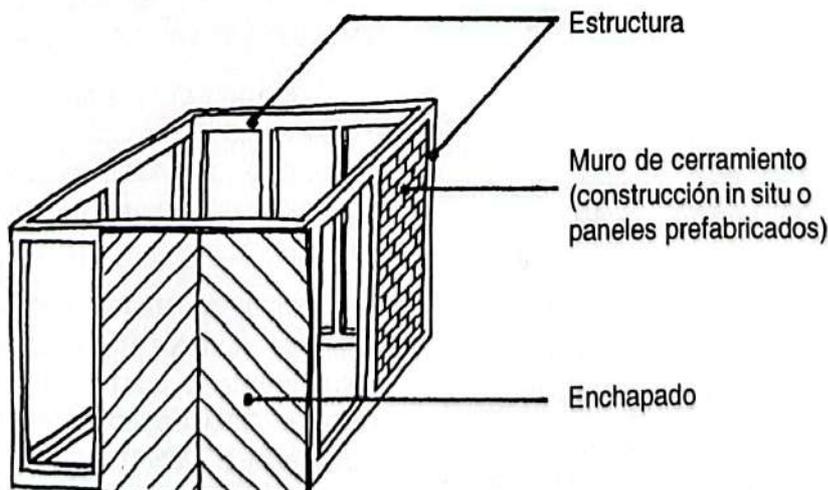
Hay principalmente dos maneras de construir un muro:

- Construcción de muro de soporte de carga o macizo;
- Construcción recuticulado o de esqueleto con muros sin soporte de carga.

Las *construcciones de muro macizo* usualmente comprenden materiales de alta resistencia a

compresión (ejem. piedra, tierra, ladrillo, concreto), gracias a la lo cual soportan su propio peso y el del entrepiso o techo.

La *estructura de esqueleto* consta de piezas angulares, verticales y horizontales (ejem. madera, bambú, concreto reforzado), que son unidas para formar la estructura de soporte de carga de la edificación. El espacio entre ellas puede permanecer abierto o puede ser llenado con materiales de construcción para muros in situ (ejem. muro de mampostería, arcilla y paja) o paneles prefabricados (ejem. madera y tableros compuestos, paneles de ladrillo, concreto y ferrocemento). Estos ayudan a mantener la estructura sin distorsiones. Las estructuras bien arriestrada también pueden llevar enchapados ligeros (ejem. tablas de bambú y madera contrachapeada, fibro concreto, pizarras).



Consideraciones Respecto del Diseño

Aspectos Climáticos

- En regiones cálido húmedo, las temperaturas diurnas y anuales permanecen casi constante, de modo que se requieren muros de baja capacidad térmica, además de aberturas grandes para la ventilación transversal.
- En zonas cálido seca, en las cuales las variaciones de temperaturas diurna y anual son grandes, es deseable que los muros absorban el calor durante las 9-12 horas de radiación solar y luego emitan el calor hacia los interiores hasta las horas frías previas al alba, manteniendo así el confort térmico dentro de la edificación en todo momento (teoría del diseño con retraso del tiempo). Las pequeñas aberturas ubicadas en niveles altos permiten que el aire caliente escape, y evitan el resplandor y la radiación solar.
- En todos los climas cálidos, los ejes longitudinales de las edificaciones deben estar orientadas de este a oeste, evitando o manteniendo pequeñas las aberturas en los muros que dan al este y oeste, ya que es difícil de darles sombra cuando el sol bajo, las del amanecer y del ocaso. Las aberturas en los muros que dan hacia el sur y al norte son fáciles de dar sombra del sol alto del mediodía, mediante aleros amplios.
- Mientras que la orientación de este a oeste de las edificaciones es importante, en las regiones cálido húmeda la prioridad debe dársele a la orientación del movimiento del aire; en las zonas cálido seca, debe dársele importancia a la exclusión del aire caliente, arena y polvo.
- La absorción del calor solar puede ser enormemente reducida mediante superficies de muro reflectante. La tierra adyacente a la edificación debe estar sombreada o tener

alguna vegetación que impida la reflexión hacia los muros, pero no debe obstruirse la emisión del calor durante las noches.

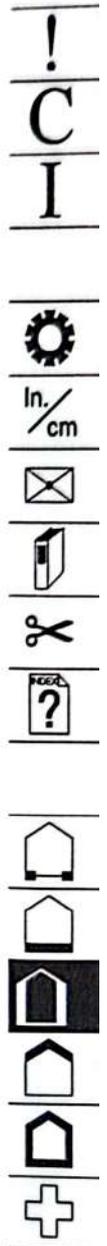
Muros Macizos

- Los muros macizos con altas capacidades térmicas son comunes en climas cálido seco, ya que transfieren el calor absorbido hacia el interior con un retraso de tiempo, restringiendo así el calor cuando las temperaturas externas son altas, y liberándolo cuando las temperaturas son bajas.
- Los muros macizos típicos están hechos de piedra, tierra, ladrillos de arcilla cocida y concreto.
- El aislamiento de la cara exterior de un muro sólido da un retraso de tiempo cuatro veces mayor que si estuviera colocado en la cara interior, pero también obstruye la disipación del calor durante la noche.

Muros con Cavidad

- La construcción de muros dobles tiene muchas ventajas, tanto en regiones cálido-seco como en las cálido húmedo:
- La capa exterior protege a la capa interior de la radiación solar directa, que primero cae sobre la capa exterior. Con una superficie exterior reflectante, esta absorción de calor es reducida enormemente;
- Sólo parte del calor que pasa por las capas exteriores llega a la capa interior mediante radiación o convección y si cuenta con una superficie reflexiva, no absorberá todo el calor;
- Si la cavidad no está ventilada (como en los ladrillos perforados o huecos), ésta actúa como un aislante, que puede ser ventajoso, pero que también puede obstruir el paso del calor desde el interior hacia la capa exterior;

- Las aberturas en la parte superior e inferior de las cavidades permiten que el aire caliente, que se habrá acumulado dentro, escape hacia arriba, mientras el aire fresco es aspirado hacia adentro por el lado inferior (sin embargo, esta ventilación del espacio de aire no afecta la radiación desde la capa exterior hacia la interior); durante el día, cuando el aire fresco también está caliente la circulación del aire no tendrá efecto refrescante, por lo que sería ideal (pero no práctico) poder cerrar las aberturas durante el día y abrirlas en las noches;
- La transmisión sonora se reduce por el espacio de aire.
- En climas cálidos húmedo, las construcciones de paredes dobles tienen la ventaja adicional de proteger la capa interior de la penetración de la humedad y de la lluvia. La humedad que pase por la capa exterior es eliminada por la ventilación, y el agua condensada puede bajar y salir por la abertura inferior.
- Los materiales empleados para los muros con cavidad pueden ser de diferentes tipos, dependiendo de diversos factores, tales como el rango de la temperatura, intensidad y duración de la radiación solar, humedad, lluvias, empleo de la edificación, naturaleza de los elementos adyacentes.
- En climas cálidos húmedos, la capa interior no debería ser impermeable, ya que se requieren el movimientos de la humedad, mientras que la capa exterior (usualmente paneles delgados o tejas sobre listones) puede ser impermeable o no, pero debe tenerse cuidado en evitar que la humedad pase de la capa exterior hacia la interior.
- En ambientes cálidos seco, se pueden emplear materiales de menor capacidad térmica en muros con cavidad, por ejemplo, si la capa exterior tiene buena reflectancia y aislamiento térmico. Sin embargo, la capa interior generalmente es una construcción de tierra, ladrillo o concreto, pero de menor grosor que



Construcciones de muro macizo y con cavidad en dos proyectos de ADAUA en Mauritania (Fotos: D. Deriaz)



para los muros sólidos, ya que la acumulación de calor durante 9 a 12 horas se reduce enormemente por la inercia térmica. La capa exterior típicamente es de ladrillos delgados, elementos de concreto o un enchapado de tejas o láminas corrugadas o planas (ejem. tejas de arcilla, metal, pizarra, fibro concreto).

- La desventaja de los muros con cavidad es que los insectos y alimañas pueden anidar en ellos. Para evitar este problema las superficies interiores de la cavidad deberían ser lisas y duras, y lavarse ocasionalmente para retirar los insectos o suciedad acumulada.

Muros Livianos

- Usualmente son paneles, esterillas, láminas o tejas de baja capacidad térmica, fijadas a una estructura: en algunos casos raros pueden ser térmicamente aislantes.
- Dichos muros sólo se usan en regiones cálida húmeda, en donde no se necesitan guardar calor. Las principales funciones de los muros livianos son proporcionar sombra y privacidad, así como protección contra el viento, lluvia e intrusos.

- Se necesitan aberturas suficientes que estén en sentido de la dirección principal del viento para facilitar la ventilación transversal y mejorar el confort de los interiores.
- Los muros livianos son ventajosos en zonas sísmicas, pues al caer no causan tanto destrozo como lo hacen los muros pesados. Sin embargo, en zonas huracanadas, los muros livianos pueden ser susceptibles a serios daños bajo fuertes presiones del viento, por lo que se requiere esencialmente emplear uniones fuertes y evitar elementos pequeños y piezas sobresalientes.



Muro de estera de bambú liviano en Dhaka, Bangladesh (Foto: K. Mathéy).

Tratamiento de la Superficie

- Dependiendo del tipo de material y sistema de construcción, la superficie del muro pueden dejarse sin tratamiento o pueden ser tratadas para incrementar su durabilidad protegiéndolas contra la lluvia, erosión y alimañas, para mejorar el comportamiento térmico y la humedad del muro, o para mejorar su apariencia cubriendo superficies feas, o aplicando colores y efectos decorativos.
- Los morteros de cal o de cemento y una variedad de enlucidos de barro estabilizados son los tipos más comunes de tratamiento para superficies en estructuras de concreto,

ladrillo y tierra, por lo que se necesita experiencia y conocimiento especial para emplear el enlucido correcto para cada tipo de material con que esta hecho el muro.

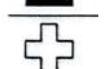
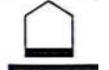
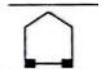
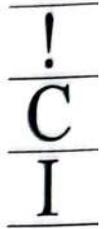
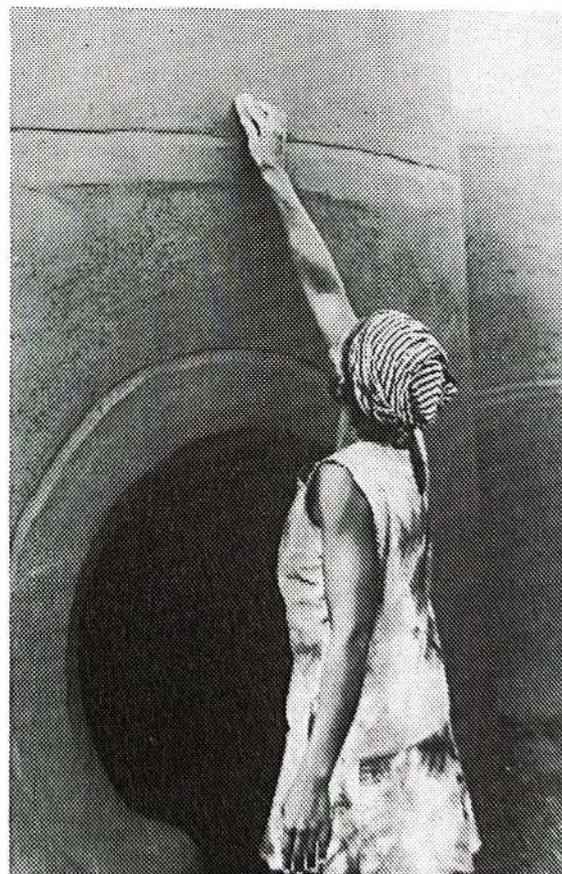
- Otros tipos de tratamiento para superficie son las lechadas de cemento y cal, varnices (para madera) y diversos tipos de pintura (principalmente pinturas en emulsión o a base de aceite). El papel para muro es menos común en regiones tropicales pero las esteras y los tejidos decorativos están ampliamente extendidos.

Acabados de muros en construcciones de barro en Ghana: en muchas regiones éste es un trabajo para mujeres. (Foto: H. Schreckenbach, Bibl. 00.49).

Aplicación manual de enlucido de barro



Puliendo el enlucido seco con una piedra de basalto o granito plano



Materiales Comunes para la Construcción de Muros

Material	Características
Piedra	Costo bajo a medio; alta capacidad térmica, adecuado para climas con grandes fluctuaciones de temperaturas; baja resistencia sísmica; superficies a menudo ásperas, necesitando enlucidos en los interiores.
Tierra	Barato; buen material para la mayoría de los climas, excepto áreas consistentemente húmedas; la durabilidad se obtiene mediante una buena compactación, estabilización y tratamiento de la superficie (renovándola regularmente); baja resistencia sísmica.
Ladrillos de Arcilla Cocida y Bloques de Concreto	Costo medio; adecuado para todos los climas; empleado para mampostería de carga muros de relleno, y paneles prefabricados; con una buena mano de obra, durabilidad ilimitada y buena resistencia a todos los fenómenos naturales y al fuego; no siempre es necesario un tratamiento superficial.
Concreto	Caro; adecuado para todos los climas, principalmente para estructuras de esqueleto construcciones de carga; buena durabilidad y resistencia a todos los fenómenos naturales y al fuego; con una buena mano de obra y encofrado, no se necesita de tratamiento superficial.
Ferrocemento	Costo medio; usado principalmente para paneles de muro de cerramiento livianos o elementos para enchapados; por otro lado tiene las mismas características que el concreto.
Fibro Concreto	Costo bajo a medio; principalmente láminas y tejas para enchapado; más liviano y débil que el ferrocemento.
Fibras Naturales, Hierbas, Hojas	Barato; empleado sólo en climas cálido húmedo para enchapados y paneles de muro de cerramiento liviano; baja durabilidad y resistencia a los fenómenos naturales excepto a los movimientos sísmicos (liviano y flexible).
Bambú	Barato; empleado en áreas cálido húmedo; ideal para estructura de esqueleto, enchapados y muros de cerramiento; por lo demás es similar a las fibras, hierbas y hojas.
Madera	Costo medio; bueno para la mayoría de climas; material ideal para estructura de esqueleto; también enchapados y paneles de cerramiento livianos; secciones suficientemente gruesas resisten al fuego, pero por otro lado tiene baja resistencia a los agentes biológicos; buena resistencia a los movimientos sísmicos y huracanes.
Concreto de Azufre	Costo medio; bueno para muros de carga en cualquier condición excepto calor extremo; superficies atractivas sin enlucidos, fácil de limpiar.

TECHOS

Generalidades

El techo es la parte más esencial de una casa (una casa sin techo no puede ser considerada casa). Este es la parte que más cuesta, por el área y orientación es la parte más expuesta a los elementos y es la responsable principal de la confort interior y de los daños ocasionados durante terremotos y huracanes. Un techo durable bien diseñado puede compensar una gran cantidad de problemas que podrían surgir en otras partes de la edificación.

Sin embargo, los aspectos técnicos no son los únicos determinantes del diseño del techo. Muchas culturas tradicionales dan mayor importancia a otros criterios, tales como la creencia religiosa, estilos de vida locales y estatus social, y estos deben ser respetados en el diseño de esquemas para viviendas, especialmente para evitar la monotonía deprimente de las zonas residenciales de hoy en día que son muy parecidos en todas las partes del mundo.

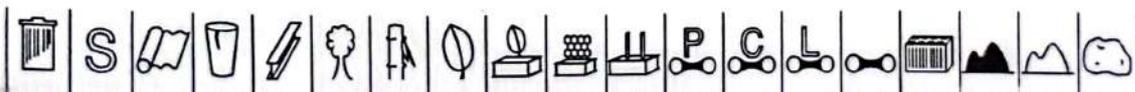
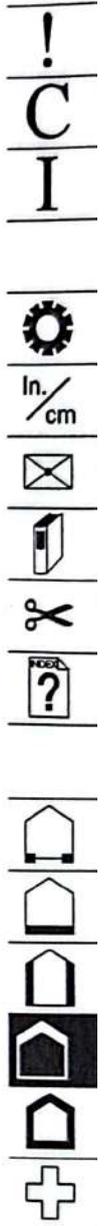
Ya que los aspectos tradicionales, no técnicos son importantes en el diseño de techos, éstos no pueden ser tratados en un libro orientado tecnológicamente como éste. A continuación resumiremos los diferentes tipos de techo y los principales criterios para el diseño de techos en las dos principales regiones climáticas, esto es aquellas que son predominantemente cálido-húmeda y aquellas que son predominantemente cálido-seca.

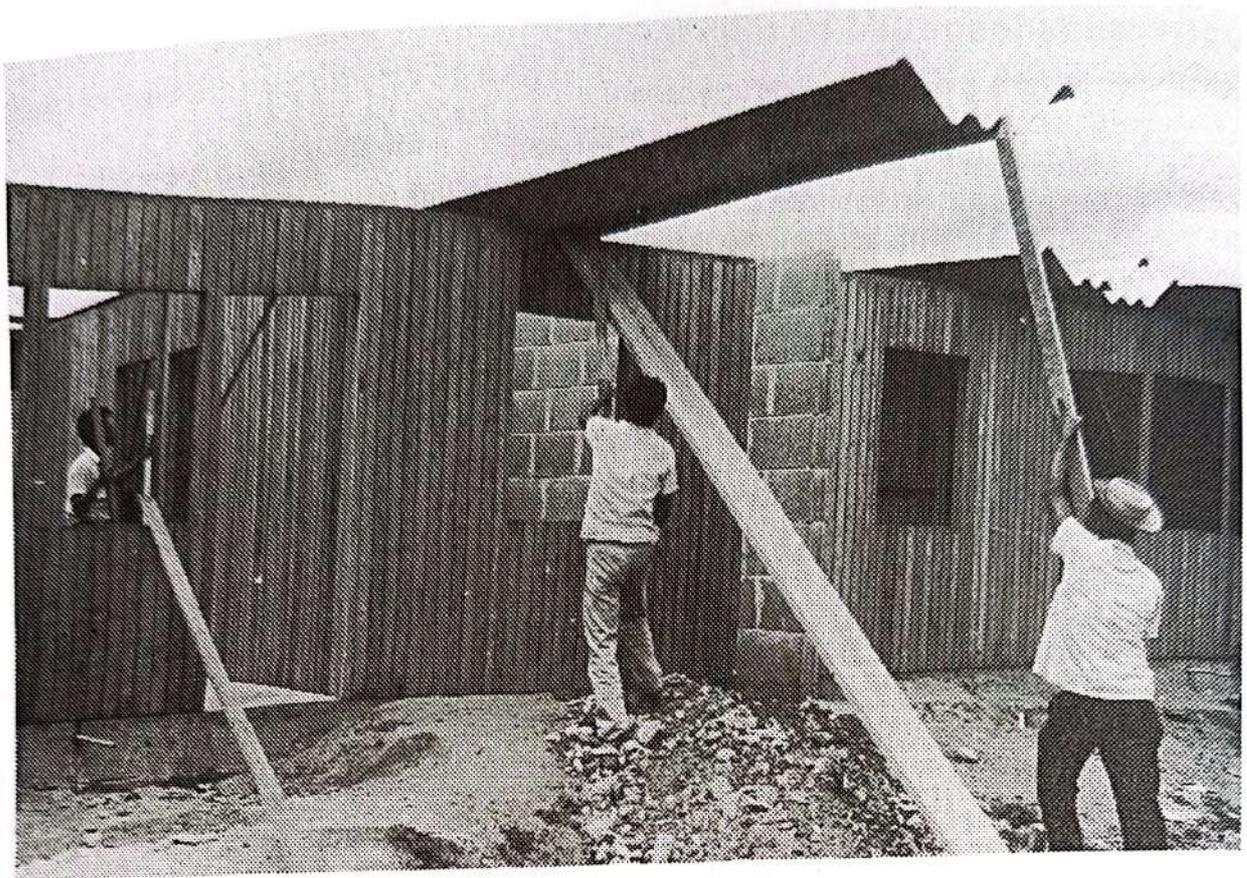
Tipos de Techo Comunes

Techos Planos

- Estos pueden ser láminas, losas monolíticas o estructuras reticuladas espaciales, o sistemas simples que empleen vigas, durmientes y elementos de recubrimiento de luces pequeñas.

- Por definición, los techos con una inclinación menor de 10° del plano horizontal son clasificados como techos planos. Para que el agua de la lluvia corra se necesita una pendiente de 2° como mínimo.
- Los vientos fuertes tienden a levantar el techo por succión, por ello los techos planos son menos adecuados en áreas propensas a los huracanes.
- Los techos planos son más comunes en regiones predominantemente cálido-seco, con poca precipitación anual. Los techos proporcionan espacio adicional (para actividades domésticas y dormir en la noche) y facilita las ampliaciones verticales de las edificaciones.
- Las cubiertas de láminas deben ser colocadas en pendiente son grandes traslapes. Una alternativa ingeniosa de las láminas corrugadas son las canaletas (elementos para techados de asbesto cemento en forma de artesa) que pueden cubrir habitaciones enteras sin estructuras de soporte, ahorrando así material, costos y tiempo de instalación. Un buen material, en términos de resistencia y durabilidad, es el asbesto cemento, que es más probable que no sea empleado en países en desarrollo en el futuro (debido a sus peligros contra la salud). No obstante, las canaletas de hierro galvanizado (ejem. las producidas en México) son una buena alternativa, la investigación del fibro concreto continua, producirán como resultado una alternativa igualmente buena para el asbesto cemento.
- Los techos reticulados espaciales, constan de tres piezas de soporte trianguladas dimensionalmente, son especialmente adecuadas para techos de gran vano. Tienen gran rigidez lateral y sólo requieren cubiertas de techos ligeras.





Colocado de un techo de canaleta en Tegucigalpa, Honduras, 1967: instalación rápida con mano de obra no especializada (Foto: Alvaro Ortega, quien desarrollo este sistema de techado).

Techos con Pendiente

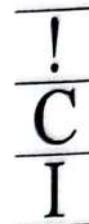
- Estos pueden ser techos con una sola agua, de 2 aguas y de 4 aguas, ya sea de láminas o losas monolíticas o con un sistema de viguetas, vigas, cerchas o estructuras espaciales.
- Los techos con pendiente son más comunes en regiones predominantemente cálido húmeda con fuertes lluvias.
- Los de menores pendientes son más baratos, requieren menos construcción de muros y menos material para el techado (menor superficie de techo), pero las fuerzas de succión son más fuertes con pendientes de 10° . En áreas de huracanes, las mínimas pendientes de techo deben ser de 30° (aprox. 1:1.7 ó 58%) y deben evitarse aleros anchos (necesarios para dar sombra y proteger contra la lluvia).
- Los techos de dos aguas dejan los muros extremos expuestos; los techos a cuatro vértices protegen todos los muros, ahorran costos y área de muro, son menos susceptibles a ser dañados por el viento, pero son más difíciles de construir.
- Los techos de las casas con patio deben tener pendiente hacia el interior para un mejor clima en los interiores y para facilitar la recolección del agua de la lluvia.

- Aunque la pendiente del techo se da en grados, los ángulos son difíciles de medir en el lugar de la obra. Por lo tanto, las pendientes de techos deberían ser expresadas en relaciones simples entre la altura y la luz (ejem. 1:1; 1:2.5; 1:10), preferiblemente en números redondos.
- Ya que la principal función de las pendientes de techo es drenar el agua de la lluvia, mientras menor es la permeabilidad del material del techo, menor pendiente es requerida. Por ello, cada material tiene su propia pendiente apropiada, tal como se muestra en la siguiente tabla.

<i>Material para Cubrir Techos</i>	<i>Pendiente Mínima Ratio</i>	<i>Requerida Angulo</i>
Techo de paja y hierba	1:1	45°
Bardas de madera:		
- Madera no tratada	1:1	45°
- Madera impregnada a presión	1:1.5	33°
Tejas de techo de fibro concreto y arcilla cocida:		
- Tejas planas y tipo Españolas	1:1.5	33°
- Tipo romanas (sin membrana impermeable)	1:2	26°
- Tipo romanas (con membrana impermeable)	1:3	18°
Láminas corrugadas de hierro galvanizado:		
- Con extremos salientes (esto es, más de una lámina en la dirección de la caída)	1:3	18°
- Sin extremos salientes (esto es, una lámina entre la cumbre y los aleros)	1:5	11°
Canaletas (elementos en forma de artesa, sin extremos salientes)	1:10	05°

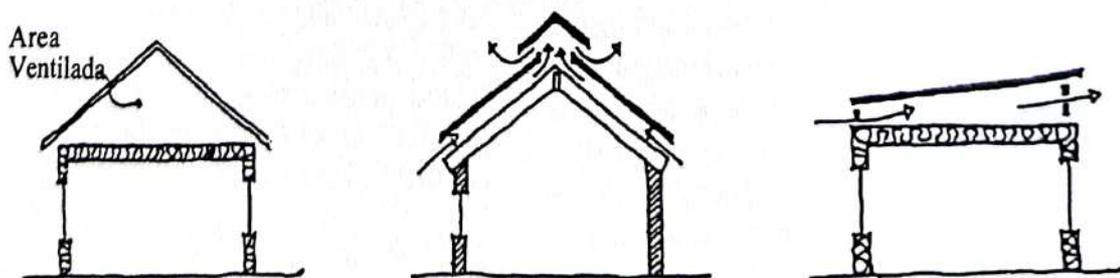
Techos Curvos

- Estas incluyen bóvedas cúpulas, techos tensores ligeros estructuras laminares y de cuerda de arco y una variedad de tipos más sofisticados.
- Los techos en forma de cúpula y bóveda son comunes en climas cálidos seco: el área superficial curva que es considerablemente mayor que el de la base, recibe menos calor solar por área unitaria, disminuyendo así las temperaturas en las superficies y facilitando la re-radiación después de la puesta del sol. Sin embargo, la acústica en el interior de la cúpula pueden ser muy insatisfactorias.
- Las cúpulas y bóvedas de mampostería son probables que se caigan con los movimientos sísmicos, mientras las estructuras de laminares y de cuerda de arco pueden soportar fácilmente dichos peligros.
- Los techos tensores, que emplean un sistema de membranas resistentes sobre cables o cuerdas, pueden cubrir amplios vanos, son relativamente económicos, pero inestables aerodinámicamente con cubiertas ligeras, y por ello, generalmente son empleados para estructuras temporales.



Techos para Climas Cálido Húmedo

- Los techos con pendientes con amplios aleros son ideales para facilitar el rápido drenaje del agua de las lluvias y para proteger y dar sombras a las aberturas y muros exteriores: deben evitarse las limas hoyas horizontales y las canales internas, ya que estos acumulan agua y suciedad.
- Los techos planos con buenos drenajes son comunes en climas compuestos y de altura con estaciones cálida seca, que permiten dormir y realizar actividades sobre los techos.
- Los requerimientos primarios para los materiales de techo (estructuras de soporte y cobertura): baja capacidad térmica (para evitar que el calor se aumente, el cual no puede ser disipado por la noche, ya que no hay descenso de temperatura); resistencia a la penetración de la lluvia, suficientemente permeable para absorber la humedad (ejem. condensación, vapor de agua) que es liberado cuando el aire está más seco; resistencia a los hongos, insectos, roedores y radiación solar; buena reflectancia (para reducir la acumulación de calor y los movimientos térmicos); resistencia a los impactos (granizos, caídas de cocos, vandalismo, etc.); resistencia a las fluctuaciones de la humedad y la temperatura; no contener materiales tóxicos (especialmente si el agua de lluvia es recolectada de los techos).
- Los techos ventilados (con doble capa) son más efectivos en proporcionar buenas condiciones de vida en interiores: la capa exterior da sombra al revestimiento interior de la edificación (reduciendo la acumulación del calor); el calor que es acumulado entre las dos capas es retirado por la ventilación transversal; la diferencia entre las temperaturas de los interiores y del espacio de aire ventilado no es tan grande como para causar problemas de condensación; la humedad o lluvia que penetre o se forme debajo de la capa exterior se evapora o escurre a lo largo de la superficie interior hacia los aleros, de modo que la capa interior del techo se mantenga invariable.
- La impermeabilización con una membrana a prueba de agua puede ser inadecuada ya que el vapor de agua no puede escapar y causar condensación.
- Los materiales aislantes impiden liberar el calor durante las noches.
- Las aberturas en el caballete (techos con pendiente), o debajo del entrepiso suspendido o techo plano, ayudan a descargar el calor acumulado.
- Deben considerarse medidas para aminorar el ruido, ya que los aguaceros tropicales pueden causar ruidos insoportables.



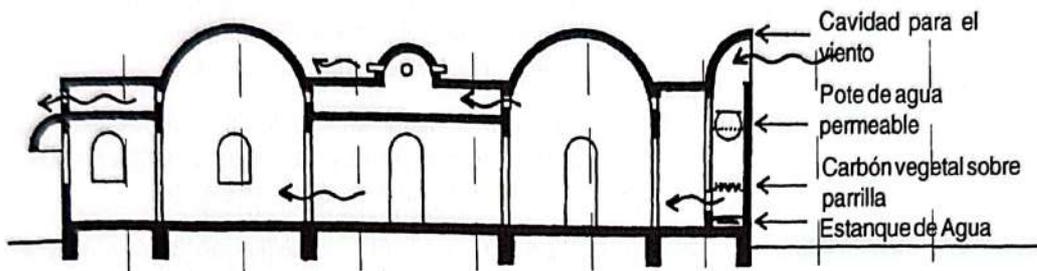
Ejemplos de Techos Ventilados (de la Bibl. 00.51)

Techos para Climas Cálido Seco

- Ya que el drenaje de las aguas de lluvia no es el principal requerimiento, los techos planos son más comunes, proporcionando espacio para dormir y realizar actividades exteriores.

erosión (causado por la arena arrastrada por el viento); superficies lisas para evitar la acumulación de arena y polvo.

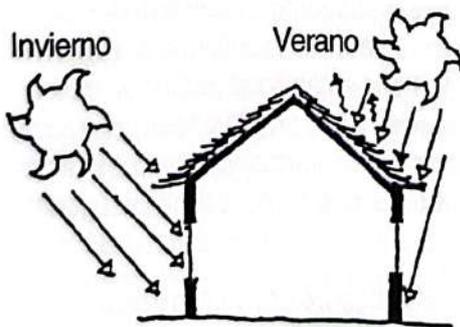
- Los techos con doble capa (con suficiente espacio de aire para disipar el aire caliente y con las superficies superiores de cada capa



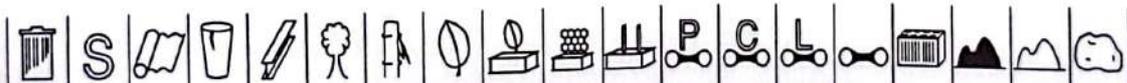
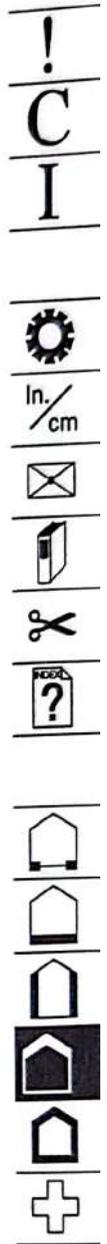
- Los techos en forma de cúpulas y bóvedas también son comunes, proporcionando buen confort térmico.
- Los requerimientos esenciales para los materiales de techos (estructuras de soporte y cobertura): alta capacidad térmica (para absorber el calor solar durante el día y liberarlo durante la noche, cuando la temperatura desciende considerablemente); buena reflectancia (para reducir la acumulación del calor y los movimientos térmicos); resistencia al agrietamiento (causado por ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento) y

diseñadas para reflejar el calor) pueden ser de materiales ligeros, con baja capacidad térmica, donde la capa exterior puede ser de material aislante.

- Los colectores de viento (torres con aberturas de cara en dirección principal del viento) son ventajosos para redireccionar los vientos hacia la edificación.



En algunas regiones es deseable evitar el sol en el verano y emplear la radiación solar para calentar las habitaciones por las ventanas durante el invierno. Este efecto puede obtenerse con un alero de techo apropiado. Su dimensión depende del ángulo de la radiación solar.



Resumen de los Materiales Comunes para Techo

Material	Características
Tierra	Barata; buenas cualidades térmicas; construcción pesada; sólo adecuado para casas en climas secos; no recomendado en áreas sísmicas.
Tejas de Suelo Estabilizado	Baratas; fácil manipulación; construcción ligera; producción local de tejas; la resistencia a la lluvia sólo es efectiva con «sobre»-estabilización, perdiendo así su ventaja económica; mediana resistencia a los huracanes.
Tejas de Arcilla Cocida	Costo medio; fácil manipulación; construcción ligera; buena resistencia a las lluvias y huracanes; sin embargo, la producción de tejas consume bastante energía.
Concreto Reforzado	Caro; construcciones resistentes, pesadas; adecuado para la mayoría de los climas; resistente a la mayoría de fenómenos naturales; pero su limitada disponibilidad y el alto costo del cemento lo hace menos recomendable para viviendas de bajo costo de un solo piso.
Tejas	Costo bajo a medio; material adecuado para producción en pueblos; buena calidad térmica y resistencia a lluvias y huracanes.
Lámina de hierro corrugado	Costo medio; fácil manipulación y transporte; buena resistencia a las lluvias; mala calidad acústica y térmica; buenas para áreas sísmicas; buena resistencia contra termitas y hongos.
Bambú	Costo bajo a medio; fácil manipulación; buena resistencia a las lluvias; bueno para áreas sísmicas; baja resistencia a huracanes; fácilmente atacado por agentes biológicos y el fuego.
Techo de Paja	Barato; fácil manipulación; se degrada rápidamente; atrae insectos; presenta peligro de incendio.

Los techos de hierbas (techos de barro con revestimiento de hierbas sembradas), que se están volviendo populares en algunos países industrializados, tienen diversas ventajas: empleo de material natural, local; mantenimiento de microclima de interior y exterior moderados (equilibrio entre la humedad y la temperatura); generación de oxígeno y humedad; alta estabilidad debido al refuerzo de las raíces; buena absorción acústica. En climas cálidos, pueden surgir problemas en la estación seca, necesitando regar los techos para mantener el crecimiento de las hierbas, y los techos pueden atraer insectos y pequeños animales, que pueden dañar a las personas. Se necesita investigación para encontrar soluciones aceptables.

Nota: Las Láminas de techo de fibrocemento deben eliminarse debido a su pobre resultado.

SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN

Generalidades

Los sistemas de construcción generalmente se entienden como métodos de construcción industrializados, que involucran un alto grado de prefabricación, para reducir al mínimo el trabajo en el lugar de la obra. Las mayores ventajas son:

- Numero reducido de materiales y componentes,
- Volúmen reducido de materiales y menor desperdicio,
- Procedimientos de ensamblaje y detalles de construcción simplificados,
- Mayor precisión y velocidad de construcción.

En países industrializados, en los cuales se desarrollaron estos sistemas y en donde se ha alcanzado un alto grado de perfección, hay la ventaja adicional de emplear menos mano de obra, incurriendo en menores costos laborales y consecuentemente menores costos de construcción. Esto es raramente una ventaja en los países en desarrollo, en donde los costos de mano de obra son menores y se busca crear mayor empleo. Además, el elevado insumo de capital, que requiere a menudo equipo y maquinaria importados, hace que los métodos de producción industrializados sean más caros que las construcciones convencionales (Bibl. 00.34).

Sin embargo, hay circunstancias en países en desarrollo en los cuales se justifican los sistemas industrializados, por ejemplo, en viviendas de emergencia y construcción en lugares remotos. Pero, en general, los sistemas completos de prefabricación continuarán siendo la excepción y no la regla en construcciones de bajo costo, sin embargo hay gran potencial en el desarrollo de la prefabricación parcial, la coordinación dimensional y la simplificación de procesos para

la provisión de construcciones de alto nivel a mayor velocidad y menor costo.

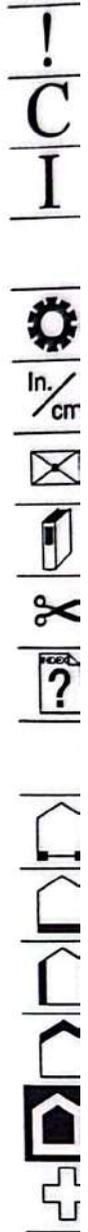
Rechazar completamente los sistemas industrializados es una falta de visión así como lo es menospreciar totalmente los métodos de construcción tradicionales. Las soluciones innovadoras prometedoras para países en desarrollo siempre emplean algo de ambos, como por ejemplo, techados de fibro concreto y el empleo de materiales sustitutos del cemento producidos con desechos agrícolas e industriales.

Ejemplos de Sistemas de Construcción

En este libro, el término «Sistemas de Construcción» es tratado en un sentido amplio. La sección titulada *Ejemplos de Sistemas de Construcción* incluyen métodos de construcción, en los cuales el grado de prefabricación varía enormemente, así como los métodos innovadores, tradicionales y convencionales, en los cuales las cualidades inherentes a cada material están bien demostradas.

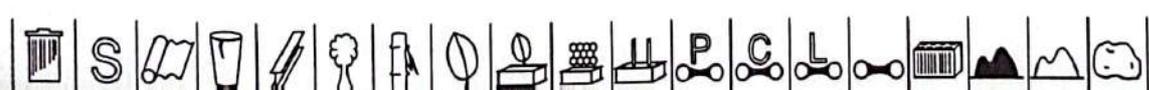
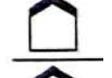
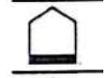
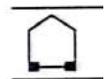
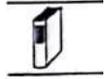
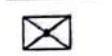
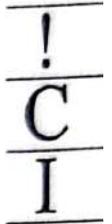
Por ello, los ejemplos muestran sistemas con diferentes objetivos:

- Sistemas que utilizan solo un material para toda la edificación,
- Sistemas que mejoran la precisión y velocidad de la construcción,
- Sistemas que combinan las ventajas de los elementos producidos industrialmente y de aquellos de materiales tradicionales,
- Sistemas que proporcionan protección especial contra fenómenos naturales,
- Sistemas que utilizan materiales de desecho como alternativas a las convencionales.



También se pudo incluir una gran cantidad de otros interesantes ejemplos, pero la elección esta regida principalmente por la disponibilidad de información y el intento de cubrir un amplio rango de materiales y técnicas de construcción.

INFORMACION FUNDAMENTAL SOBRE MEDIDAS DE PROTECCION



AGENTES BIOLÓGICOS

Generalidades

Los agentes biológicos que pueden causar problemas en las edificaciones son:

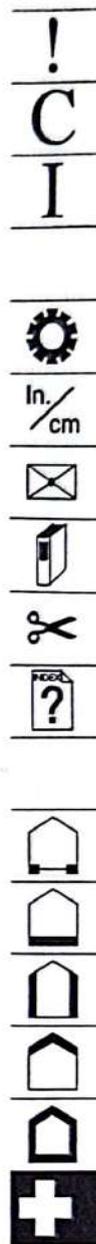
- Insectos (termitas, escarabajos, chinches triatomicos, cucarachas, mosquitos, moscas, etc.), que atacan y destruyen los materiales de construcción (tales como la madera, el bambú, algunos plásticos, etc.), representan un peligro para la salud o simplemente son una molestia para los ocupantes;
- Animales (ratas, murciélagos, aves, culebras, etc.), que pueden anidar en cavidades inaccesibles, y no solo pueden crear problemas a la salud y molestias a los ocupantes sino que también restringen importantes funciones de la edificación, por ejemplo, los nidos que bloquean las aberturas de ventilación u obstruyen los drenajes;
- Hongos (mohos, tiznes, podredumbres, etc.), que se desarrollan en condiciones oscuras y húmedas en la madera y otros materiales de construcción vegetales, algunos hongos no son destructivos (el tizne azul), mientras que otros (podredumbre seca, podredumbre húmeda) producen degradación y destrucción.

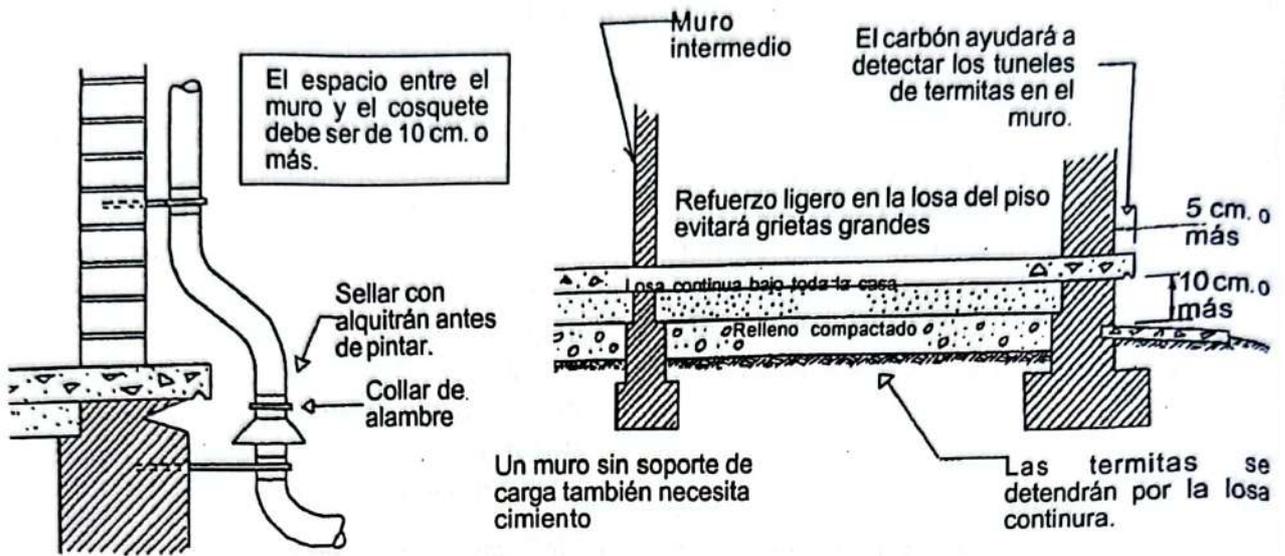
Existen muchos métodos de proteger las edificaciones y a sus ocupantes contra estos agentes, pero algunas medidas protectoras pueden crear nuevos problemas, si son implementados sin suficiente cuidado ni consideración sobre las consecuencias. Un buen diseño de construcción y empleo de materiales siempre deberían ser considerados antes de decidir emplear productos químicos, que pueden destruir hongos, insectos, ratas, mascotas, niños,

Medidas de Protección

Insectos

- Es vital el mantenimiento de las condiciones de limpieza en el lugar de la obra, ya que la vegetación densa, los escombros, la suciedad y la humedad proporcionan ambientes ideales para que los agentes biológicos crezcan. Si se encuentran colonias de termitas en las proximidades, se debe evitar en lo posible el empleo de materiales de construcción vegetales, o emplearlos sólo para elementos no estructurales.
- Un buen drenaje en el lugar de la obra es esencial, para evitar condiciones húmedas (que atraen insectos) y agua empozada (en lo cual los mosquitos se reproducen).
- En muchas publicaciones se aboga por envenenar la tierra debajo y alrededor de las edificaciones, pero debe recordarse que el veneno tarde o temprano será absorbido por el agua subterránea, perdiendo su efecto protector contra las termitas, y contaminando las reservas de agua potable.
- Una losa de piso de concreto reforzado continua debajo de toda la edificación es efectiva para mantener alejadas a las termitas subterráneas. Si se necesitan juntas, estas deben ser ásperas y con pendiente o lengüeta y juntas ranuradas.
- Escudos contra termitas fijados en forma continua alrededor de la base de la edificación, ranuras en forma de V (ángulo de 45°) y casquetes de metal que se extienden de 5 a 8 cm. alrededor de los tubos y columnas, proporcionan esquinas agudas, alrededor de las cuales no se pueden construir túneles de termitas. Estas también son barreras visibles que ayudan a detectar el desarrollo de túneles, que luego pueden ser destruidos.





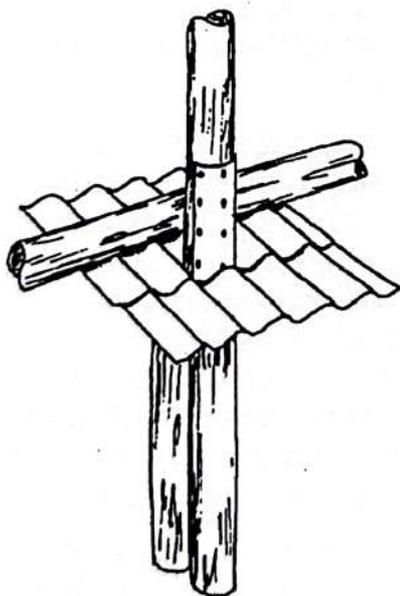
Medidas de protección contra termitas (T.S0e, Bibl.25.12)

- Edificaciones levantadas a 80-100 cm del suelo sobre postes o columnas (sin muros de zapata continuos) permiten inspecciones visuales por debajo del piso (para alejar a las termitas y otros insectos, y mantener condiciones limpias), y también facilitan la ventilación (manteniendo seco el piso). Las columnas y cimientos expuestos deberían ser pintados con un color claro para ayudar a detectar las galerías de termitas fácilmente a distancia.
- Los cimientos y losas de pisos deben ser construidos con mucho cuidado para evitar el desarrollo de grietas debido a los asentamientos diferenciales. Las grietas también se pueden producir por contracción durante el secado, tensiones mecánicas y térmicas, o mano de obra y materiales de mala calidad; y deberían ser selladas cuidadosamente, especialmente las grietas en los muros, para evitar anidamientos de insectos, tales como los chinches triatomicos, que son responsables del mal de Chagas (una enfermedad que sufre más de 20 millones de personas en las áreas rurales de América Latina).
- Ciertas especies de madera y bambú tienen una resistencia natural al ataque de insectos, y se deben emplear siempre que sea posible. Sin embargo, estas especies usualmente son raras y caras, por lo que se emplean mayormente especies menos resistentes. Por ello, es necesario un secado adecuado y alguna forma de tratamiento químico para evitar un deterioro temprano. (Ver las secciones tituladas *Bambú* y *Madera*). Bajo ninguna circunstancia los elementos de madera o bambú deben ser empotrados en el suelo.
- Los mosquitos, moscas, termitas voladoras y otros numerosos insectos pueden mantenerse alejados de las edificaciones recubriendo todas las aberturas con una malla de alambre fina, pero esto también produce una reducción de la ventilación cruzada.

- En la República Federal de Alemania se están investigando nuevos métodos de control de las termitas a través de medios naturales (Bibl. 25.12): mediante cruces de reproducción especiales y eliminación de la capacidad reproductora de las termitas; produciendo hormonas sexuales para desorientar a las termitas o compuestos alarmantes y repelentes que provocan una reacción de escape; sometiendo a las termitas a ciertos hongos tóxicos (efectivo sólo en las tres primeras semanas de vida del hongo). Sin embargo, estos métodos biotécnicos y microbiológicos aún presentan problemas que justifican una intensiva investigación.

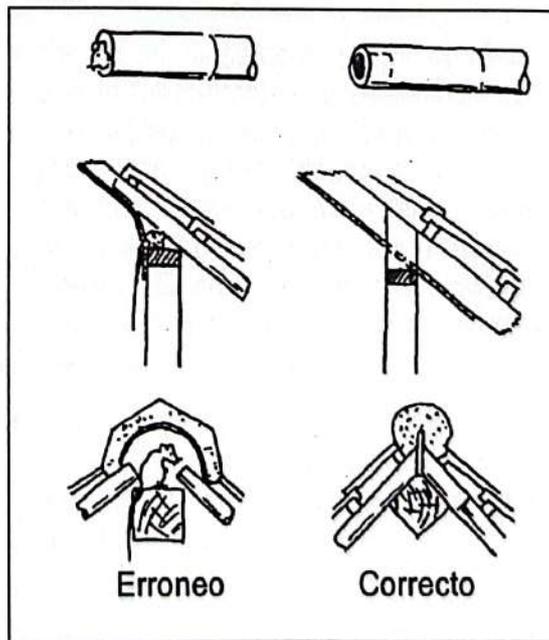
Animales

- Las ratas y ratones son eliminados privándolos de lugares para anidar y cualquier fuente de alimentación. Se deben retirar las pilas de basura, los montones de piedras y madera, la hierba crecida, etc.

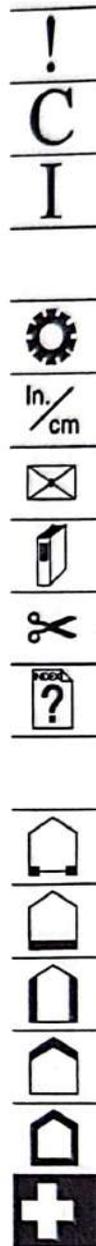


Un simple protector contra ratas (Bibl. 25.08)

- Los almacenes de comida pueden hacerse a prueba de ratas si la puerta esta lo suficientemente arriba del suelo y, por lo tanto, inaccesible para las ratas. Listones de láminas de metal de aprox. 30 cm de ancho, que van paralelas y a 60 cm del piso, evitan que las ratas trepen los muros. Los casquetes metálicos contra termitas, que sobresalen hacia afuera (aprox. 20 cm), evitan que se trepen a las columnas y tubos.
- Las losas de pisos de concreto evitan que los animales tengan acceso a la edificación por debajo.
- Las aves y murciélagos, que anidan bajo los techos o en cavidades, y las culebras y otros animales que pueden entrar por los tubos y ranuras de ventilación, se mantiene alejados cubriendo todas las aberturas con una malla de alambre.



Prevención de Nido de Ratas (Bibl. 13.13)



- En general, superficies duras, lisas, condiciones limpias e inspecciones regulares son muy efectivas en mantener un lugar sin plagas.

Hongos

- Los hongos son plantas simples que no pueden producir su propia alimentación del aire, agua ni luz solar, pero viven sobre materias orgánicas muertas (madera, bambú, etc.) ubicadas en lugares húmedos, oscuros, cálidos y pobremente ventilados. Por ello, la mejor protección contra los hongos es mantener condiciones limpias, secas y bien ventiladas. El contenido de humedad de la madera debe ser menos de 20% (obtenido mediante un secado adecuado).
- Las temperaturas bajo 0°C (poco realista en los trópicos) y sobre los 40°C también evitan el crecimiento de hongos, así como la inmersión completa en el agua.
- Los diseños con madera y otros materiales vegetales deben asegurar un drenaje rápido del agua y evitar el contacto directo con el concreto o mampostería (lo cual se obtiene colocando una membrana impermeable para separar los materiales).
- La madera, afectada por la podredumbre seca, se debe reemplazar preferiblemente por un componente fresco, inafectado, mientras que la madera afectada debe ser quemada.
- El tratamiento químico puede ayudar a eliminar los hongos, pero aquí también se aplican los comentarios de las secciones *Bambú* y *Madera*.

FUEGO

Generalidades

El fuego es una reacción química que se produce cuando un material combustible es calentado en presencia de oxígeno. El combustible líquido y sólido desprenden gases cuando es calentado y combustiona como llama.

El área superficial de un material respecto a su volumen y densidad es un criterio importante para medir su capacidad de combustión. Los materiales sólidos, gruesos son relativamente difícil de prender y quemar sólo en o cerca de la superficie. Las láminas delgadas se prenden rápidamente mientras que los materiales pulverizados o divididos finamente pueden volverse explosivos cuando son suspendidos en el aire.

El fuego se puede originar en las edificaciones por accidente (ejem. cuando se cocina en fuego abierto, lo que es común en muchos países en desarrollo), por auto ignición (ejem. por la descarga de chispas ocasionadas por la fricción entre materiales en condiciones muy secas, o por la concentración de los rayos del sol mediante lentes de ciertos vidrios), o por fenómenos naturales (ejem. relámpagos o movimientos sísmicos).

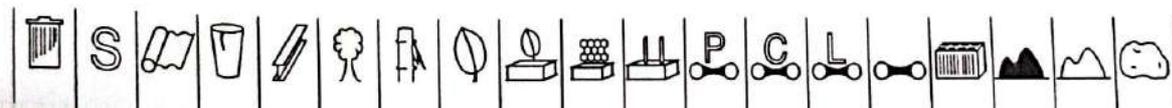
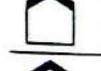
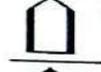
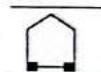
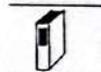
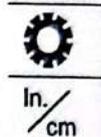
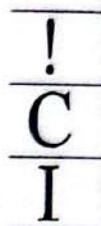
Los efectos dañinos del fuego en las edificaciones dependen del material empleado y del diseño y construcción de la edificación. Algunos materiales simplemente se contraen y agrietan, mientras que otros pueden expandirse, derretirse o desintegrarse causando una total destrucción. Las vidas humanas corren peligro de quemaduras, por colapso de techos y muros, por inhalación de humo y gases tóxicos, el pánico y pérdida del conocimiento y de la visión.

En zonas cálido seco, las casas están normalmente construidas con materiales gruesos, pesados, que no se inflaman fácilmente. En zonas cálido húmeda, los materiales combusti-

bles son comúnmente empleados, pero la humedad y las lluvias pueden tener el mismo efecto. Sin embargo, siempre hay peligro de fuego en todas las zonas climáticas, y debe tenerse en cuenta en todo diseño de edificación.

Medidas de Protección

- Con respecto a la confección de planos en zonas cálida húmeda, en donde las edificaciones generalmente están colocadas a distancia para una buena ventilación cruzada, también debe tenerse cuidado en mantener una buena distancia entre las edificaciones en la dirección del viento predominante, para evitar la propagación del fuego de una casa a otra.
- Un diseño climáticamente apropiado en zonas secas cálido seca exigen espaciamientos cerrados de las edificaciones pero son esenciales rutas de escape suficientemente anchas y caminos de acceso para vehículos extinguidores de incendios.
- Los elementos de construcción combustibles no deben emplearse a menos de 1 metro de fuentes potenciales de fuego (hornos, chimeneas, etc.); igualmente los materiales combustibles almacenados dentro y cerca de la casa deben estar protegidos de estas fuentes mediante materiales no combustibles (ejem. yeso, vidrio, ladrillos, concreto, metal, piedras, lana mineral).
- El diseño de las cavidades debe tomar en cuenta que éstas pueden ser campanas de combustión, y que pueden extender rápidamente el fuego.



- Es posible el tratamiento químico de maderas y otros productos vegetales (principalmente impregnación con compuestos de bórax), pero es caro, y nunca se obtiene una resistencia total.
- El CBRI, de Roorkee en India, ha desarrollado un retardador de fuego para construcciones de techo de paja: sobre la superficie superior se aplica un enlucido de barro estabilizado con betún resistente a la erosión y las grietas producidas por contracción durante el secado son selladas con una lechada de barro y estiércol mezclado con una pequeña proporción de betún diluído. En este sentido la densa capa de revestimiento detiene el paso de aire y retarda la ignición por una hora como mínimo. Como ventaja adicional, el techo es impermeable.
- Como una medida de precaución general, es aconsejable tener cerca una reserva de agua, una bomba y manguera, y/o extinguidores de fuego manuales.

Materiales Combustibles y No-combustibles (Bibl. 00. 14)

<i>Combustible</i>	<i>No-Combustible</i>
- Madera (incluso si esta impregnado con retardador de llamas)	- Productos de asbesto-cemento
- Tablero de fibra para edificaciones (incluso si están impregnadas con retardador de fuego)	- Productos de fibro concreto
- Corcho	- Enlucido de yeso
- Losas de lana de madera	- Vidrio
- Losas de paja comprimida	- Lana de vidrio (con no más de 4-5% de agentes adhesivos)
- Tablero de enlucidos de yeso (enlucido combustible debido al papel)	- Ladrillos
- Filtros bituminosas (incluyen fieltro a base de fibra de asbesto)	- Piedras
- Lana de vidrio o mineral con revestimiento o agentes adhesivos combustibles	- Concretos
- Láminas de metal protegidas con betún	- Metales
- Todos los plásticos y gomas	- Vermiculita
	- Lana mineral

VIENTO Y LLUVIA

Generalidades

Los fenómenos tratados en esta sección son: principalmente de tres tipos

- Arena y polvo
- Lluvias tropicales
- Ciclones

Arena y Polvo

- En zonas cálida seca éstos son fenómenos muy comunes, capaces de causar problemas de durabilidad de los elementos de las edificaciones y causar mucha molestia a sus ocupantes.
- La continua embestida del viento con arena tiene un efecto abrasivo en las superficies; la arena y el polvo pueden penetrar a los edificios por fisuras o juntas entre materiales; la acumulación de arena en partes de un edificio puede ser una molestia, pero también un peligro, si la carga se incrementa sobre los elementos de construcción débiles; lluvia mezclada con polvo y arena pueden producir fango.
- Bajo condiciones normales partículas de arena ruedan o rebotan sobre superficies duras hasta alturas de 1 a 4,5 metros, mientras que polvo puede llegar a cualquier altura dentro de la atmósfera terrestre.

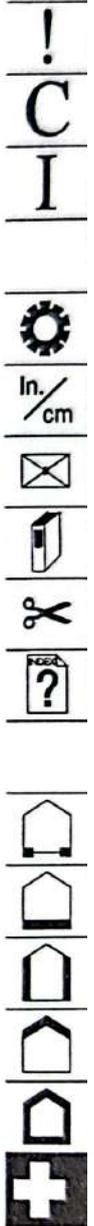
Lluvias Tropicales

- Estas ocurren intempestivamente y son de gran intensidad, causando inundaciones en muy poco tiempo.
- Las fuertes lluvias en los trópicos pueden aflojar y mover los elementos de un edificio; causando roturas y filtraciones de agua, pueden eliminar lavando las capas de revestimiento, insecticidas y fungicidas; y causan ruidos insoportables sobre ciertos tipos de techos.

- La inundación de los edificios obliga a la gente a refugiarse sobre los techos, que pueden colapsar por la sobre carga.
- El ablandamiento del terreno y su efecto directo sobre la cimentación puede causar serios daños a los edificios.
- Humedecimiento de los edificios por causa de la lluvia fomenta el crecimiento de hongos y corrosión de metales.

Ciclones

- Estas tormentas, comúnmente llamadas huracanes (en las regiones del Atlántico y del Caribe), tifones (en la región del Pacífico) o tornados (en todas las regiones), pueden alcanzar velocidades que sobrepasan 300 km por hora. los huracanes y tifones normalmente son acompañados por lluvias torrenciales, y como ocurren principalmente en zonas costeras o en islas, crean marejadas, que impulsan el agua del mar varios kilómetros tierra adentro, causando inundaciones y destrucción.
- La alta presión del viento afecta todas las partes del edificio, de manera que las edificaciones ligeras son más vulnerables. Los techos con pendientes menores de 30° pueden ser arrancados por la alta presión negativa (succión) en el lado de sotavento.
- Escombros llevados por el aire también provocan considerable destrucción; a causa de la lluvia que impacta contra la edificación, el agua penetra por las zonas desprotegidas; los elementos son removidos y arrastrados por las aguas; los árboles, postes eléctricos, chimeneas, etc., caen sobre las casas y las personas; y en general los efectos de los ciclones tropicales son la causa de miles de muertos y de total devastación.



Medidas de Protección

Arena y Polvo

- Las casas pueden ser protegidas de forma efectiva contra arena llevada por el viento, rodeándola con barreras contra arena de por lo menos 1,60 m de alto (por ejemplo, muros de mampostería). Mejor son casas con un patio interior y muros exteriores sin aberturas, o en todo caso sólo pequeñas y ubicadas en la parte superior.
- La vegetación alrededor de la casa puede reducir considerablemente el impacto de la arena y el polvo arrastrado por el viento. Las calles angostas en forma de zig-zag, con muros altos por ambos lados producen un efecto similar.
- Se deben evitar partes sobresalientes y cavidades en muros exteriores, para evitar la acumulación de arena y polvo. La superficies deben ser lisas y resistentes a la abrasión.

Lluvias Tropicales

- La ubicación de las edificaciones deben facilitar un rápido drenaje del agua. Es importante que las casas estén suficientemente elevadas sobre el nivel del terreno y tengan canales de drenaje a su alrededor.
- Para proteger los muros exteriores y sus aberturas se requiere de techos con grandes aleros, que descargan el agua de la lluvia lo suficientemente alejada de la base de los muros, evitando que éstas se ensucien y erosionen por efecto del agua que cae.
- Juntas impermeables herméticas y materiales resistentes al agua o tratamientos de la superficie son esenciales para evitar la penetración de la lluvia. También la ventilación cruzada para eliminar la humedad es de suma importancia.

- Insecticidas y fungicidas aplicados exteriormente pueden ser lavados, perdiendo su efecto protector, y además contaminando los alrededores; razón por lo que éstos deberían ser aplicados con mucho cuidado, y en lo posible no ser usados.
- Elementos y uniones metálicas que son propensas a la corrosión tienen que ser protegidos de la lluvia y ser bien ventiladas para evitar la retención de humedad.
- Para evitar problemas de ruido sobre los techos de láminas metálicas corrugadas se deben prever distancias menores entre apoyos, aplicar un revestimiento bituminoso en la parte inferior de las láminas, arandelas de goma en los puntos de fijación, y una capa aislante o cieloraso suspendido, todas contribuyen a la reducción del ruido; en combinación unas con las otras son efectivas. También se usan capas de paja como protección sobre las láminas metálicas, debiendo éstas estar bien sujetas, ya que el viento las puede arrancar.
- En zonas propensas a ser inundadas, los techos deben ser especialmente resistentes para que puedan aguantar el peso de los habitantes que buscan refugio. Es útil tener espacio de almacenamiento debajo del techo y salidas de escape para el aire atrapado. Prever construcciones que permitan que la casa flote, cuando el nivel del agua sube puede evitar daños, siempre y cuando éstas estén fijadas o ancladas.

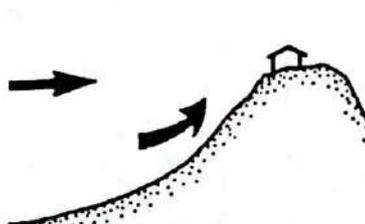
Ciclones

- Las edificaciones deben ser ubicadas preferentemente en zonas altas, suficientemente alejadas de la orilla del mar, y se debe observar que la topografía o edificaciones circundantes no causen un efecto de túnel, que incrementaría la velocidad del viento. Grupos de árboles actúan como rompe vientos naturales.
- La cimentación debe ser dimensionada generosamente y ancha en la base, para resistir las fuerzas que producen levantamiento o la inclinación provocada por presiones laterales. La unión entre cimientos, muros y columnas deben ser especialmente fuertes.
- Se puede aumentar la estabilidad, dividiendo la planta en cuartos más pequeños, siempre y cuando los muros sean lo suficientemente resistentes para aguantar fuerzas laterales (por ejemplo, esquinas reforzadas, arriostramiento diagonal, etc.) y bien fijados a la cimentación y al techo; los muros exteriores deben ser lisos y aerodinámicos (por ejemplo, esquinas redondas, sin elementos sobresalientes) ofreciendo la menor resistencia posible al viento.
- Los techos deben tener una inclinación mínima de 30° , para reducir el peligro de ser levantado, y por la misma razón se deben evitar grandes aleros (lo que contradice los requerimientos de protección contra la lluvia); la fijación de la sub-estructura debe ser especialmente rígida y resistente, ya que las fuerzas actúan por todos lados.
- Las aberturas deben ser pequeñas y estar dotadas de persianas (plegables o corredizas, mejor que con bisagras); se deben evitar los cristales, especialmente los de poco espesor.
- En general las mejores medidas de protección son, buen material y mano de obra, y prever en el proyecto el fácil acceso a las partes vulnerables, que permitan inspecciones y mantenimiento regular.

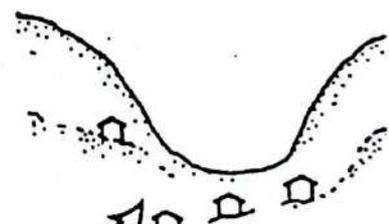
LOCALIZACIÓN:



1. Tomar ventaja de los rompe viento naturales, tales como árboles o muros. Rompe viento, cuando se decida el lugar para una construcción.



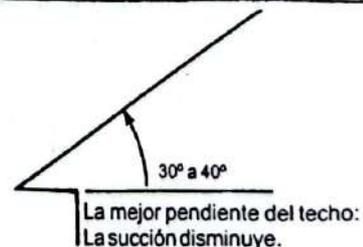
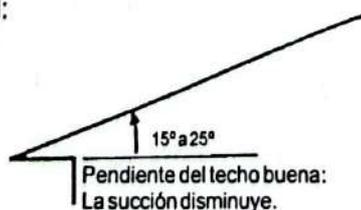
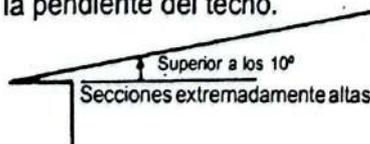
2. Tener cuidado en los lugares sobre colinas en donde la velocidad del viento puede ser mucho mayor.



3. Los valles pueden aumentar la velocidad del viento.

FORMA DE LA CONSTRUCCION:

4. Considerar cuidadosamente la pendiente del techo.



Crterios para construcciones que deben resistir fuertes vientos (Bibl. 25.06)

MOVIMIENTOS SISMICOS

Generalidades

De todos los desastres naturales, los movimientos sísmicos causan el mayor número de muertos y de destrucción. Estos ocurren generalmente sin ningún aviso previo, y dependiendo de su intensidad, pueden convertir en un par de segundos a una ciudad prospera en un cerro de escombros.

Son varias las causas que provocan movimientos sísmicos, siendo la más conocida el desplazamiento de las placas continentales (unos milímetros por año), que colisionan, empujan o causan fricción entre ellas, generando inmensas tensiones en las formaciones rocosas, que en determinado momento buscan un nuevo equilibrio, a través de un repentino movimiento violento, emitiendo ondas sísmicas en todas las direcciones. Otra causa es la erupción de magma líquida a través de grietas en la capa terrestre, que puede ocurrir en el fondo del mar o en forma de erupciones volcánicas. Los movimientos sísmicos en el fondo del mar (maremotos) dan lugar a tsunamis (nombre japonés para las olas provocadas por maremotos), que pueden causar total destrucción de zonas costeras. Las erupciones volcánicas afectan comparativamente un área mucho menor y los daños son causados mayormente por la lava y ceniza que cubre los campos y las casas.

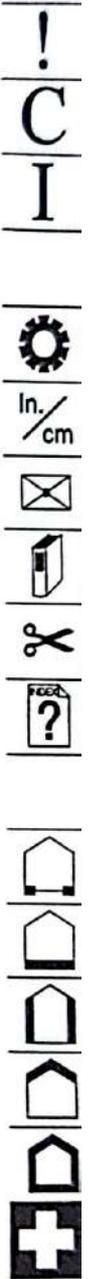
Movimientos sísmicos artificiales han sido provocados recientemente, a causa de la construcción de grandes represas, que dada la gran presión que ejerce el volumen de agua sobre el terreno, lubrica las fallas geológicas, y en determinado momento liberan las fuerzas acumuladas en forma de ondas sísmicas. La explotación de petróleo y gases naturales crea un desequilibrio de presiones, que también puede desencadenar ondas sísmicas.

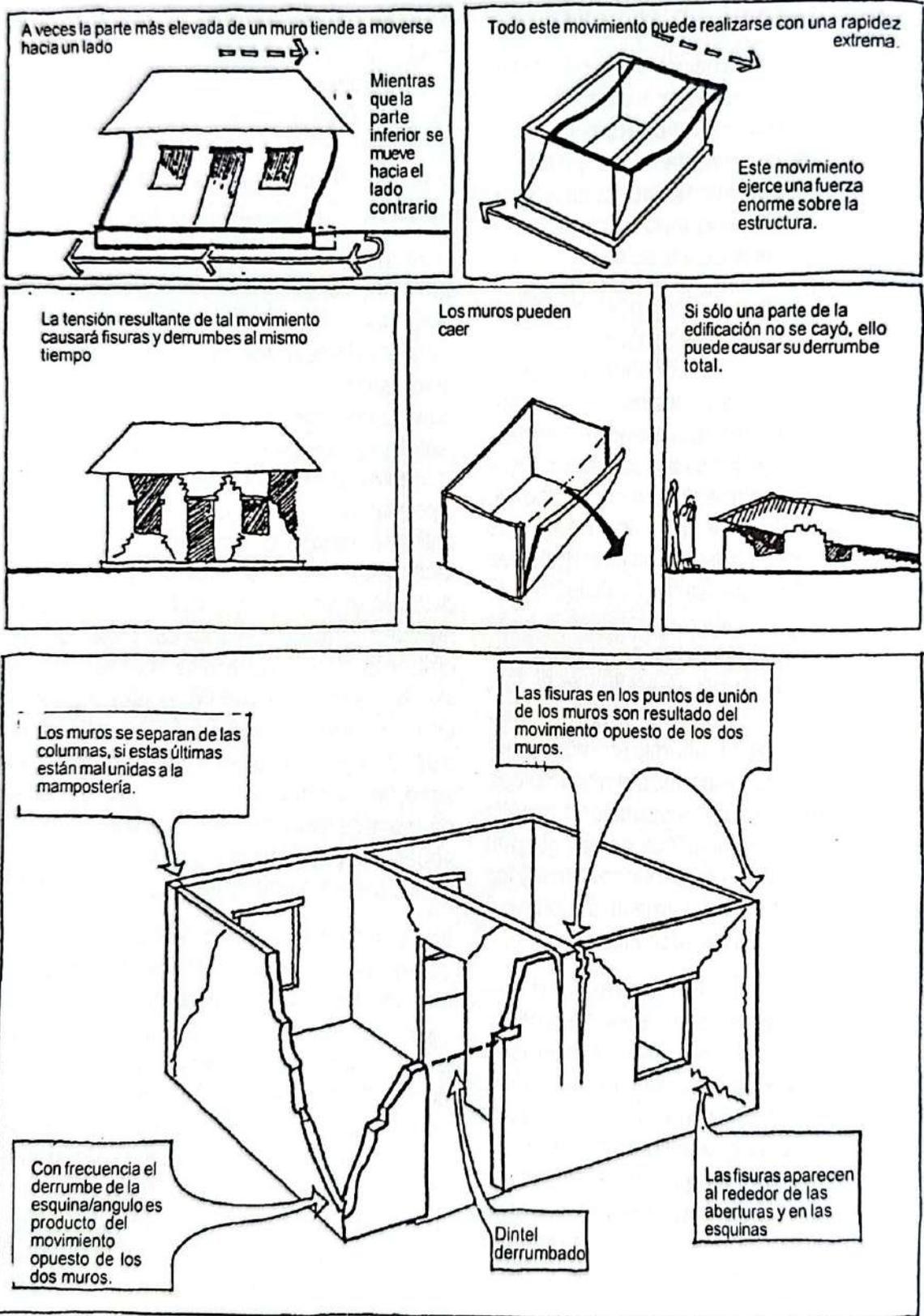
Estas causas hacen que ciertas regiones sean más propensas a movimientos sísmicos que

otras; pero las previsiones exactas, indicando el momento y la hora e intensidad aun no son posibles. En zonas sísmicas se deben prever medidas especiales de seguridad, que minimicen los daños de vidas y de la propiedad, pero difícilmente se logrará una seguridad absoluta.

Las ondas sísmicas están compuestas de movimientos horizontales, verticales y de torsión que actúan simultáneamente. Elementos débiles e inflexibles se parten o se desintegran; los materiales elásticos vibran y absorben las ondulaciones; mientras que elementos resistentes y rígidos mayormente no son afectados. La destrucción de los edificios empieza principalmente a causa de muros que se desploman, seguidos de los entresijos y de los techos, que a falta de soporte caen de inmediato, enterrando a los moradores y sus pertenencias debajo de los escombros. Sin embargo, daños mucho mayores son causados por efectos secundarios de los sismos, como son incendios, desprendimiento de tierras, rotura de represas, epidemias, etc. Una serie de movimientos menores se producen después de sismos mayores, que pueden provocar más colapsos de edificaciones, complicando tremendamente las labores de rescate.

Los siniestros más grandes ocurren en zonas de viviendas humildes, donde las casas son construidas con materiales baratos y malos y métodos poco desarrollados, y en zonas peligrosas, como laderas, zonas costeras, valles debajo de represas, etc. Sismos de intensidad comparable producen mucho menos daños y muertes en países industrializados y en zonas urbanas más desarrolladas del tercer mundo, que en zonas rurales humildes o barrios marginales de países en vías de desarrollo. De ahí que los temblores de tierra son a menudo llamados "temblores de clase".



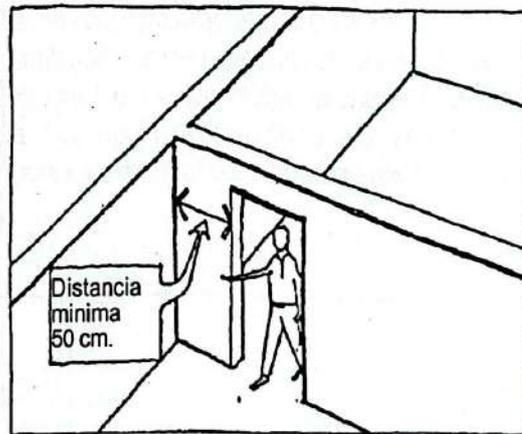


Efectos y daños típicos de sismos (dibujos de John Norton, Bibl. 25.10)

Medidas de Protección

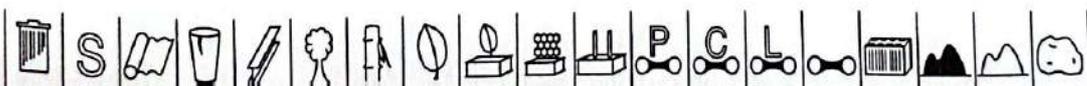
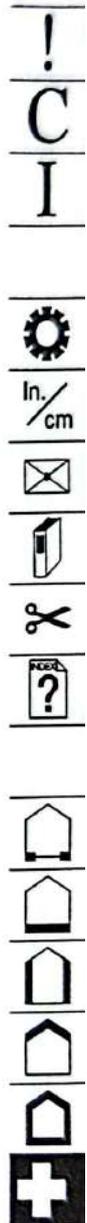
- Las edificaciones no deberían ser ubicadas en laderas o cerca de las mismas (peligro de desprendimientos de tierra, avalanchas) o cerca del mar (riesgo de tsunamis); se debería mantener a distancia suficiente de las estructuras vecinas (peligro de colapso), sobre todo en dirección predominante del viento (riesgo de incendio), y debajo de represas (peligro de rotura de las mismas). No se debe construir sobre rellenos de acequias y ríos.
- Las formas de las edificaciones deben ser simples y simétricas (tanto horizontal, como verticalmente); las formas complicadas son factibles, siempre y cuando estén subdivididas en elementos simples e independientes.

- Los muros deben ser relativamente livianos (para bajar el centro de gravedad de la edificación y reducir la posibilidad de colapso de los muros), capaces de absorber las vibraciones, pero estar rígidamente unidos a la cimentación, a muros contiguos y a techos. Estructuras de esqueleto de madera, bambú, concreto armado y acero, con elementos de cierre livianos, resisten muy bien a los sismos. Los muros portantes de mampostería convencional requieren en la parte superior de una viga de arriostre en forma de anillo, para evitar que éstos colapsen.
- Las aberturas deberían ser pequeñas, ubicadas a no menos de 50 cm de las esquinas o de otras aberturas; se deberían evitar cristales de vidrio.
- Los techos deberían ser lo más livianos posi-



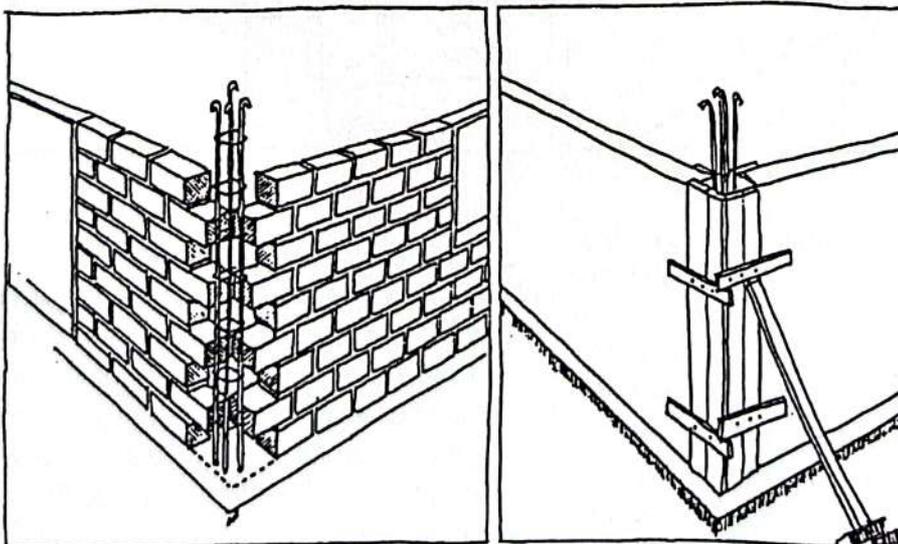
- Las cimentaciones deberían ser de concreto armado, construídas sobre terreno firme, mantener una profundidad uniforme (no escalonar en terrenos inclinados) y tener una armadura continua. Sobre suelos de poca resistencia, una cimentación a base de una losa armada presenta la ventaja de "flotar" sobre las ondas sísmicas, evitando así mayores daños.

bles, o monolíticos (con una alta resistencia a la tracción, p.ej. de concreto armado) o de elementos fuertes pero flexibles, fijados fuertemente a la estructura portante; de formas compactas, simétricas con luces mínimas. Los techos deben asegurarse a la viga de arriostre o a la estructura portante. Como alternativa, el techo puede estar montado sobre una estructura independiente de los



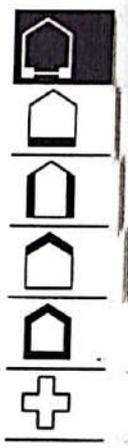
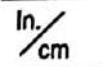
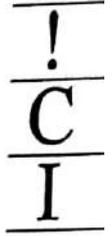
muros, que en caso de que estos colapsen, evitaría que se dañe también el techo.

- Los elementos sobrepuestos (p.ej. parapetos, chimeneas, tanques de agua), deben estar muy bien fijados para evitar su desprendimiento.
 - Los muros de piedra, tierra o ladrillo tienen una resistencia sísmica pobre. Ésta puede mejorarse reforzando las esquinas; las vigas de arriostre son esenciales. Se deben evitar muros y cúpulas de mampostería en zonas sísmicas. Las cubiertas de tejas de barro requieren de una sólida estructura portante, que son un peligro en caso de que colapsen. Las tejas tienden a caerse por las vibraciones.
 - El concreto armado y el fibrocemento son materiales ideales para construcciones asísmicas, siempre y cuando la calidad del cemento, de los áridos y de la mano de obra sean buenas y las armaduras metálicas estén protegidas contra la corrosión. Las estructuras de concreto armado y las estructuras laminares esbeltas son mejores;
- pero deben evitarse los techos de losas pesadas de concreto.
- Estructuras de madera y de bambú con muros de cerramientos livianos ofrecen una óptima resistencia sísmica, y causan menos daños en caso de colapsar, pero representan riesgo de incendio, que es importante durante los terremotos (debido a rotura de chimeneas, de tuberías de gas o suministro eléctrico, etc.). La protección contra los agentes biológicos es fundamental para evitar el debilitamiento de la estructura.
 - Las estructuras metálicas posibilitan construcciones livianas y flexibles; el diseño y el dimensionamiento debe considerar el riesgo de pandeo; la protección contra el fuego y una buena resistencia a la corrosión son esenciales. Los techos de láminas metálicas se comportan bien durante los sismos.
 - Medidas de precauciones generales son en todo los casos buena mano de obra e inspecciones periódicas de las partes críticas que requieren de mantenimiento y reparación; como también a todas las medidas de protección contra incendio.



Refuerzo de muros de mampostería con concreto armado (Bibl. 25.10)

EJEMPLOS DE MATERIALES DE CIMENTACION



CIMIENTOS DE PIEDRA NATURAL

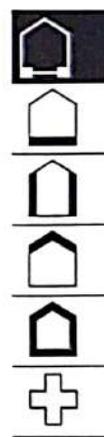
CARACTERÍSTICAS:

Propiedades especiales	Apropiado donde el concreto es caro
Aspectos económicos	Bajo costo
Estabilidad	Buena
Capacitación requerida	Mano de obra especializada
Equipamiento requerido	Equipo para mampostería
Resistencia sísmica	Mediana a buena; depende del diseño integral
Resistencia a huracanes	Buena
Resistencia a la lluvia	Buena
Resistencia a los insectos	Muy buena
Idoneidad climática	Todos los climas
Grado de experiencia	Aplicación común

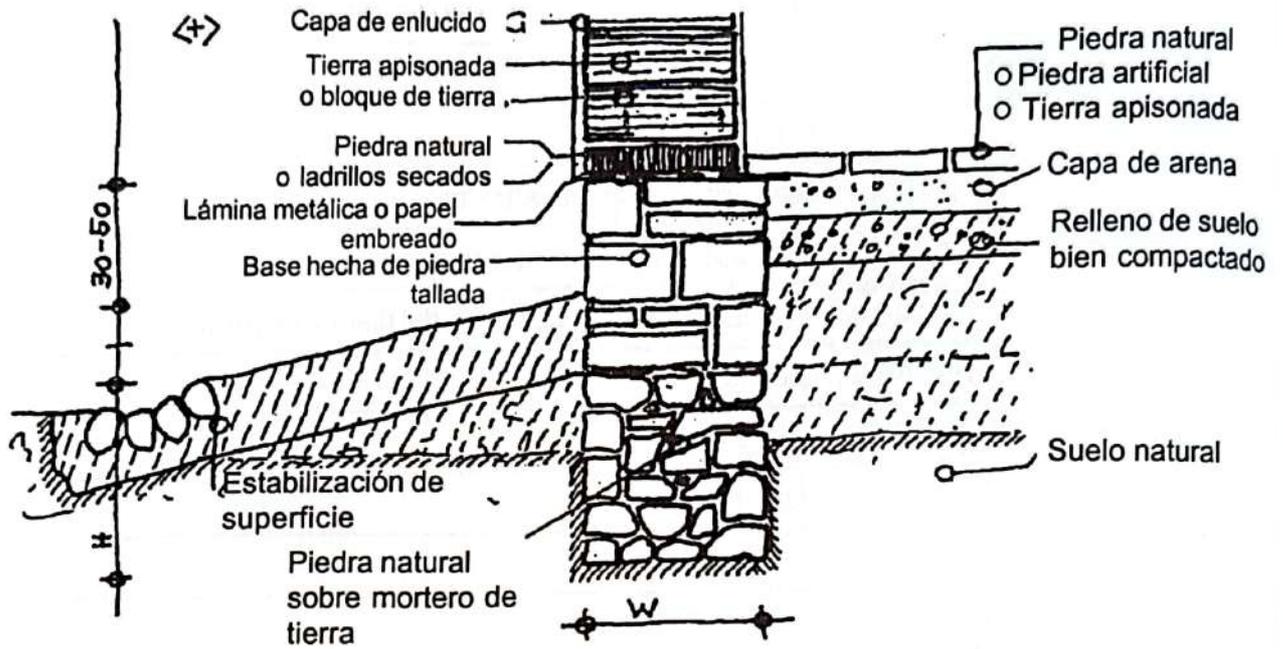
BREVE DESCRIPCIÓN:

- Cimientos de piedra se construyen con piedra bruta o piedra labrada; soluciones similares son posibles utilizando ladrillos rotos o pedazos de concreto de demoliciones.
- La calidad del mortero es importante, para lograr una resistencia buena. Un ejemplo de buena mezcla es:
 - 4 partes cemento
 - 1 parte de cal
 - 12 partes de arena limpia
 - suficiente agua para lograr una masa trabajable.
- Los cimientos deben apoyarse sobre terreno firme, uniforme y resistente, y no sobre hierba, tierra negra fértil, rellenos o barro.
- Como base de los cimientos, se debe prever una capa de concreto pobre (min. 5 cm) o arena apisonada; profundidad mínima 40 cm.
- En zonas sísmicas, se requieren reforzar con malla de alambre o barra de acero, de debe solicitar asesoría profesional.

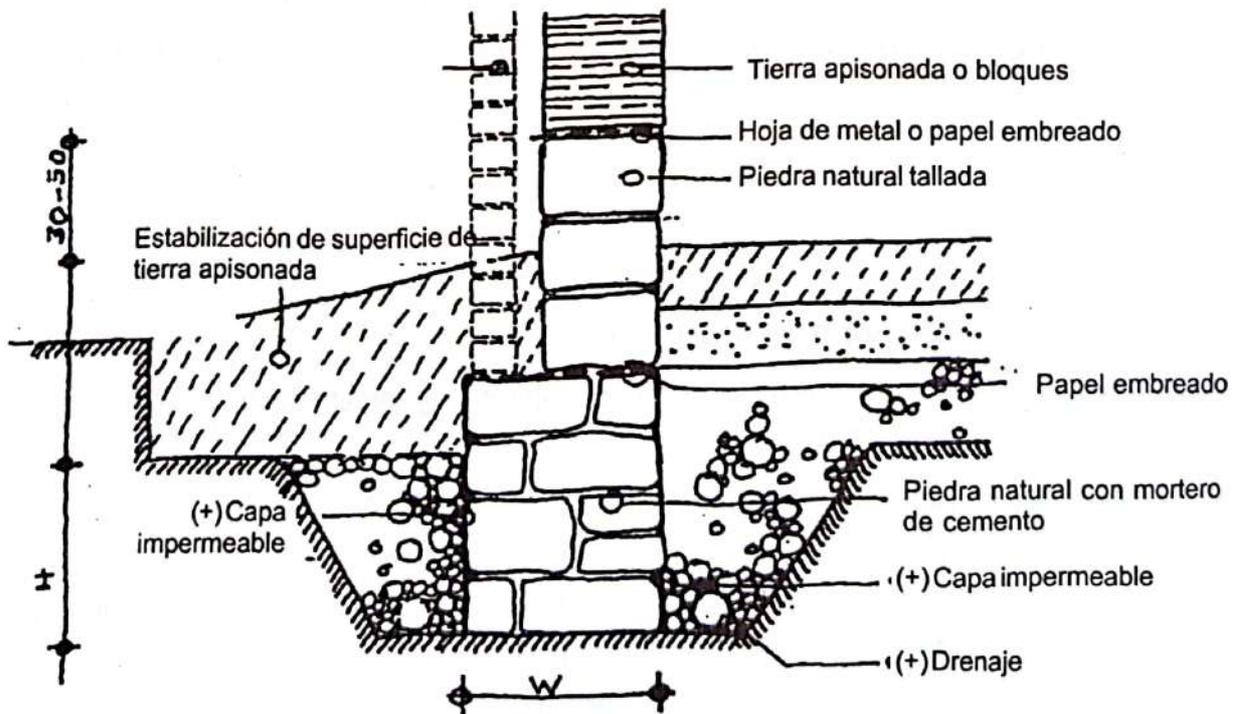
Información adicional: Bibl. 01.01, 01.05, 01.06, 20.05.



Piedra en mortero de tierra (Bibl. 20.05)



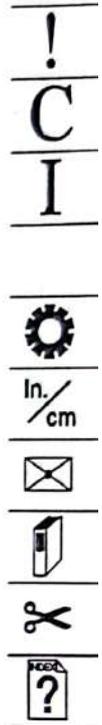
Piedra en mortero de cemento (Bibl. 20.05)



CIMIENTOS DE TIERRA APISONADA

CARACTERÍSTICAS:

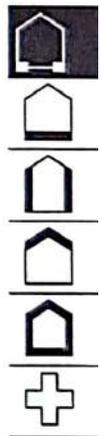
Propiedades especale	Usado solo para construcciones de tierra en zonas secas
Aspectos económicos	Bajo costo
Estabilidad	Mala a mediana
Capacitación requerida	Mano de obra semi-especializada
Equipamiento requerido	Equipos de excavación y apisonamiento
Resistencia sísmica	Baja
Resistencia a huracanes	Baja
Resistencia a la lluvia	Baja
Resistencia a los insectos	Baja
Idoneidad climática	Solo climas muy secos
Grado de experiencia	Método tradicional



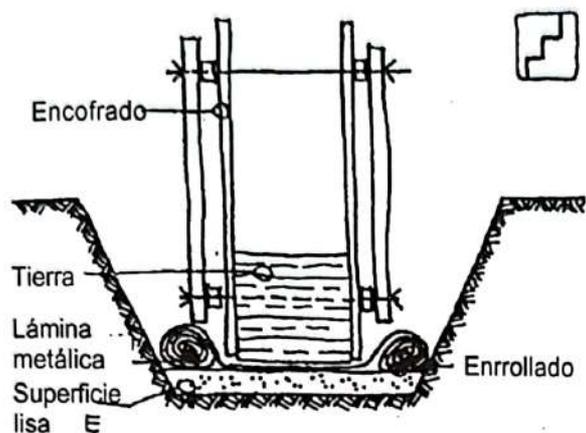
BREVE DESCRIPCIÓN:

- Los cimientos de tierra apisonada se construyen con suelo bien graduado, añadiendo preferiblemente un estabilizador para aumentar las resistencias mecánicas y al agua.
- El terreno debe estar bien drenado y la cimentación se debe proteger de la humedad del terreno con láminas plásticas o fieltro asfáltico. Pintura asfáltica o enchapes piedra bruta o ladrillos cocidos pueden ser usados como alternativas.
- Si existen dudas respecto al uso de una cimentación de tierra apisonada, es mejor no usarla. En su lugar se pueden usar bloque de suelo estabilizado, pero aplicando las mismas medidas de protección.
- Siempre que sea posible, la cimentación debe apoyarse sobre una base de concreto pobre.
- La cimentación se construye con encofrados, igual que los muros : capas de 10 cm de suelo son apisonadas hasta 6-7 cm, antes de añadir la próxima capa.

Más información: Bibl. 02.06, 02.08, 02.19, 02.32, 20.05.



Procedimiento para la construcción de cimientos de tierra apisonada (Bibl. 20.05)



Quite la capa vegetal hasta la capa resistente.

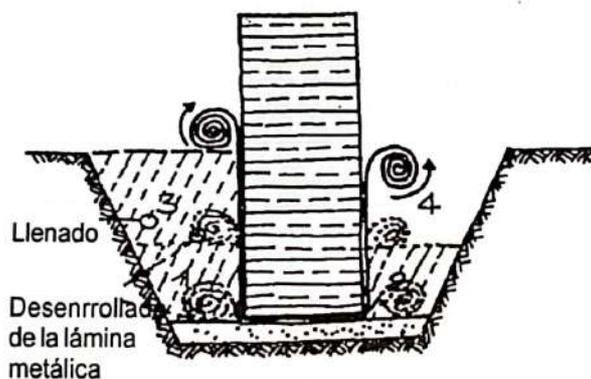
Coloque una capa delgada de arena o tierra sobre la capa resistente para aislarlo.

Corte las piezas de esquina de la lámina metálica.

Coloque la lámina metálica sobre el terreno siguiendo la línea del cimiento.

Traslape las piezas para conseguir su impermeabilidad >20 cm.

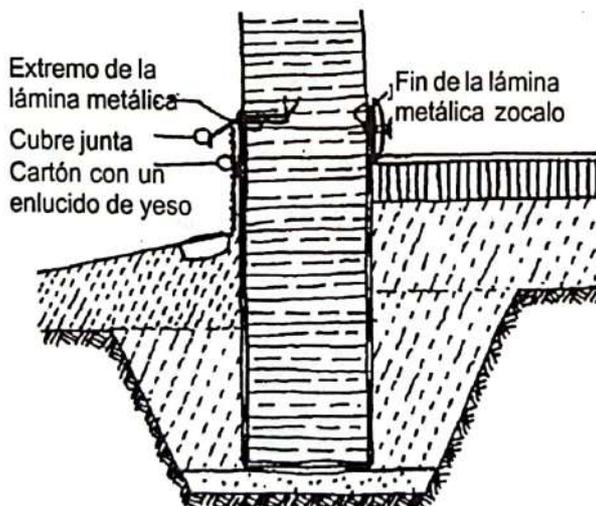
Proteger los extremos enrollados contra los daños.



Coloque en el encofrado sobre la lámina metálica. Coloque capas de tierra en el encofrado y apisonelo (o bloques de tierra).

Deje que la tierra del cimiento se seque, y protéjalo contra la lluvia.

Desenrolle la lámina metálica, rellene en capas, presione la lámina metálica cuidadosamente hacia el muro.



En la parte de afuera fije el extremo de la lámina metálica con un listón torcido y protéjalo con una estera o cartón y enlucido.

En la parte interior, clave el final de la lámina metálica al muro y proteger con un cubre junta.

CIMIENTOS DE LADRILLOS

CARACTERÍSTICAS:

Propiedades especiales	Buena alternativa a cimientos de concreto
Aspectos económicos	Media a buena
Estabilidad	Costo medio
Capacitación requerida	Conocimientos de albañilería
Equipamiento requerido	Equipo de albañilería
Resistencia sísmica	Media a buena
Resistencia a huracanes	Media a buena
Resistencia a la lluvia	Buena
Resistencia a los insectos	Buena
Idoneidad climática	Todos los climas, exceptuando zonas muy húmedas
Grado de experiencia	Aplicación común

BREVE DESCRIPCIÓN:

- Los cimientos de ladrillo son básicamente muros de mampostería, pero empezando bajo el nivel del terreno, sobre un lecho de arena apisonada o de concreto pobre, o una base de concreto.
- Una base ancha es preferible, ya que distribuye mejor el peso de los muros.
- Debe cuidarse la colocación de los ladrillos en hiladas perfectamente a nivel, y las medidas de impermeabilización contra efectos del agua son importantes.
- Un buen mortero para cimientos de mampostería es :
 - 4 partes de cemento
 - 1 parte cal
 - 12 partes de arena limpia
 - suficiente agua para lograr una mezcla trabajable
- En zonas sísmicas, los cimientos de ladrillo deben ser reforzados con malla de alambre. Se debe solicitar asesoría profesional.

Más información : Bibl. 20.04, 20.05.

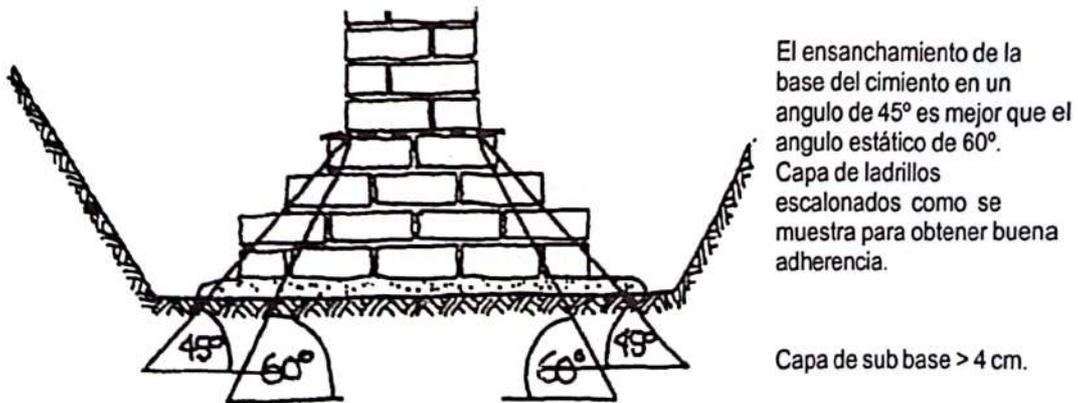
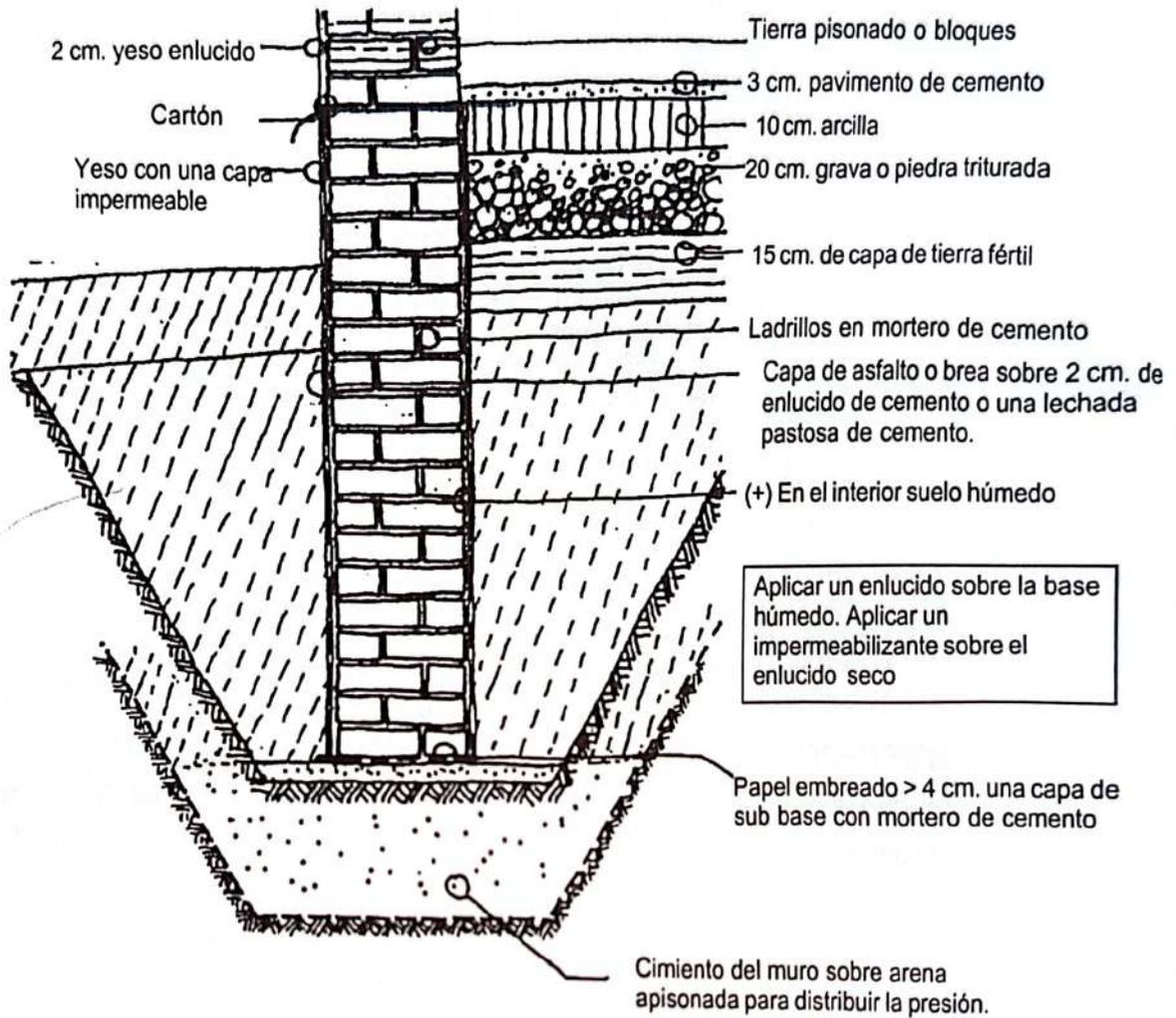
!
C
I



In./
cm



Ladrillo cocido y mortero de cemento (Bibl. 20.05)



CIMENTACIONES DE CONCRETO

CARACTERÍSTICAS:

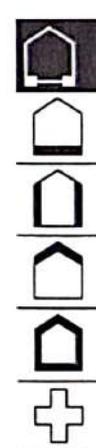
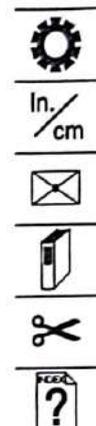
Propiedades especiales	Cimentación muy resistente
Aspectos económicos	Caro
Estabilidad	Muy buena
Capacitación requerida	Mano de obra especializada
Equipamiento requerido	Encofrados, mezcladora de concreto
Resistencia sísmica	Muy buena
Resistencia a huracanes	Muy buena
Resistencia a la lluvia	Muy buena
Resistencia a los insectos	Muy buena
Idoneidad climática	Todos los climas
Grado de experiencia	Mundialmente usado

BREVE DESCRIPCIÓN:

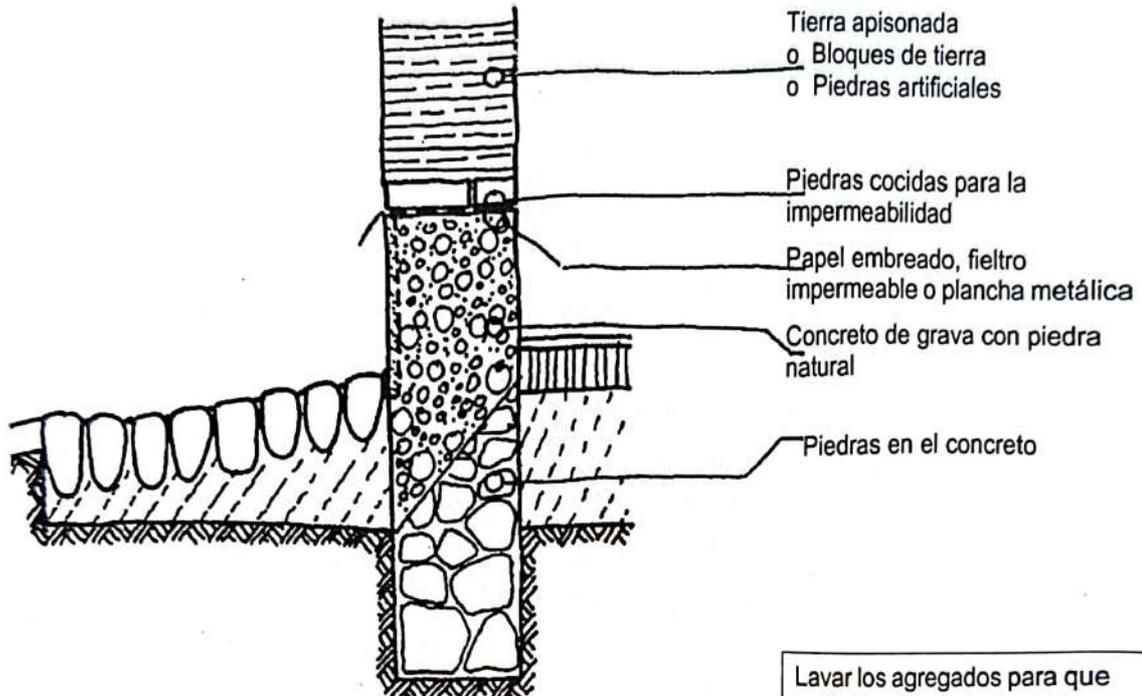
- Las Cimentaciones de concreto sobre suelo resistente y uniforme pueden construirse sin necesidad de armadura, siempre y cuando no se encuentre en una zona sísmica o afectada por huracanes.
- Todos los terrenos con resistencia dudosa o no uniforme requieren de armadura, especialmente en zonas muy lluviosas y regiones afectadas por fenómenos naturales.
- Dependiendo de la resistencia necesaria, las mezclas de concreto pueden variar de 1 : 3 : 4 (cemento : arena : grava) a 1 : 4 : 7,; la proporción de cemento más elevada se requiere para concreto armado.
- El contenido de agua en mezclas frescas debe ser el mínimo necesario para lograr una masa trabajable. Un exceso de agua provocan porosidad, que debilita el concreto y lo hace absorbente del agua. Las zanjas para la cimentación deben ser humedecidas antes de vaciar el concreto, para impedir la excesiva absorción de agua de la mezcla.
- El concreto debe curarse en húmedo durante 3 a 7 días, antes de construir los muros. Una lamina impermeable (papel embreado) debe ser colocada entre el cimiento y el muro.

Más información : Bibl. 20.03, 20.04, 20.05.

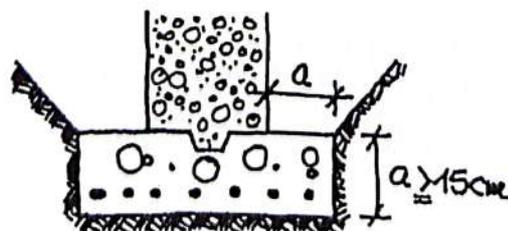
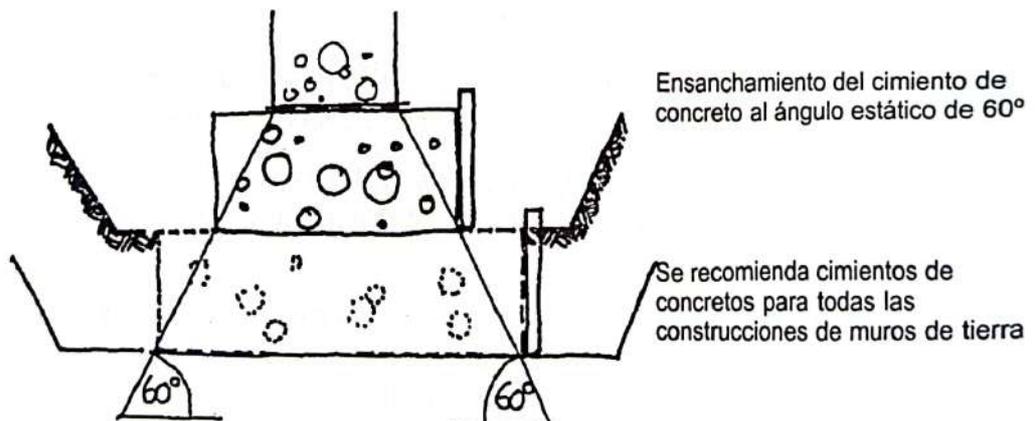
!
C
I

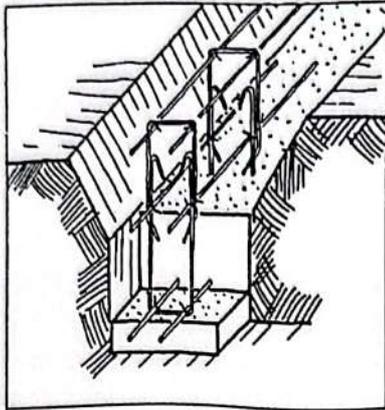


Cimentaciones de concreto (Bibl. 20.05)



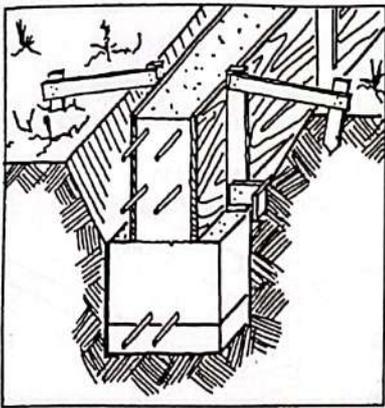
Lavar los agregados para que estén limpios de impurezas así como de limo y arcilla



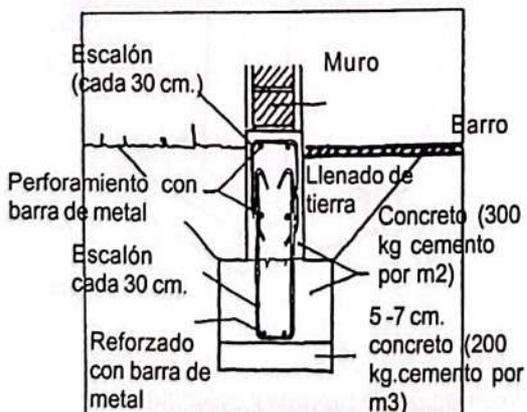


Cimientos de concreto armado

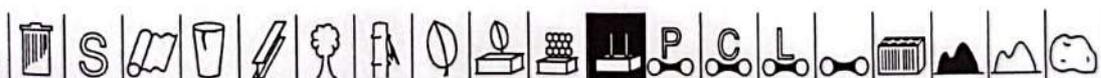
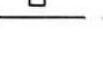
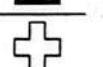
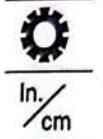
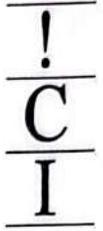
La colocación del hormigón de la base de la cimentación sin encofrado: se coloca la armadura cuando la capa de concreto pobre haya fraguado. La segunda capa de concreto más resistente recubre la armadura.



Cimiento corrido vaciado en un encofrado de tablas de madera o planchas de madera laminada. Se le debe aplicar aceite, antes de vaciar el concreto, para facilitar el desencofrado.



La cimentación terminada, con la zanja rellena con la tierra anteriormente cavada y bien compactada.

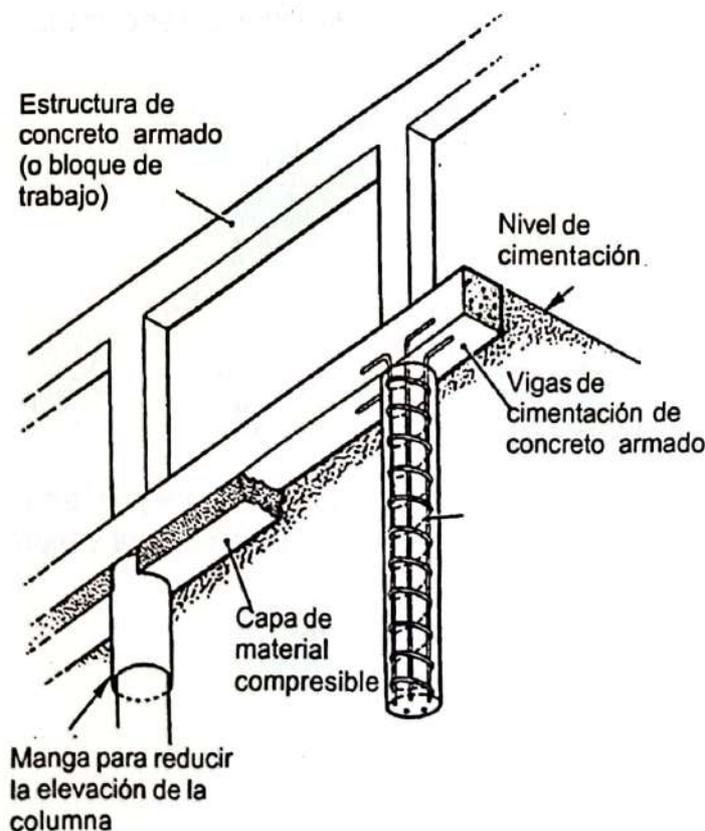


Cimentaciones sobre arcilla expansiva (Bibl. 20.03)

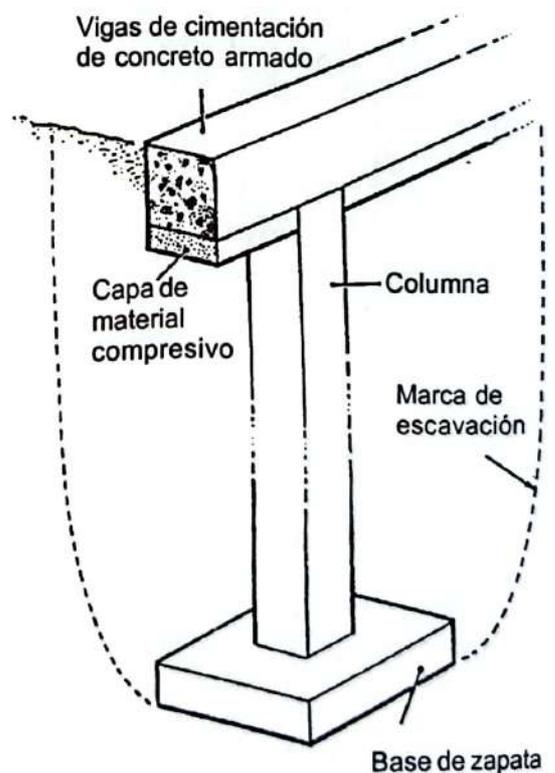
- Ciertos terrenos arcillosos responden a los cambios de humedad (durante periodos de lluvia o sequía, extracción de humedad a través de las raíces de arboles, etc.) con fuertes contracciones o dilataciones, que pueden causar serios daños a la cimentación y por ende a todo el edificio.
- Se pueden evitar estos daños, atravesando con la cimentación la capa problemática, o construyendo los cimientos y la estructura que resista los movimientos del terreno.
- *Cimentación con pilotes y vigas* : Pilotes de pequeño diametro son apoyadas en la zona inferior a la capa de arcilla expansiva, y las vigas de cimentación de concreto armado,

que unen los pilotes, son construidas sobre material comprimible (p.ej. poliestireno expandido) que absorbe los movimientos del terreno sin afectar la cimentación y la estructura.

- *Cimentación con zapatas y columnas* : Zapatas ubicadas sobre terreno firme, debajo de la capa de arcilla expansiva; columnas de concreto armado soportan las vigas de cimentación, igual como en el caso anterior.



Cimentación de columnas y vigas



Cimentación de zapatas y columnas

PILOTES DE TIRAS DE BAMBÚ

CARACTERÍSTICAS:

Propiedades especiales	Usado para estabilizar el subsuelo
Aspectos económicos	Bajo costo
Estabilidad	Buena
Capacitación requerida	Preparación especial
Equipamiento requerido	Martillo para hincar pilotes
Resistencia sísmica	Buena
Resistencia a huracanes	Buena
Resistencia a la lluvia	Buena, ayuda a drenar agua
Resistencia a los insectos	Baja
Idoneidad climática	Zonas tropicales
Grado de experiencia	Experimental

BREVE DESCRIPCIÓN:

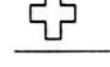
- La cimentación de tiras de bambú ha sido desarrollada para mejorar la capacidad de carga de suelos blandos y comprimibles y reducir el asentamientos, para varios tipos de construcción, como son edificios, carreteras, etc.
- Las cañas huecas de bambú se rellenan con fibras de coco y hilo de yute enrollado en un tejido de yute; las perforaciones en la caña permiten escurrir el agua del suelo y de esa forma secar el suelo y mejorar su capacidad de soporte de carga del suelo.

Más información: Dr. M.A. Aziz or Dr. S.D. Ramaswamy, Departamento de Ingeniería Civil, National University of Singapore, 10 Kent Ridge Crescent, Singapore 0511; Bibl. 20.01.

!
C
I



In./
cm



Pilote de tiras de bambú

Se han usado exitosamente pilotes de tiras de bambú, rellenos con mechas de estopa de coco, enrollada en forma suelta, de más o menos 6 mm de diámetro, envueltas por un yute densamente tejido, sujetado por hilo de yute en forma de espiral. Se perforaron las tiras de bambú tratadas, en puntos escogidos al azar, y se ataron en intervalos regulares con alambre de hierro galvanizado, después de colocar la estopa de coco dentro y a lo largo de toda su extensión (Fig. 1).

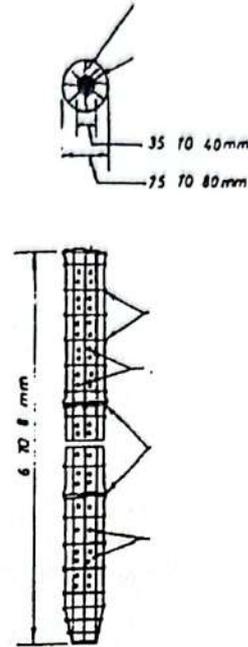


Figura 1

Area estabilizada

Estos pilotes de tiras de bambú especialmente preparados fueron utilizados para estabilizar el subsuelo dúctil y comprimible para una construcción específica (Fig. 2). El terreno estaba compuesto de una capa superior de aprox. 2 m de espesor de un limo areno arcilloso blando a medianamente duro, seguido de una capa de aprox. 6 m de espesor de arcilla limosa muy blanda seguida a su vez por una capa de arena arcillosa limosa de densidad media. Los pilotes de tiras de bambú, cada uno de aprox. 8 m de largo, 80 a 90 mm de diámetro, fueron clavados con un martinete espaciados 2 m en una retícula cuadrada. Después de la instalación de los pilotes, se cubrió toda el área capa de 2 m de espesor de material arenoso. (Bibl. 20.01).

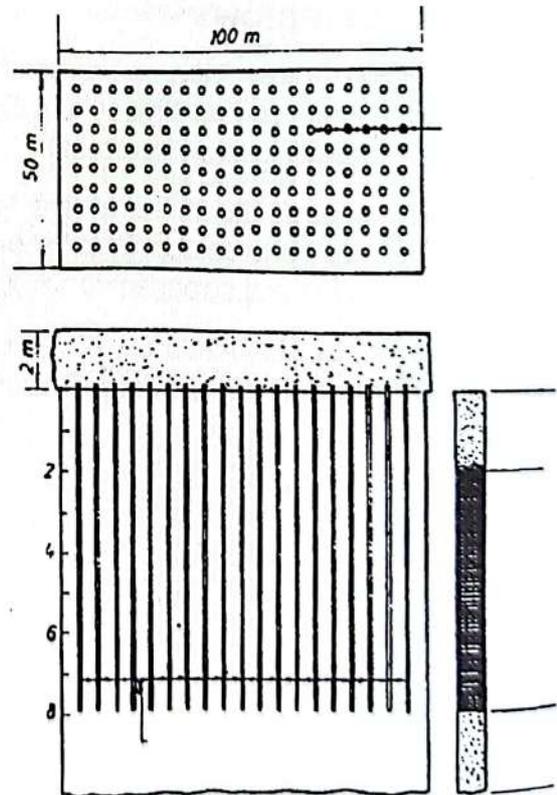


Figura 2

CIMENTACIÓN CON POSTES DE MADERA

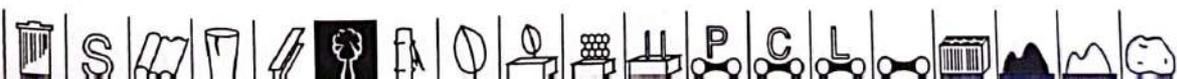
CARACTERÍSTICAS:

Propiedades especiales	Uso para cimentaciones puntuales o de pilotes
Aspectos económicos	Bajo costo, si hay madera en la zona
Estabilidad	Baja a buena
Capacitación requerida	Carpintería y experiencia de construcción
Equipamiento requerido	Equipo de carpintería y de albañilería
Resistencia sísmica	Baja a buena
Resistencia a huracanes	Baja a buena
Resistencia a la lluvia	Baja a buena
Resistencia a los insectos	Baja
Idoneidad climática	Todos, menos climas constantemente húmedos
Grado de experiencia	Métodos tradicionales

BREVE DESCRIPCIÓN:

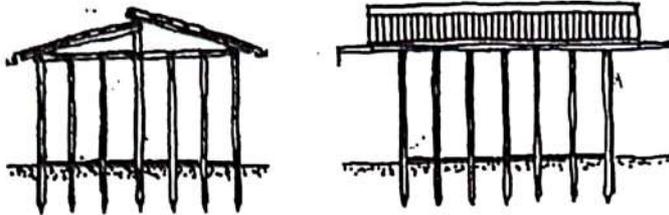
- Cimentación de postes de madera solo es aplicable a estructuras livianas, o sea para construcciones de madera, bambú u otros materiales vegetales.
- La mayor desventaja de la cimentación de postes de madera es el riesgo de debilitamiento debido al ataque de insectos (sobre todo termitas y escarabajos), de hongos y de roedores. Por lo tanto se necesitan medidas de protección. (ver sección *Madera* y *MEDIDAS DE PROTECCIÓN*)
- El uso de postes de madera para la cimentación es adecuado, si el clima es predominantemente seco, el lugar es bien drenado y los agentes biológicos, como termitas, no son comunes en la zona.

Más información: Bibl. 14.18, 14.22, 20.04, 20.05.

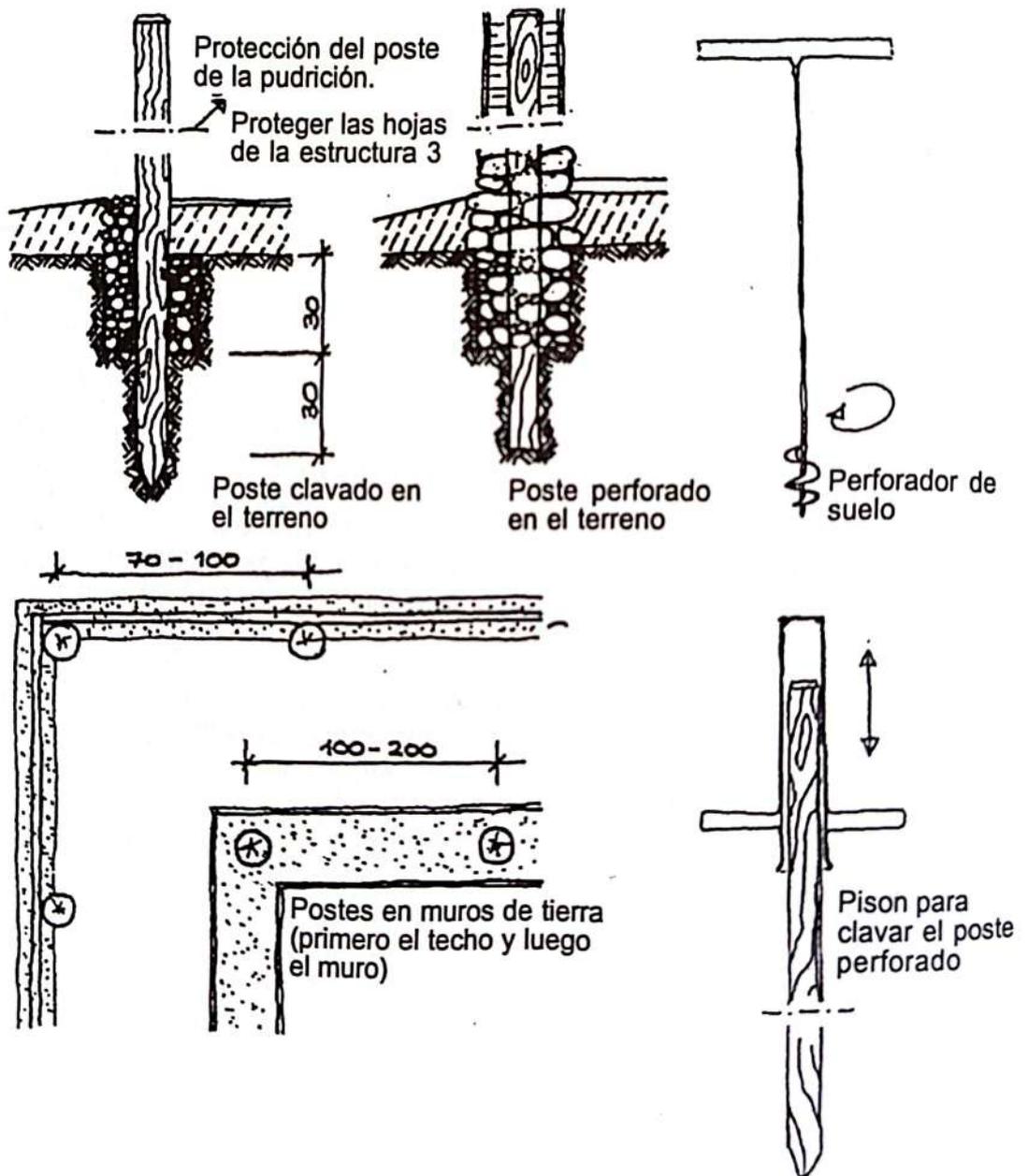


Cimentación con postes de madera simple (Bibl. 20.05)

Solo para zonas libres de termitas.

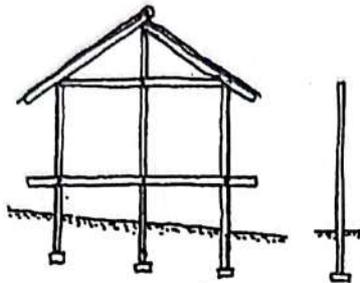


Vista sin cerramiento o muros de cerramiento

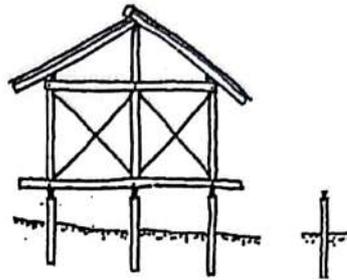


Postes de madera sobre zapatas de concreto (Bibl. 20.05)

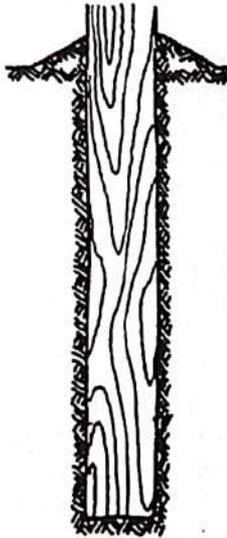
Solo para zonas secas libres de termitas.



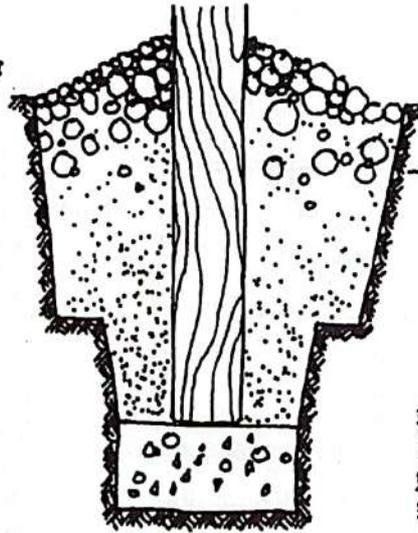
Construcción de una estructura rígida



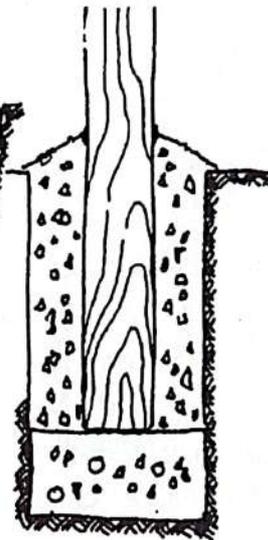
Construcción de una estructura articulada y arriostrada



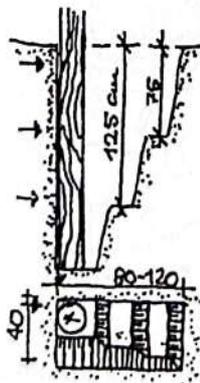
Poste en hoyo perforado



Poste sobre una zapata de concreto



Poste sobre una zapata de concreto



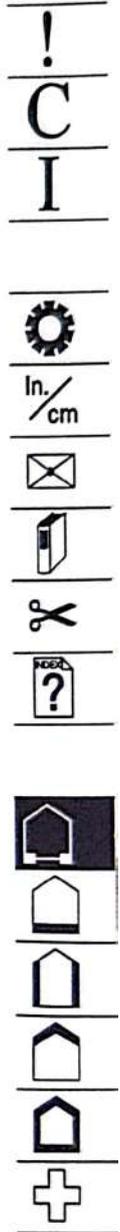
Excavar el hoyo de modo que el poste pueda quedar apoyado en el terreno original

Protección contra la pudrición: Protección de la construcción hoja 3.

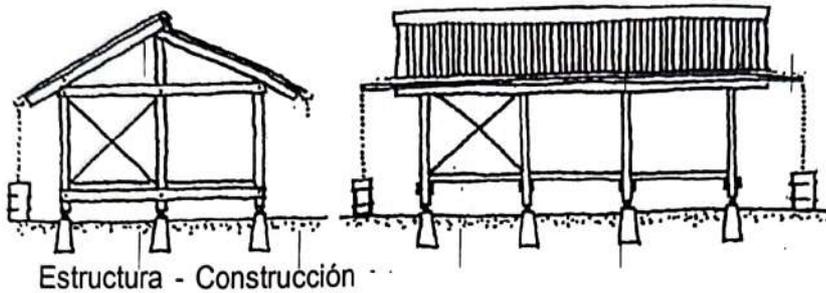
- Rellenar el hoyo con tierra (no tierra vegetal)

Arena y grava
Mezcla tierra - grava - cemento

El relleno se comprime por capas



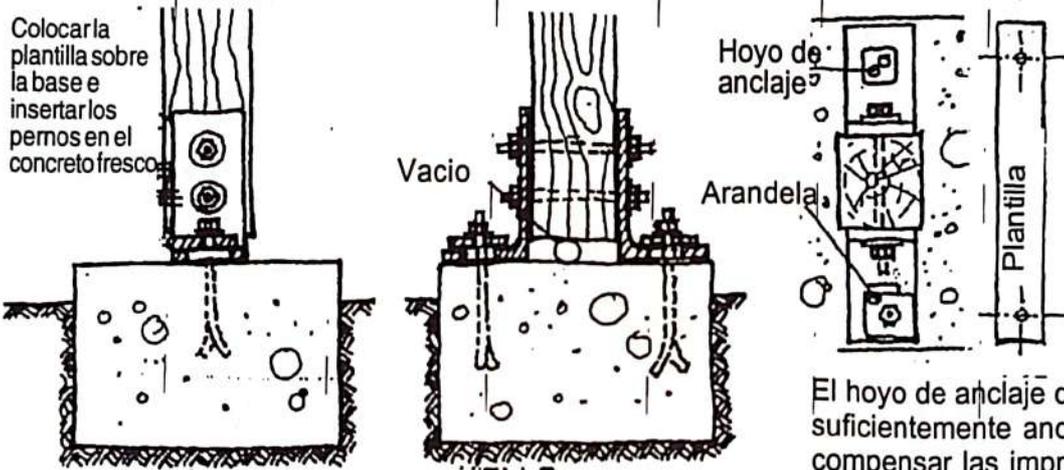
Postes de madera sin contacto con el terreno (Bibl. 20.05)



Estructura - Construcción

100/100 - 150/150 mm. Postes de Madera

Piezas metálicas en L 100/200 mm con pernos



Colocar la plantilla sobre la base e insertar los pernos en el concreto fresco

Vacio

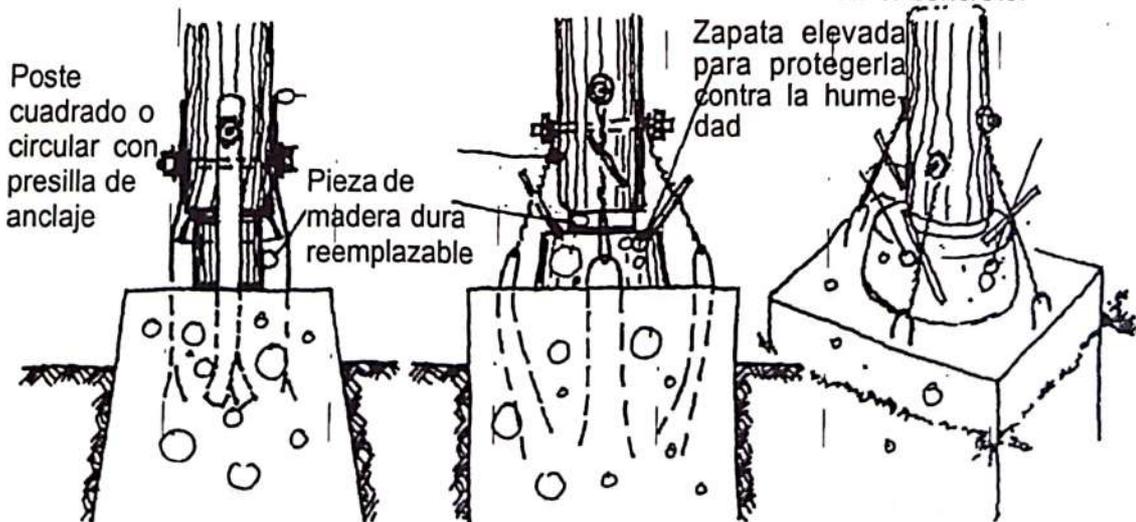
Hoyo de anclaje

Arandela

Plantilla

Madera rolliza con protección para tormeta

El hoyo de anclaje debe ser suficientemente ancho para compensar las imprecisiones en la inserción de los pernos en el concreto.



Poste cuadrado o circular con presilla de anclaje

Pieza de madera dura reemplazable

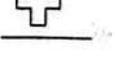
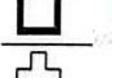
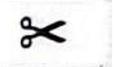
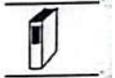
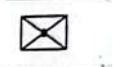
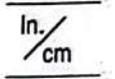
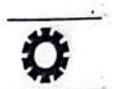
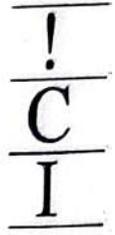
Zapata elevada para protegerla contra la humedad

VISTAA,B

VISTAA,B

Perspectiva

EJEMPLOS DE MATERIALES DE PISO



PISOS DE TIERRA ESTABILIZADA

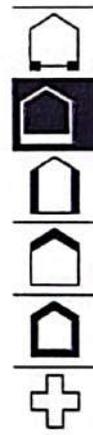
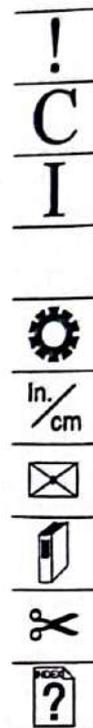
CARACTERÍSTICAS:

Propiedades especiales	Material local natural
Aspectos económicos	Bajo costo
Estabilidad	Pobre a media
Capacitación requerida	Experiencia en construcción de pisos
Equipamiento requerido	Plataforma vibradora; prensa de bloques de suelo o p
Resistencia sísmica	Pobre
Resistencia a huracanes	Pobre, si se inunda el piso
Resistencia a la lluvia	Pobre, si se inunda el piso
Resistencia a los insectos	Pobre
Idoneidad climática	Climas secos
Grado de experiencia	Experimental

BREVE DESCRIPCIÓN:

- Los Pisos de tierra son muy comunes en los países en vías de desarrollo, especialmente en viviendas rurales: la capa vegetal (con materia orgánica) es removida y sustituida por suelo inorgánico (arcilla, arena, grava) bien compactado. Capas de arcilla mezclada con estiércol logran cierta estabilización de la superficie, pero tienen que ser renovadas periódicamente, para ser efectivas.
- En el Politécnico de Kassel, en Alemania, se desarrolló un piso de tierra estabilizada apisonada, a base de una mezcla de tierra fina, estabilizada con aceite de linaza: el contenido de arcilla debe ser menor del 15%; sin arena gruesa o grava; por 100 l de tierra seca se requiere de 3 - 4 l de aceite de linaza (dependiendo del contenido de arcilla) diluidos en 1 - 2 l de agua.
- Se requiere varias capas (ver descripción en la página siguiente) y la superficie se puede aplanar apisonándola entre listones de madera, que conforman una retícula cuadrada o pequeños bloques de madera asentados sobre la mezcla de tierra. Como alternativa se pueden usar bloques de tierra estabilizada prensados (hechos en una prensa especial).

Más información: Bibl. 21.10.



Construcción del piso

- Sobre una superficie bien compactada y nivelada, se coloca grava gruesa (15 cm), para impedir absorción por acción capilar.
- Esta se cubre con una capa de 3 a 5 cm de grava fina o arena gruesa y se sella con una membrana impermeable.
- En zonas frías se puede colocar antes, una capa de 10 cm de un aislante (p.ej. nódulos de arcilla expandida).
- La primera capa de suelo estabilizado se esparce uniformemente y se apisona con un pisón manual o con una plancha vibratora.
- Se coloca una retícula (1.80 x 1.80m) de listones de madera aserrada (10 x 10 cm) sobre la primera capa y se rellena con la mezcla de suelo y se apisona.
- Se coloca una retícula (30 x 30 cm) de listones de madera (2 x 4 cm) sobre la segunda capa y se rellena con la última capa y se compacta cuidadosamente. Se pule la superficie con el borde de una llana dándole bastante presión para obtener una acabado brillante.
- Después de varios meses de endurecimiento, la superficie puede ser tratada con una capa delgada de cera endurecedora, logrando una mayor resistencia y protección contra la humedad (si bien, el fuerte olor puede crear molestias).
- En vez de las dos últimas capas de tierra mezclada, se pueden colocar bloques de madera, rejuntados con la misma mezcla.
- Como alternativa también se puede colocar bloques de tierra estabilizada, hechos con una prensa especial (*ver anexo*) en vez de los bloques de madera. En todo caso estos

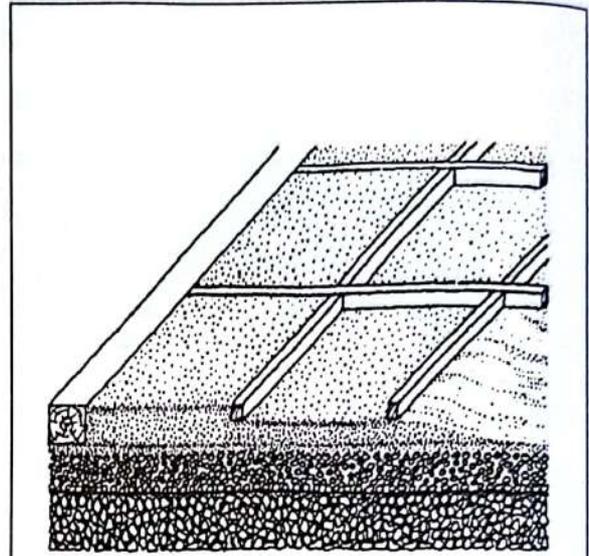


Abb.1

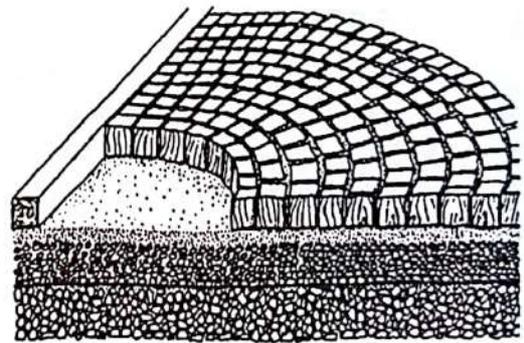


Abb.2

bloques deben ser bien estabilizados (p.ej. con cal o cemento) para que resistan la abrasión y la humedad.

ELEMENTOS DE BARRO COCIDO Y CONCRETO

CARACTERÍSTICAS:

Propiedades especiales	Sistemas de prefabricado simples, construcción rápida
Aspectos económicos	Costos medios a altos
Estabilidad	Muy buena
Capacitación requerida	Albañilería y mano de obra semi-especializada
Equipamiento requerido	Equipo para albañilería y trabajos en concreto
Resistencia sísmica	Buena
Resistencia a huracanes	Buena
Resistencia a la lluvia	Buena
Resistencia a los insectos	Buena
Idoneidad climática	Todos los climas
Grado de experiencia	Experimental

BREVE DESCRIPCIÓN:

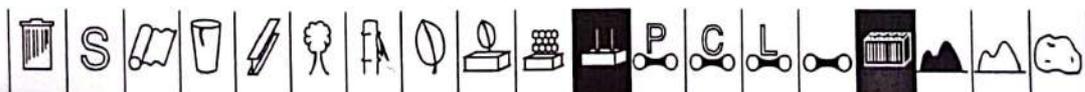
- Estas técnicas de prefabricado para entre pisos fueron desarrolladas para lograr construcciones resistentes y durables con una calidad cercana a la de concreto armado, pero con mucho menos cemento.
- Entrepisos y techos pueden ser construidas con mucho menos encofrados de madera, que para construcciones tradicionales de concreto armado. El menor uso de madera no solo baja los costos, sino también ayuda a preservar los bosques.
- Este tipo de materiales y de construcción son capaces de resistir todo tipo de agentes destructivos, igual que el concreto armado.
- Sin embargo, la implementación de estas técnicas depende de la buena calidad de los ladrillos y de las tejas, requerimiento que no siempre es logrado por los productores de ladrillos locales en zonas rurales.

Más información: Bibl. 00.12, 00.41, 21.03, 21.07, 21.09, 23.12.

!
C
I



In./
cm

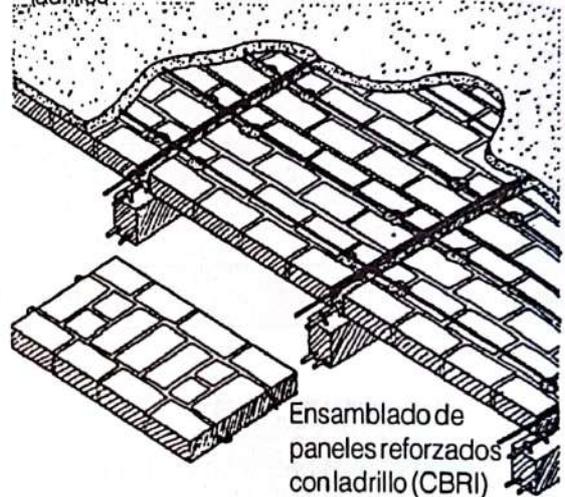


Paneles reforzados de ladrillo

- Estos paneles de ladrillo fueron desarrolladas en la India.
- En principio, los paneles se fabrican ensamblando ladrillos o baldosas de barro cocido sobre una superficie apropiada, colocando barras de refuerzo en las juntas longitudinales y uniendo los componentes con mortero. Se prefabrican viguetas de concreto armado de una sección relativamente pequeña y del largo correspondiente a la luz a techar. Éstas son colocadas manualmente sobre los muros y fijadas a una distancia ligeramente mayor que el largo de los paneles. Se colocan barras de refuerzo a lo largo de las juntas y perpendicular a las viguetas. Se rellenan las juntas encima de las viguetas con mortero de 1:3 (cemento: arena) y se coloca una capa de concreto de aprox. 30 mm de espesor encima del panel, formando así una estructura en forma de "T", actuando la capa superior de concreto como tirante.
- Los *paneles planos*, desarrollados por el "Central Building Research Institute" en Roorkee, son fabricados con ladrillos normales, conformando paneles de 7.5 cm de espesor de 56 cm de ancho y de 104 o 120 cm de largo.
- Paneles similares fueron desarrollados por ASTRA, "Indian Institute of Science" en Bangalore. Usaron tejas huecos extruidos, en vez de ladrillos sólidos, reduciendo así el peso muerto. La altura de la teja de 5 cm también reduce el espesor total del panel y el tamaño de las tejas de 25 x 12.5 cm configura paneles de 40 x 80 cm o 40 x 105 cm con 9 o 12 tejas respectivamente.
- También se puede producir y usar como entrepisos, *paneles en forma de bóveda*. Pueden resistir más carga que los paneles planos, pero requieren más cantidad de concreto para rellenar los vacíos formados por las bóvedas.

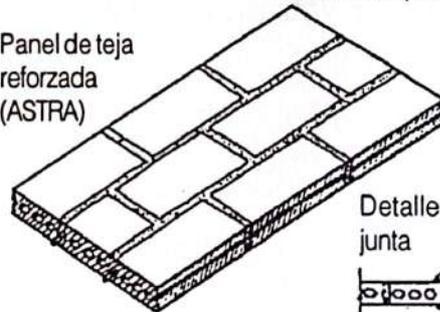


Haciendo paneles de ladrillos.

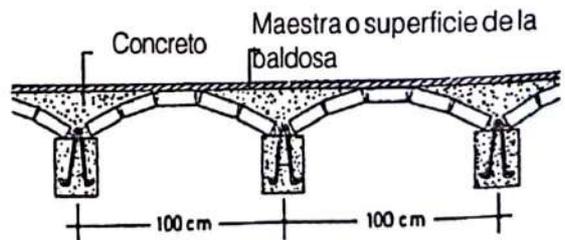


Ensamblado de paneles reforzados con ladrillo (CBRI)

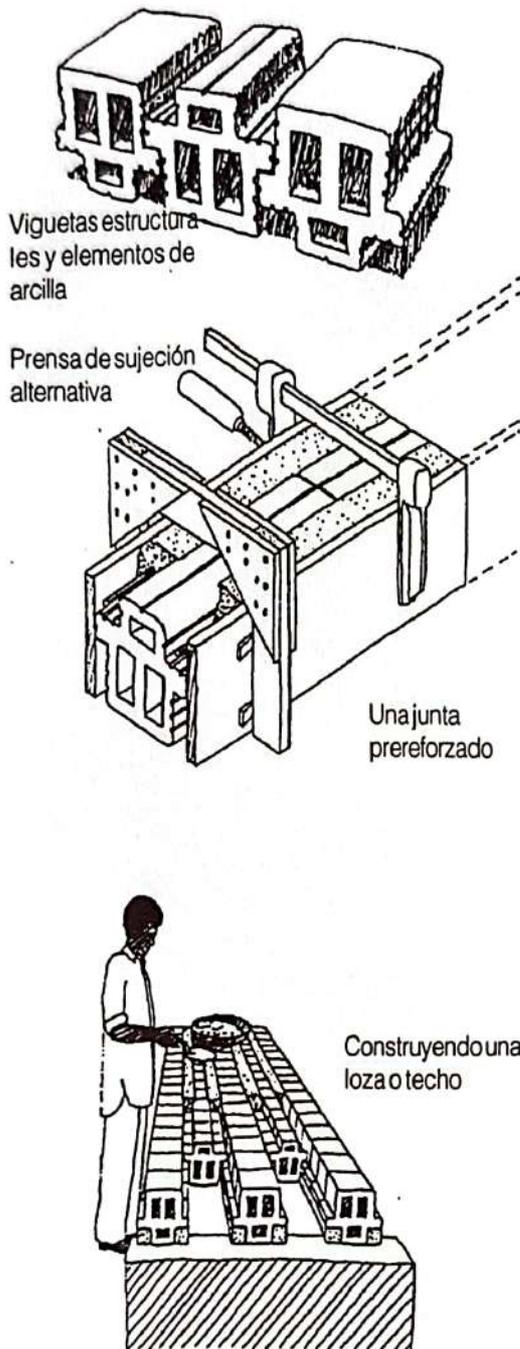
Panel de teja reforzada (ASTRA)



Detalle de la junta

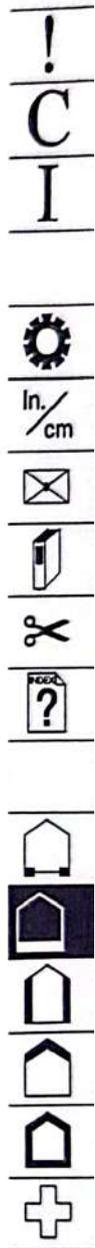


Paneles en forma de bóveda para techos planos o entrepisos



Viguetas estructurales de arcilla y elementos de relleno

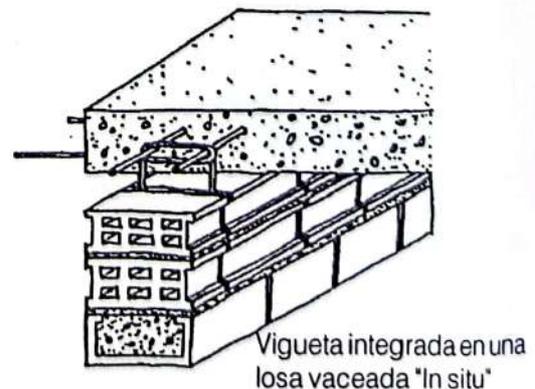
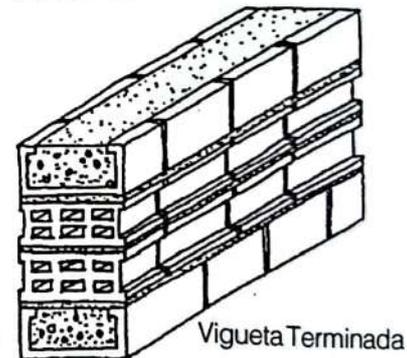
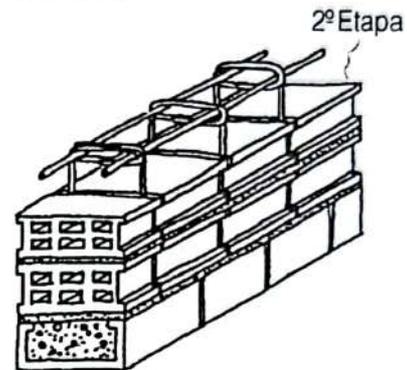
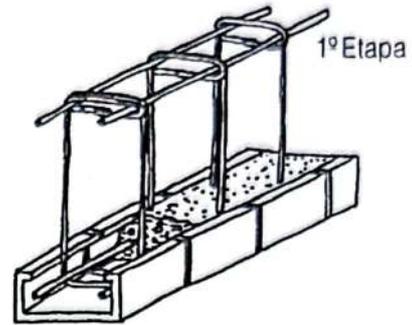
- El bloque de arcilla extruido, que por virtud de su forma puede ser usado como vigueta estructural y como elemento de relleno, y fue desarrollado en el CBRI, Roorkee. Las dimensiones del bloque son de 16.5x 15x 19 cm. Tiene tres huecos rectangulares, y la cara exterior esta ranurada para permitir una mejor adhesión del mortero o concreto.
- Se prefabrica una vigueta, colocando los bloques de barro cocido sobre una superficie plana, en una fila de la longitud deseada, con la base más ancha hacia abajo, y unidos por un mortero 1:3 (cemento: arena). Dos tablas de madera limpias y con una aplicación de aceite son colocadas a cada lado y fijadas con una presilla de sujeción. Los vacíos entre el bloque y el encofrado son rellenos con concreto, donde se han ubicado armaduras de acero. El encofrado puede ser retirado después de 45 a 90 minutos, dependiendo de las condiciones climáticas; las viguetas deben curarse en húmedo durante 7 días y el entrepiso al aire durante 21 días, antes de usarse.
- Para construir el techo, o las viguetas que pesan aprox. 80 a 90 kg. son volteadas y colocadas manualmente en líneas paralelas a una distancia de 30 cm (de eje a eje). Para nivelar y sujetar las viguetas, éstas son colocadas sobre apoyos nivelados de mortero de cemento y arena. Los bloques de arcilla son colocados entre las viguetas como elementos de relleno, con su base ancha arriba y cuidando que las juntas en los elementos de las vigas y las unidades de relleno sean interrumpidas, desplazados los bloques de rellenos medio largo en relación a los de la vigueta. Las juntas y vacíos son rellenos con mortero reforzado y concreto, igual que en la fase de prefabricado de las viguetas, la loza completa se mantiene húmeda por 14 días, antes del acabado de la superficie del piso.



Vigueta compuestas, de concreto armado y ladrillo hueco

- Para reducir el uso de encofrados de madera, que son muy caros y contribuyen a la depredación de los bosques, lo que es ecológicamente inaceptable, se ha desarrollado en la Universidad de Chulalongkorn en Bangkok, un sustituto a la vigueta de concreto armado.
- Tejas de arcilla en forma de "U" son alineados en la longitud requerida y unidas con mortero de arena, formando una canaleta. Se colocan barras de acero longitudinales y estribos en la canaleta y ésta después se llena con concreto. Una o más hileras de ladrillo hueco de arcilla, bien humedecidos, se colocan entre los estribos, conforman el núcleo central de la vigueta. Las juntas son selladas con mortero de cemento y arena. La zona superior de compresión puede ser completada por ladrillos en forma de "U" rellenos de concreto..
- Como alternativa, esta parte superior de la vigueta (inclusive la del centro) se puede completar una vez colocada y como es más liviana se puede instalar manualmente. La parte superior también puede ser integrada en una losa construida "in situ", formando así una estructura en forma de "T".
- Adicionalmente a la facilidad de ejecución, las viguetas compuestas cuestan entre un 11 a un 35 % menos que las de concreto armado, del mismo tamaño y con la misma armadura.

(Fuente: Bibl. 21.09)



ENTREPISOS Y CUBIERTAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN

CARACTERÍSTICAS:

Características	Montaje simple con elementos ligeros
Costos	Medios a altos
Resistencia estructural	Muy buena
Habilidades requeridas	De media a alta especialización
Equipamiento requerido	Moldes de madera o acero y vibradores
Resistencia a terremotos	Buena
Resistencia a huracanes	Buena
Resistencia a la lluvia	Buena
Resistencia a los insectos	Buena
Adecuación ambiental	Aislamiento térmico y acústico en dependencia de las características de la solución
Estado de desarrollo	Tecnología madura

BREVE DESCRIPCIÓN:

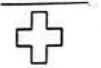
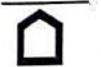
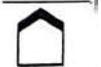
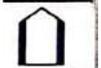
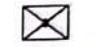
- Se trata de soluciones flexibles que admiten todos los grados de prefabricación e industrialización.
- Sus mayores ventajas residen en el ahorro de encofrados y equipos de izaje, así como en la rapidez de ejecución.
- Requieren adicionalmente de un piso o una capa impermeable según sean entrepisos o cubiertas.
- Aunque las soluciones pueden ser más costosas que utilizando otros materiales, presenta una buena relación calidad- costo, con gran resistencia y durabilidad, así como poco mantenimiento si la producción y montaje se han realizado con el debido cuidado.

Más información: Bibl. 21.01, 21.04, 21.08.

!
C
I



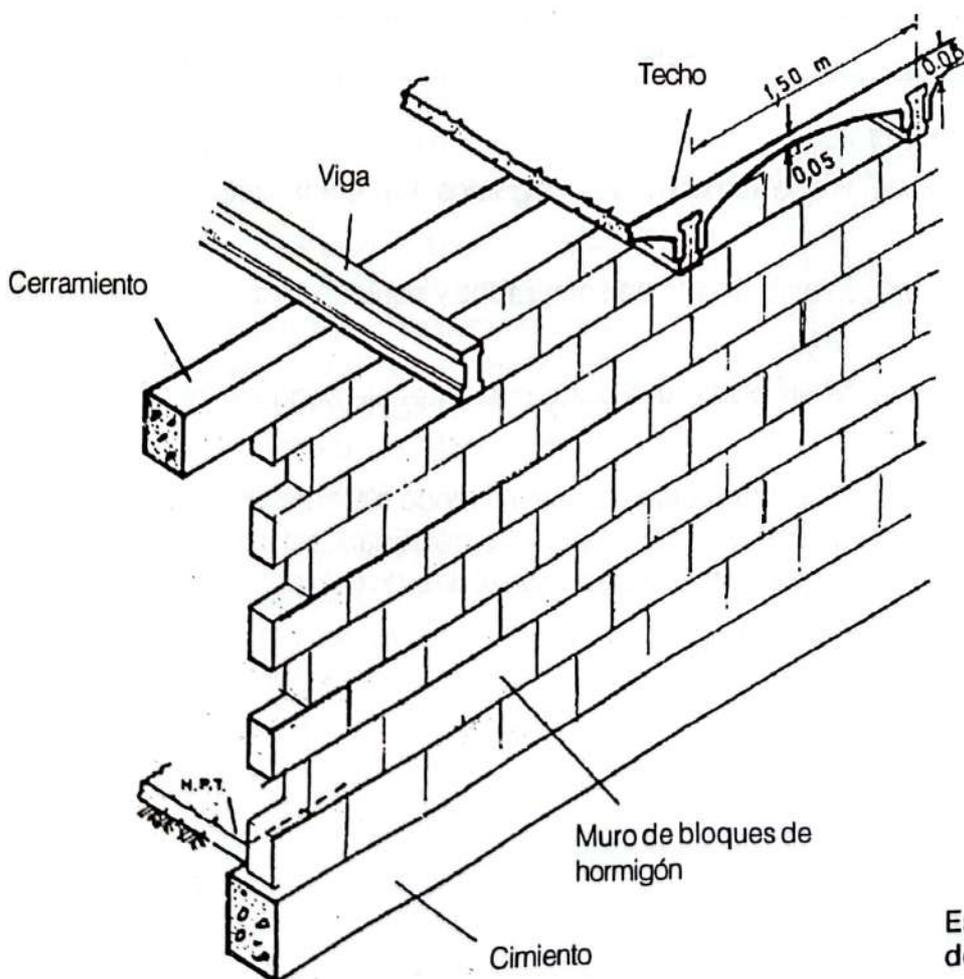
In.
cm



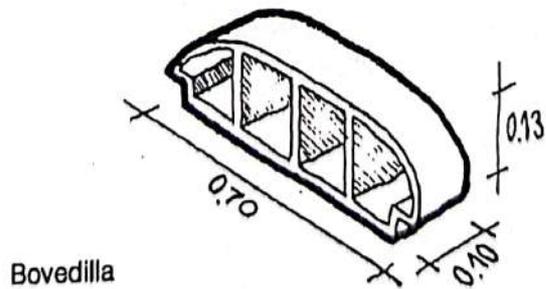
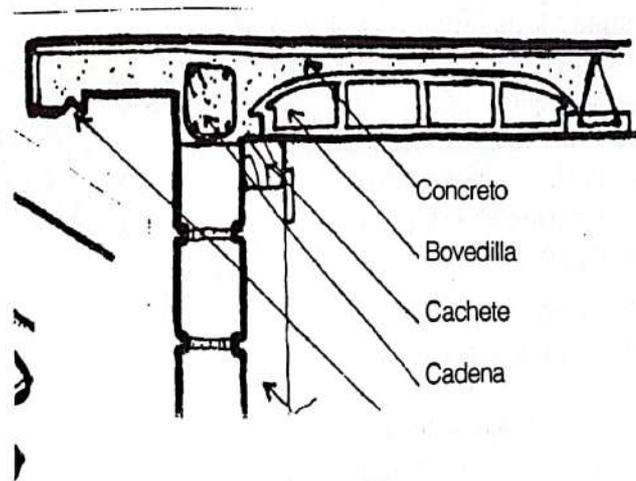
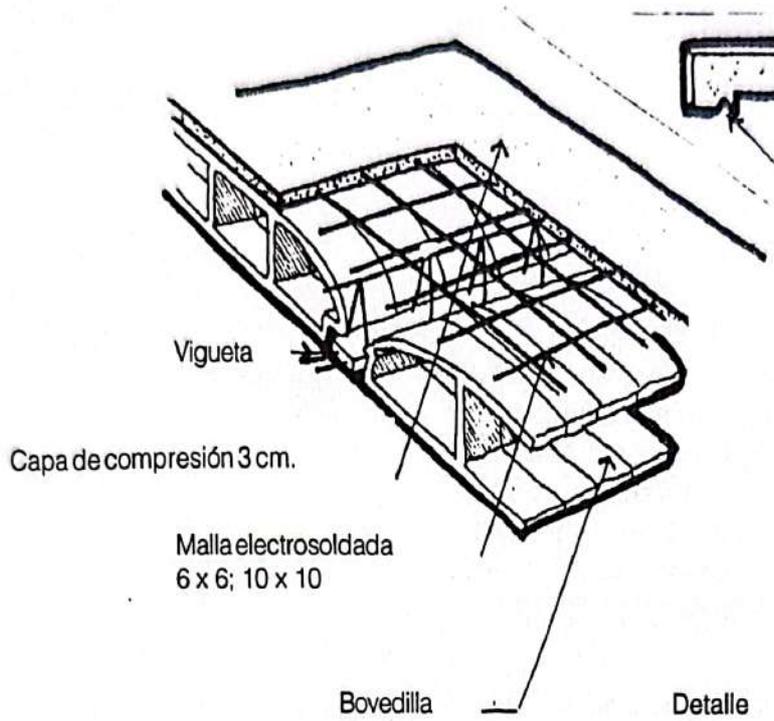
Sistemas con viguetas y bovedillas.

- En los años 60 se utilizó extensivamente en Cuba el sistema Pepsa, concebido en los años 50. Se trata de un techo en el que se prefabrican mediante pretensado las viguetas mientras que las bovedillas que conforman la superficie del techo se construyen en el lugar en forma monolítica. Con este sistema se produce un importante ahorro de madera ya que las bovedillas se construyen con un encofrado deslizante. También se producen ahorros de hormigón y acero ya que las bovedillas se conciben para trabajar a compresión y son de hormigón simple.

- En los últimos años se han desarrollado en varios países dos tipos de viguetas: una, de producción industrializada, preesforzada y de sección prefabricada completa, de diseño internacional pero fácilmente adaptable y otra de fabricación in situ, en la que solo se hormigona previamente la parte inferior de la vigueta. Las producidas para el sistema industrializado pueden tener incorporado un tabique que conforma por debajo, junto con el fondo de la vigueta, un cielo raso. En este caso el aislamiento térmico y acústico es bueno.
- En los gráficos se muestran la solución con vigueta Pepsa y con viguetas in situ muy utilizadas en varios países desarrollados.



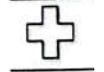
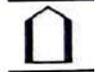
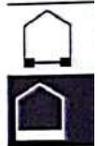
Esquema constructivo del sistema Pepsa



! C I



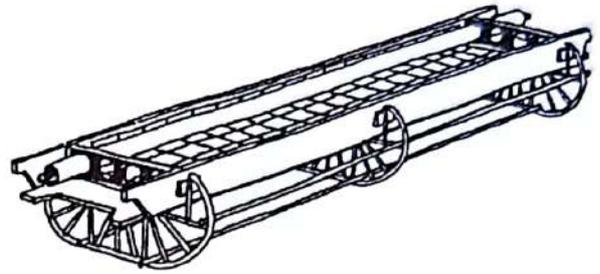
In./cm



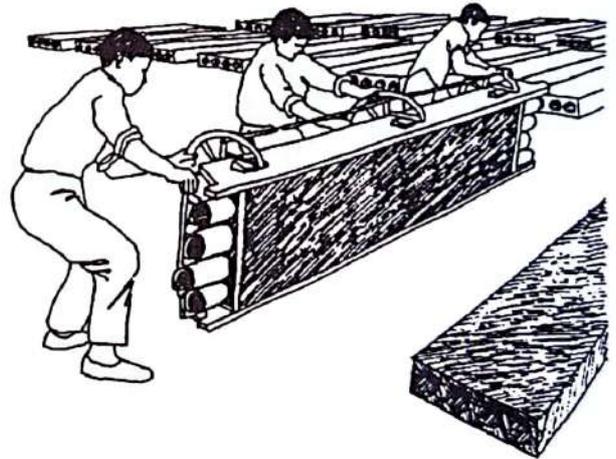
Losa huecas prefabricada (Bibl. 21.08)

- Éste es un método simple para la prefabricación in-situ de losas huecas de concreto armado, con la tecnología desarrollada y usada en China se pueden prefabricar de 20 a 25 losas de 333 x 60 x 12 cm durante un día de trabajo.
- El encofrado de madera se fija a una estructura soldada de acero en forma de cuna que pueda balancearse. Las dos tapas, con cuatro huecos, definen la sección trapezoidal de la losa, que una vez montadas forman entre sí un espacio en forma de "V", que puede ser fácilmente relleno con concreto.
- Se coloca un lienzo dentro del encofrado para evitar que el concreto se adhiera. Se ubica la armadura con la suficiente separación de la futura cara superior de la losa. A lo largo se insertan cuatro tubos de acero, a través de los huecos previstos y se coloca y vibra el concreto simultáneamente, para evitar que se formen bolsas de aire alrededor de los tubos. El concreto se coloca bastante seco para acelerar el fraguado y evitar que colapse cuando se retiren los tubos.
- Después de terminar la colocación del concreto, tres o cuatro hombres giran el encofrado con ayuda de la estructura basculante, en un movimiento continuo, logrando de esta manera que la losa recién vaciada sea depositada sobre el piso cubierto con arena suelta, para evitar la adherencia. Se golpean ligeramente los tubos para ser posteriormente retirados con un "winche" eléctrico.
- El encofrado se retira y nuevamente se ensambla para producir la próxima losa. Un ciclo de producción tarda aprox. 15 minutos, con la ayuda de 3 a 4 hombres.

El molde



Girando el molde



PISOS DE BAMBÚ

CARACTERÍSTICAS:

Propiedades especiales	Livianos, flexibles, reemplazables
Aspectos económicos	Bajo costo
Estabilidad	Mediana a buena
Capacitación requerida	Mano de obra convencional
Equipamiento requerido	Herramientas para cortar y partir bambú
Resistencia sísmica	Buena
Resistencia a huracanes	Mediana a buena
Resistencia a la lluvia	Mediana
Resistencia a los insectos	Baja
Idoneidad climática	Regiones calurosas y húmedas
Grado de experiencia	Tradicional

BREVE DESCRIPCIÓN:

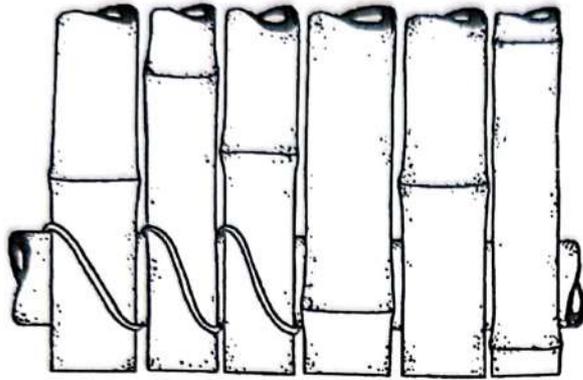
- Los Pisos de bambú son comunes en estructuras de bambú y hasta cierto punto también en viviendas de estructura de madera.
- El método más simple es el de colocar cañas de bambú en paralelo, amarradas a la estructura portante. El piso resultante es muy irregular y no es cómodo para sentarse o pararse mucho tiempo.
- Se logran superficies más planas usando paneles de bambú (cañas cortadas y aplanadas), o cortando la caña de bambú en tiras para tejer esteras.
- Ya que no es posible juntar las tiras o cañas de bambú sin que queden separaciones, los pisos de bambú siempre permiten una buena ventilación, que mejora las condiciones del clima interior y evita acumulación de humedad.
- Se requieren medidas de protección para minimizar los posibles daños provocados por los agentes biológicos y el fuego (ver *MEDIDAS DE PROTECCIÓN*).

Más información: Bibl. 13.02, 13.04, 13.05, 13.09, 13.10, 13.12, 13.13.

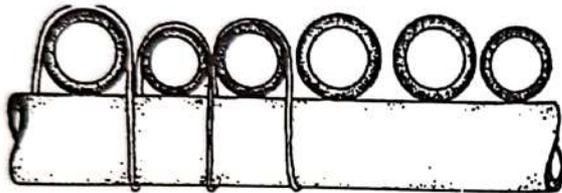


Pisos de bambú (según Dunkelberg, Bibl. 13.02)

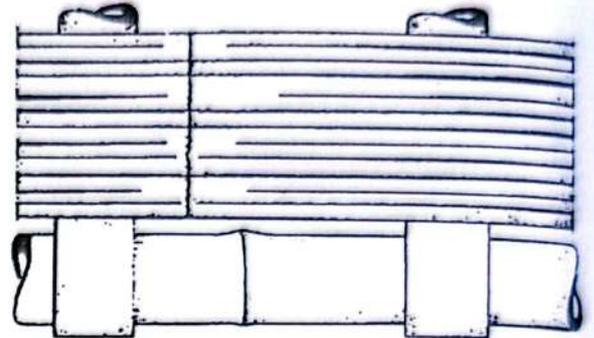
Caña entera



Sección vertical

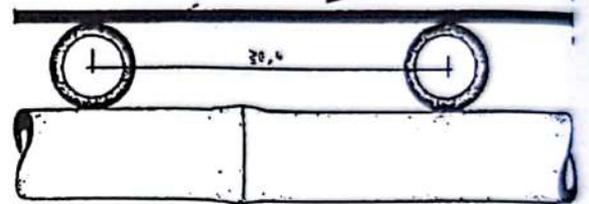


Panel de bambú (caña aplanada)

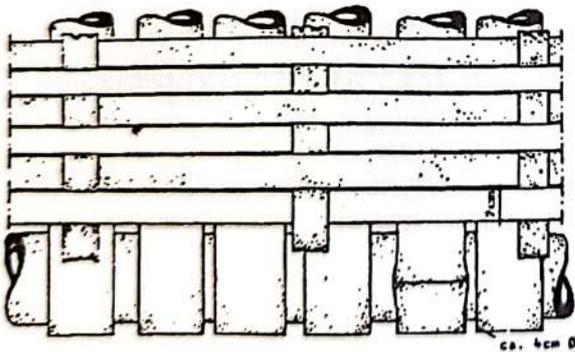


Sección vertical

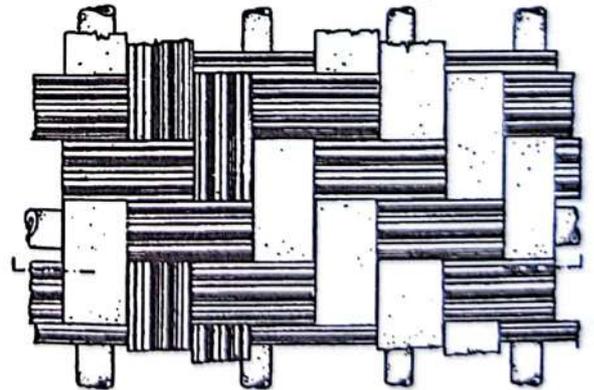
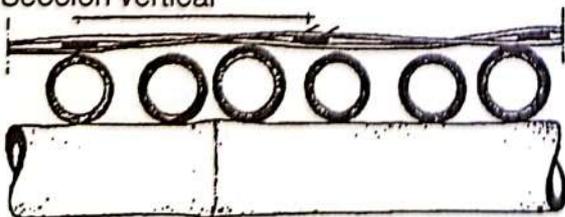
Paneles de Bambú



Pisos de bambú de tiras de bambú tejidas



Sección vertical



Sección vertical

Paneles de Bambú



PISOS DE MADERA

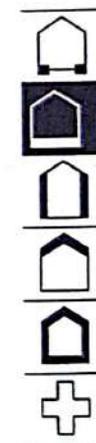
CARACTERÍSTICAS:

Propiedades especiales	Adecuado para prefabricación, ensamblaje rápido
Aspectos económicos	Costos medianos
Estabilidad	Buena
Capacitación requerida	Mano de obra de carpintero
Equipamiento requerido	Herramientas de carpintería
Resistencia sísmica	Buena
Resistencia a huracanes	Baja a media
Resistencia a la lluvia	Baja a media
Resistencia a los insectos	Baja
Idoneidad climática	Climas cálidos y húmedos
Grado de experiencia	Construcción común

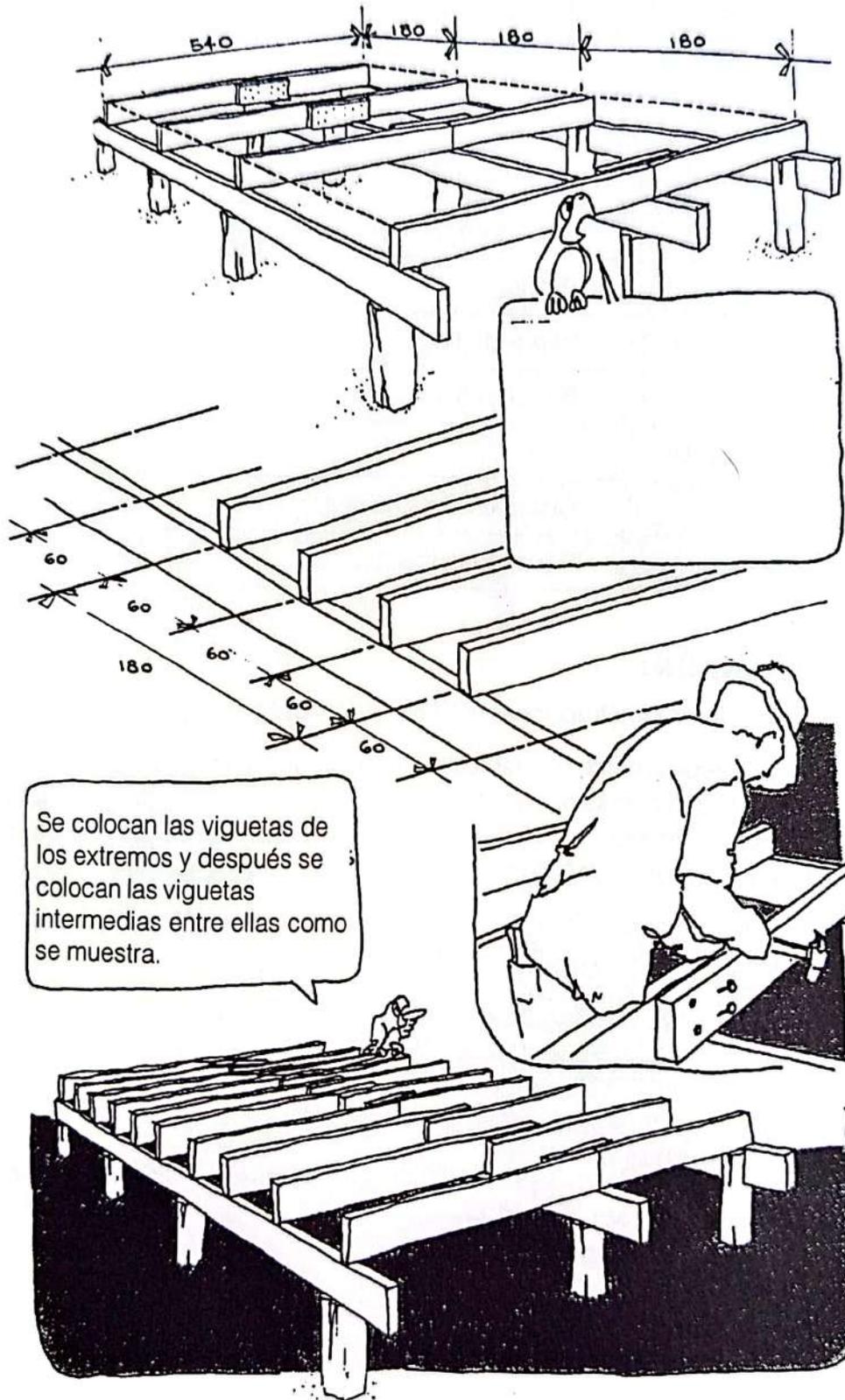
BREVE DESCRIPCIÓN:

- Los pisos de madera son construcciones normales en todo el mundo.
- Éstos se fabrican generalmente con tablas de madera, clavadas sobre una estructura de madera aserrada. Mientras más pequeña es la distancia entre apoyos de la estructura, más resistente es el piso o el entrepiso y hay menor transmisión de la vibraciones y del sonido, pero también los costos son más altos (ya que se requiere más madera).
- Se requieren medidas de protección para minimizar los posibles daños provocados por los agentes biológicos y el fuego (ver *MEDIDAS DE PROTECCIÓN*).
- Las ilustraciones en las tres siguientes páginas forman parte del muy bien ilustrado manual de UNIDO, "Manual on Wooden House Construction", que fuera elaborado por el Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), São Paulo, Brazil, para un proyecto de auto-ayuda en Coroados, Manaus, bajo contrato de la "Housing Society for the Amazon State" (SHAM).

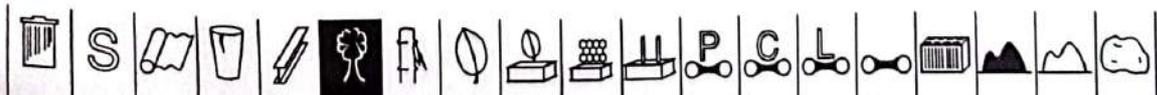
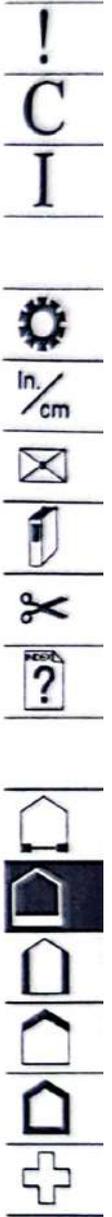
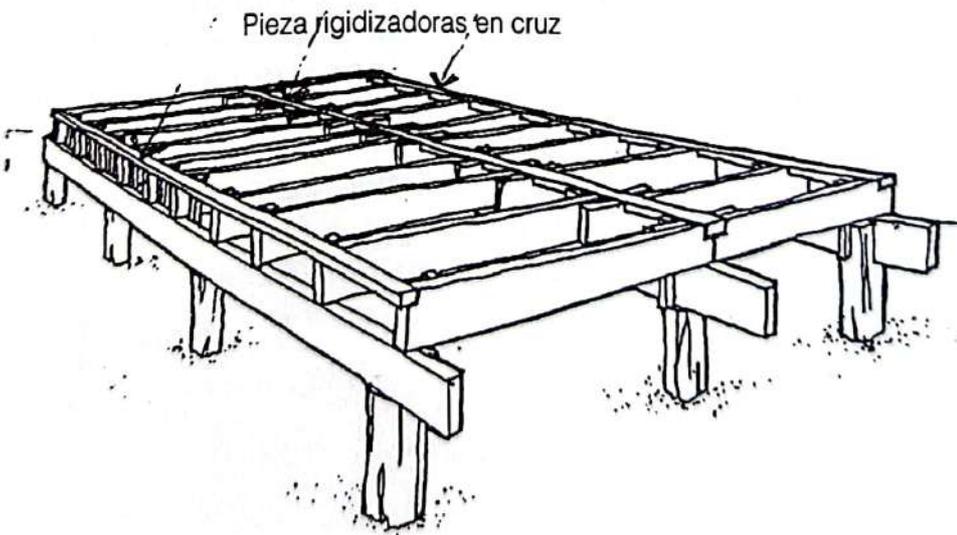
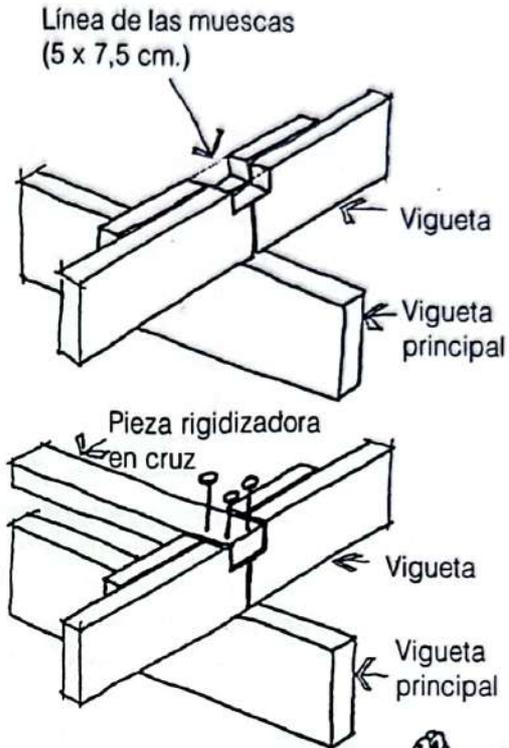
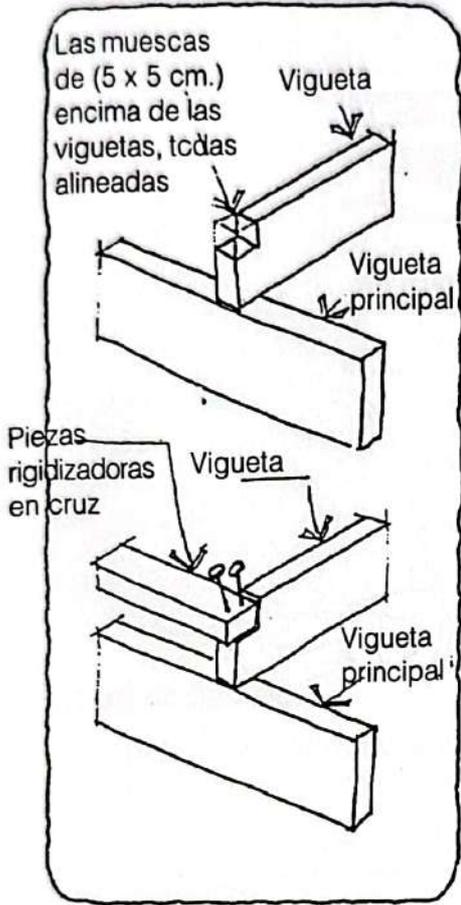
Más información: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo, S.A., P.O. Box 7141, 05508 São Paulo, Brazil; Bibl. 14.22.



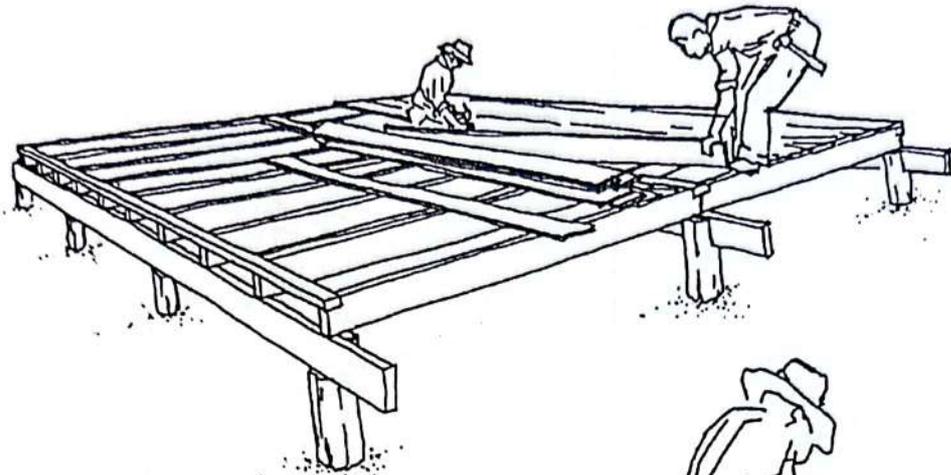
Construcción de pisos de madera (Bibl. 14.22)



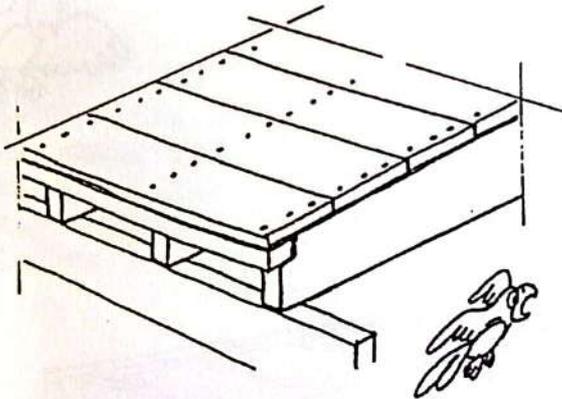
Los espaciadores de las viguetas se elevan como se muestra...



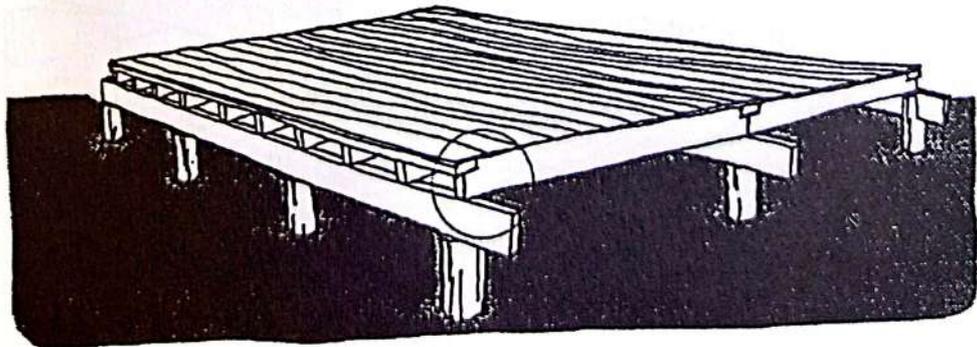
Y finalmente coloque los tableros del piso...



Las juntas de los tableros de pisos deben ser muy herméticas para clavar los tableros del piso use tres clavos de 7,5 cm. sobre las líneas de las viguetas.



Verifique que las esquinas de la plataforma del piso estén bien acabados



PISO DE CONCRETO DE AZUFRE

CARACTERÍSTICAS:

Propiedades especiales	Resistente, durable e impermeable
Aspectos económicos	Costos medios
Estabilidad	Muy buena
Capacitación requerida	Experiencia en el uso de azufre
Equipamiento requerido	Mezcladora convencional equipada con un calentador
Resistencia sísmica	Buena
Resistencia a huracanes	Buena
Resistencia a la lluvia	Buena
Resistencia a los insectos	Buena
Idoneidad climática	Todos los climas
Grado de experiencia	Experimental

BREVE DESCRIPCIÓN:

- Los pisos de concreto de azufre contiene azufre elemental y áridos inorganicos, usualmente grava y arena fina (ver sección sobre *Azufre*).
- El concreto de azufre puede ser preparado in-situ o premoldeado en forma de baldosas de cualquier forma adecuada.
- La construcción in-situ requiere destreza, experiencia y rapidez, ya que el azufre fundido endurece rápidamente cuando se enfría.
- Las baldosas de concreto de azufre pueden ser colocadas sobre una base de arena, igual como las baldosas de arcilla cocida, concreto u otras baldosas.

Más información: Alvaro Ortega, Research Consultant, 3460 Peel Street, Apt. 811, Montreal P.Q., Canada; Bibl. 18.01, 18.04, 18.05, 18.06, 18.07.

!
C
I



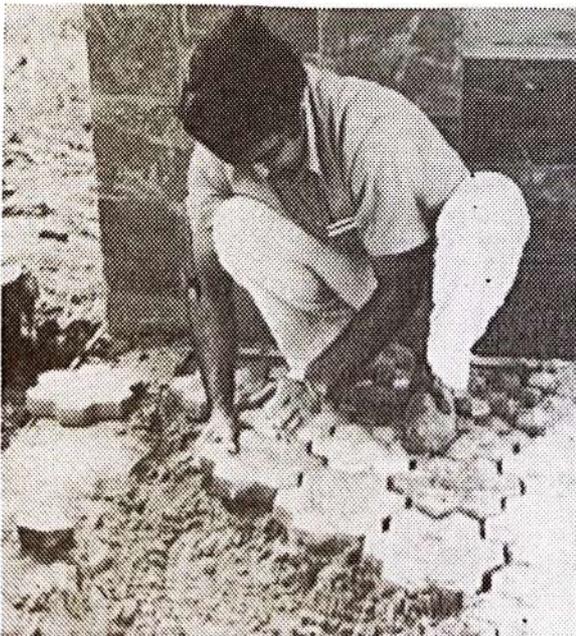
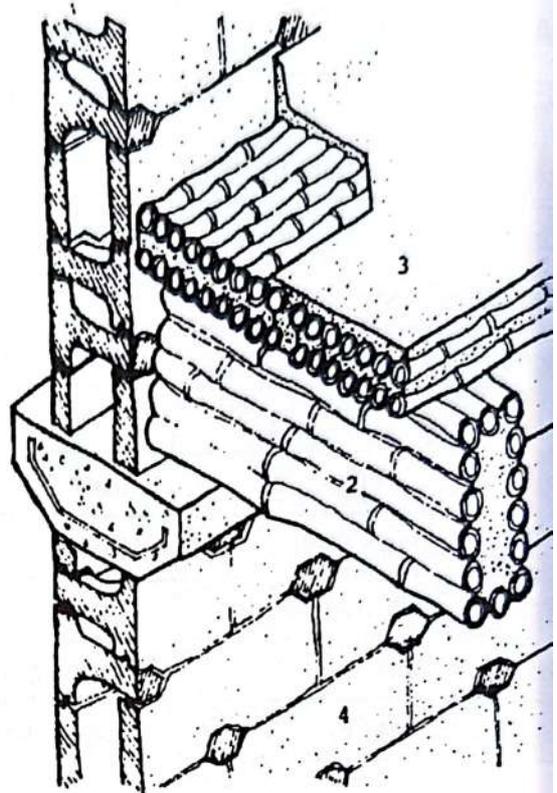
In.
/cm



Pisos experimentales de concreto de azufre

El acabado superficial de concreto de azufre para entrepiso construido de bambú y poliuretano, desarrollado por Christopher Alexander para el proyecto de viviendas económicas en el Perú (PREVI – Proyecto Experimental de Vivienda, concurso internacional patrocinado por Naciones Unidas, el Gobierno Peruano y el Banco de la Vivienda, 1969).

(Bibl. 18.01)



Baldosas de concreto de azufre utilizadas en la operación Ecol (Bibl. 18.06). Las baldosas con un espesor de 5 cm fueron moldeadas en moldes para preparar pasteles y asentadas sobre arena.

ACABADOS USUALES PARA PISOS

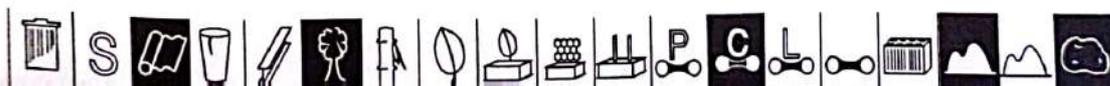
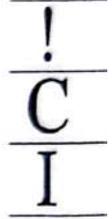
CARACTERÍSTICAS:

Propiedades especiales	Revestimiento del piso de durabilidad mediana a alta
Aspectos económicos	Costos medios a altos
Estabilidad	Muy buena
Capacitación requerida	Mano de obra especializada
Equipamiento requerido	Equipo de construcción estandard
Resistencia sísmica	Buena
Resistencia a huracanes	Buena
Resistencia a la lluvia	Buena
Resistencia a los insectos	Buena
Idoneidad climática	Todos los climas
Grado de experiencia	Construcciones normales

BREVE DESCRIPCIÓN:

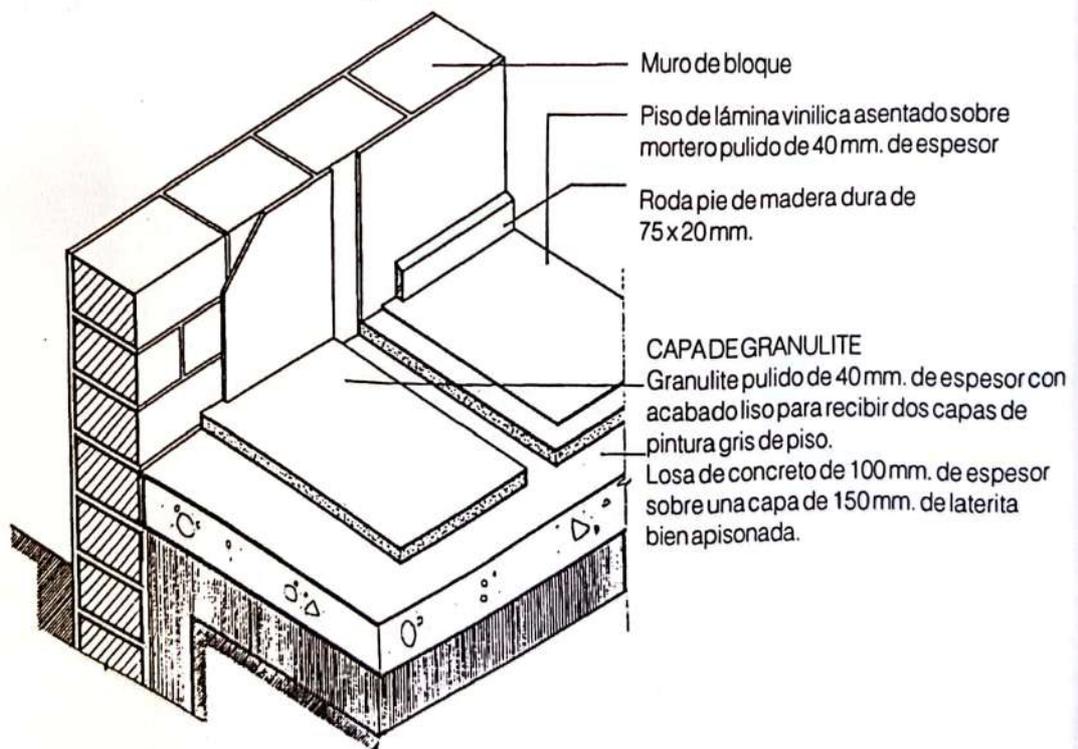
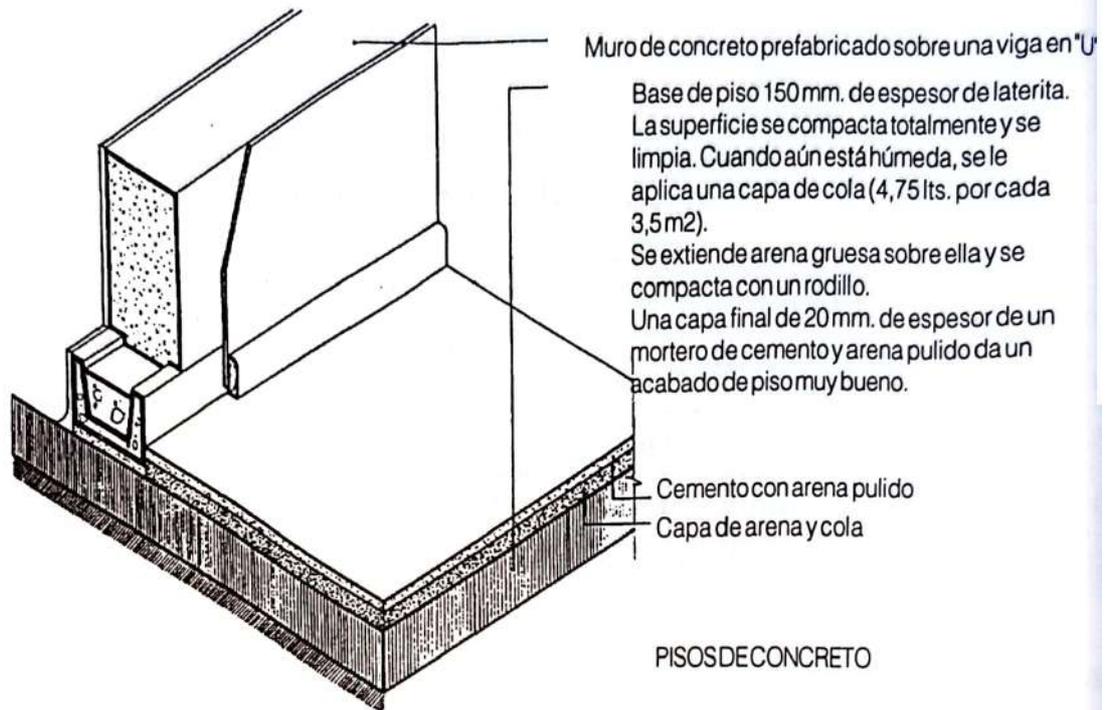
- La función del acabado para pisos, o sea la capa de acabado sobre la losa estructural, ha sido idóneamente resumida en Bibl. 21.11 como sigue:
 - tener una gran resistencia al desgaste y una larga durabilidad;
 - proveer una superficie segura, no deslizante y fácil de limpiar;
 - incrementar la resistencia del piso contra fuego, insectos y termitas;
 - reducir la transmisión de sonido y proveer aislamiento;
 - contribuir a la estética interior de un edificio;
 - tener suficiente elasticidad para absorber ligeras contracciones, asentamientos o movimientos térmicos en la estructura a base del piso.
- Algunos acabados usuales de pisos son ilustrados en las siguientes paginas, acompañados de buenos detalles constructivos.
- Ya que en muchos países un gran número de actividades (p.ej. preparación de los alimentos, cocinar, juegos, encuentro entre amigos) se desarrollan al aire libre (p.ej. galerías, patios, azoteas, etc.) se muestra también un ejemplo de piso de galerías.

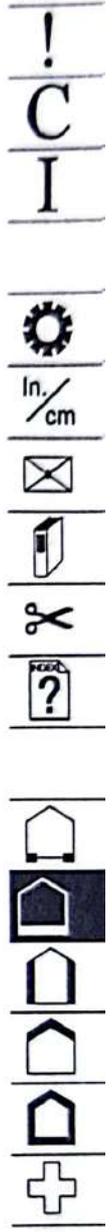
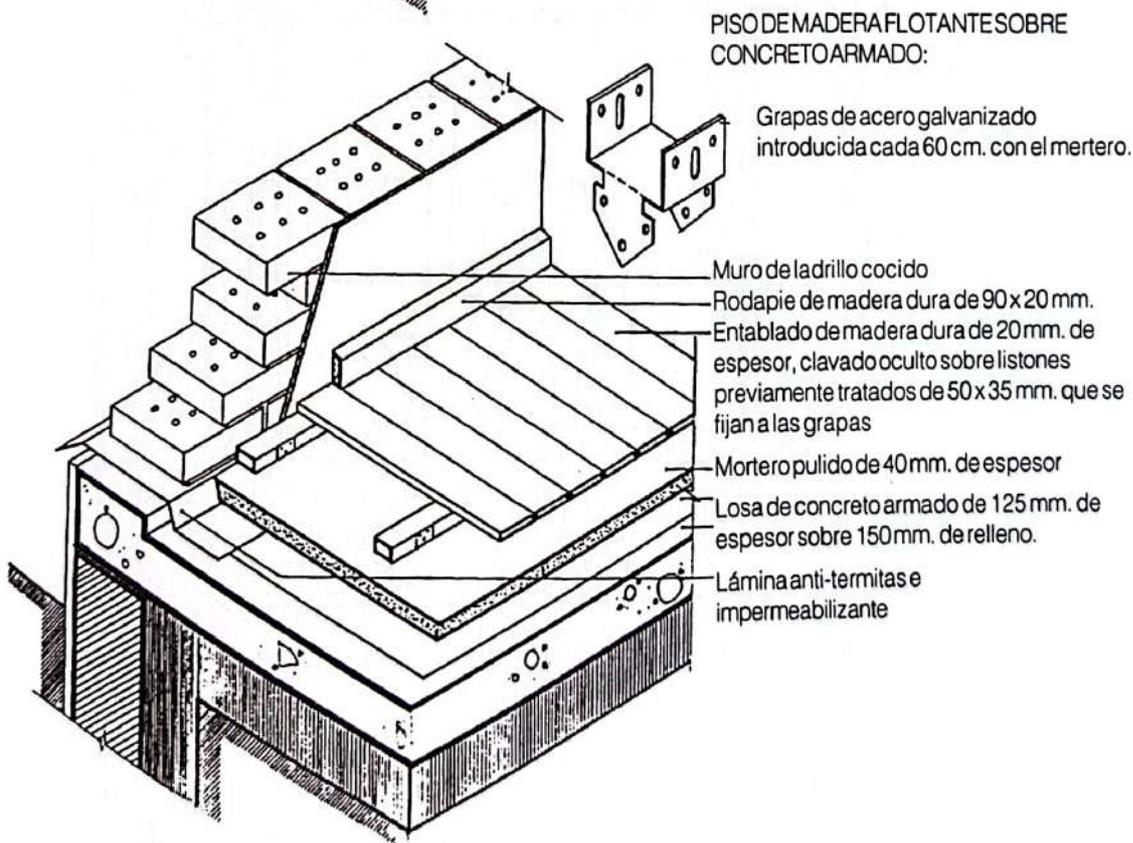
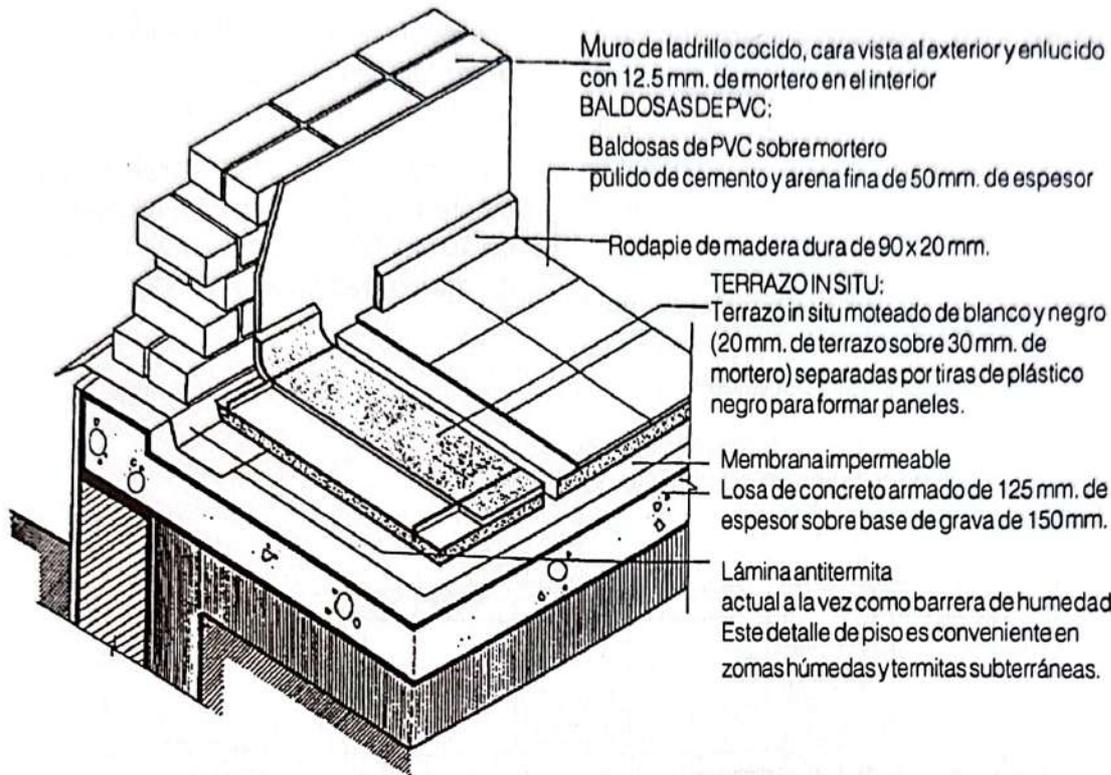
Más información: Bibl. 00.55, 21.11.



Pisos y acabados de pisos (Bibl. 21.11)

Piso de bajo costo para edificios de concreto o de tierra estabilizado.





Relleno para pisos en planta baja

- En terrenos arcillosos o de capa vegetal es preciso extraer una capa de espesor suficiente para que al rellenar con material de mejoramiento, este no sea de menos de 40 cm de espesor.
- Para dar terminación al soporte se utilizará material de origen calizo y grano fino y se realizarán la siguientes operaciones:

- Se marcará en todas las paredes el nivel que tendrá el piso definitivo considerando las pendientes si corresponden.

- Se extenderán cordeles paralelos a las paredes laterales del local y en diagonal, partiendo de los niveles marcados.

- Se extenderá el material de relleno, previamente humedecido, con rastrillos, en capas de 10 cm, las que se apisonarán, hasta alcanzar los niveles establecidos.

