



proyecto hornero

prototipo global de experimentación
construcción con materiales naturales

proyecto hornero

prototipo global de experimentación
construcción con materiales naturales

proyecto financiado por el programa de desarrollo tecnológico préstamo 1293/oc-ur
facultad de arquitectura | facultad de agronomía | universidad de la república
centro de estudiantes de arquitectura | asociación de estudiantes de agronomía
federación de estudiantes universitarios del uruguay

Universidad de la República

Dr. Rodrigo Arocena - Rector

Facultad de Arquitectura

Arq. Salvador Schelotto - Decano

Consejo de Facultad de Arquitectura

Orden Docente: Arquitectos: Andrés Mazzini, Luis Zino, Conrado Pintos, Jorge Schinca, Carlos Debellis

Orden Egresados: Arquitectos: Hugo Pérez, Sergio Florio, Guillermo Rey

Orden Estudiantil: Bachilleres: Juan Ignacio Da Silva, Luis Flores, Ariadna Beorchia

Facultad de Agronomía

Ing. Agr. Fernando García – Decano

Consejo de Facultad de Agronomía

Orden Docente: Dr. Alvaro López, Ing. Agr. Grisel Fernández, Ing. Agr. Clara Pritsch, Ing. Agr. Hugo Petrocelli, Ing. Agr. Gustavo Uriarte

Orden Egresados: Ingenieros Agrónomos: Bruno Lanfranco, Andrés Ganzábal, Juan P. Lorenzo

Orden Estudiantil: Bachilleres: Mariana Scarlato, Javier Mondelli, Joan Manuel Cortizas

Centro Regional Sur

Ing. Agr. (Msc.) Jorge Álvarez - Director

Orden Docente: Ingenieros Agrónomos: Margarita García, Nelson Barlocco

Orden Egresados: Sin designar

Orden Estudiantil: Bach. Gabriel Oyhanzabal

Ing. Agr. Nelson Larzábal - Jefe de Operaciones

Ing. Agr. Pablo Cracco - Asistente de Operaciones

Ing. Agr. Javier Zipitría - Ayudante Jefatura de Operaciones

Programa de Desarrollo Tecnológico:

Cra. Myriam Aldabalde - Coordinadora General

Ing. Quim. Mónica Almansa – Responsable para el proyecto S/C/OP/16/14

Arq. Alvaro Lasnier - Coordinador Facultad de Arquitectura / PDT (Dpto. de Contaduría, Farq)

Proyecto Hornero:

Responsable científico: Arq. José Luis Mazzeo

Asesor de estructura: Arq. Orlando Lasus

Asesor en madera: Arq. María Calone

Asesor en santaría: Ing. Juan Sanguinetti

Capataz de obra: Sr. Nelson Santana

Equipo de obra: Ceferino Aguiar, Agustín Bentancur, Rudemar Fernández, Alejandro Gandini, Pedro Santana y Diego Villarejo (Intendencia Municipal de Canelones)

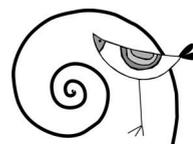
Ayudantes de investigación: Arq. Alejandro Ferreiro, Bach. Javier Márquez y Arq. Leticia Mato. Ayudantes honorarios: Bach. Marcio Aliscan, Arq. Daniel Cal, Lic. Inti Carro, Bach. Candelaria de Tomaso, Arq. Marianne Fellitti, Lic. Clara Márquez, Bach. Leticia Martí, Bach. Lorena Martínez, Bach. Jonathan Núñez, Bach. Fernanda Rissotto y Bach. Irene Rivoir

Transporte: Ruben Cami, Jorge Valiente (Facultad de Arquitectura), Miguel Gettar, Julio Haller, Ricardo Silvera, Daniel Villabona (Facultad de Agronomía), Fabián Milcevic (Centro Regional Sur)

Participantes de talleres prácticos: Adolfo, Adriana, Alejandro, Alicia, Álvaro, Ana, Ana Laura, Andrea, Andrés, Antonella, Aricel, Bruneilde, Bruno, Camille, Camilo, Carina, Carlos, Carmela, Carolina, Cecilia, Cesar, Cristina, Danilo, Darío, David, Delmi, Denis, Diego, Edgar, Eduardo, Elise, Emilio, Enrique, Erika, Ernesto, Eugenia, Eugenio, Fabiana, Fernanda, Fernando, Fiorella, Florencia, Florencio, Gabriela, Gerardo, Germán, Jerónimo, Graciela, Grecia, Guadalupe, Gustavo, Hadriani, Hadrien, Helena, Henie, Horacio, Hugo, Ignacio, Isabel, Ismael, Javier, Jean Pierre, Jesús, Jimena, Joaquín, Johann, Jorge, José, José Ignacio, José Pedro, José Wilson, Juan, Juan Fernando, Juan José, Juan Manuel, Juan Santiago, Juliana, Julio, Kuarahy, Laura, Leandro, Leonardo, Lilia, Liliana, Lisa, Lorena, Lucía, Luciana, Lucy, Luis, Lurdes, Macarena, Magdalena, Maikol, Maite, Marcelo, Marcos, María Esther, María Eugenia, María Gabriela, María José, Mariana, Marianela, Marie, Mariela, Mario, Marisa, Marta, Martín, Matías, Mauro, Mercedes, Micaela, Mirena, Natalia, Nelson, Nenela, Néstor, Nicolás, Norma, Omar, Oscar, Pablo, Paola, Patricia, Patrick, Paula, Pedro, Raquel, Raúl, Ricardo, Richard, Rober, Roberto, Rodolfo, Rosario, Samuel, Sandra, Sandro, Santiago, Sebastián, Silvana, Silvia, Sofia, Stella, Tsangy, Verónica, Victor Hugo, Victoria, Viviana, Walter, Yony...

Participaron del anteproyecto: Bach. Rafael Alanis, Ing. Agr. Javier Bartaburu, Bach. Mariano Beltrán, Ing. Agr. Juan Bertolini, Arq. Carolina Borgia, Arq. Eduardo Brenes, Arq. Alvaro Brito, Bach. Juan Pablo Burla, Ing. Agr. Juan de Mori, Ing. Agr. Silvana Delgado, Bach. Marcelo Fossatti, Ing. Agr. Luis Gallo, Arq. Andrés Gatti, Arq. Eduardo Goichea, Ing. Agr. Nandi González, Bach. Victoria Mara, Bach. Pablo Mígues, Bach. Adrián Mugaruso, Bach. Gustavo Olivera, Bach. Laura Outeda, Arq. Jorge Schinca, Arq. Valeria Seco, Bach. Marcelo Silva, Bach. Susana Torán, Arq. Lourdes Vargas

Colaboraron en distintas etapas: Ing. Agr. Oscar Nóbile, Sr. Ricardo Aguiar y familia, Sr. Robinson Lemos, Sra. María Elida Goldoni, Sr. Ruben Rodríguez y familia, Cátedras, Institutos y Servicios de las Facultades de Arquitectura y Agronomía (Departamento de Clima y Confort en la Arquitectura, Instituto de Construcción, Taller Schelotto, Cátedra de Arquitectura y Tecnología, Proyecto de Extensión Ladrilleros, Centro Regional Sur, Estación Experimental Bañado de Medina, Departamento Forestal y Tecnología de la Madera, Unidad de Microscopía y Medios Audiovisuales, Programa de Producción de Alimentos y Organización Comunitaria, Programa Huertas). Sika, ANCAP, UTE, MTOP, y Ejército Nacional (Grupo de Artillería N° 3, Paso de los Toros y Brigada de Infantería N° 1, Montevideo)



Esta publicación fue elaborada a partir del trabajo de investigación de Proyecto Hornero durante los años 2002 al 2006. Se autoriza la reproducción siempre que la fuente sea citada.

Participaron en este libro: Arq. Alejandro Ferreiro (sistematización y revisión de datos); Arq. Leticia Mato, Bach. Leticia Marti y Bach. Javier Márquez (transferencia); Bach. Jonathan Nuñez (suelos); Bach. Henie Gallino (techos verdes); Lic. Inti Carro (sistemas de humedales); Bach. Irene Rivoir (forestación); Bach. Marcio Aliscan, Arq. Marianne Fellitti, Bach. Lorena Martínez y Bach. Fernanda Rissotto (corrección final). El apartado dedicado a la madera fue elaborado en base a material cedido por la Arq. María Calone

Foto de tapa: muro de tierra alivianada con paja en el prototipo Global de Experimentación de Proyecto Hornero.

Diseño de portada: Alvaro Cantrigliani
Diseño y diagramación: Alejandro Ferreiro

Proyecto Hornero agradece por su colaboración para esta publicación a: Arq. Carlos Debellis, Arq. Rosario Etchebarne, Dr. Arq. Enrique Gonzalo (Argentina), Laboratorio del Instituto de Construcción (Farq), Arq. Stella Maris Latina (Argentina), Dr. Eduardo Martínez Retcher, Ing. Civil Celia Neves (Brasil), Arq. Hugo Pereira Gigogne (Chile), Arq. Alicia Picción (DECCA - Farq), Arq. Rodolfo Rotondaro (Argentina), Arq. Mirta Sosa (Argentina) y Arq. Susana Tocce

Créditos de imágenes de Proyecto Hornero: Inti Carro, Alejandro Ferreiro, Javier Márquez, Leticia Mato, Leticia Marti, José Luis Mazzeo, Jonathan Nuñez, Irene Rivoir, Valeria Seco y Lourdes Vargas. Otras imágenes: Mesa de Vivienda de Facultad de Arquitectura (Fig. 18), Carlos Debellis (Fig. 19 y 78), Rodney Chacón (Fig. 20), María José Imaz (Fig. 68 y 69), Claudia Ferreiro (Fig. 79) y Javier Márquez (Fig. 93 y 94).



INDICE

Introducción	.....	Página 6
Prólogo	.....	Página 7
Capítulo I: Transferencia de tecnología. Fases de trabajo de Proyecto Hornero. Actividades.	.....	Página 8
Capítulo II: La tierra como material de construcción. Situación de la vivienda en Uruguay. Arquitectura y tierra.	.....	Página 24
Capítulo III: Ensayos. Reconocimiento de suelos. El suelo del CRS. Ensayos de campo y laboratorio. Tablas auxiliares. Informes de Laboratorio.	.....	Página 32
Capítulo IV: Técnicas. Madera. Adobe. Tierra alivianada. Fajina. Techos verdes. Revoques. Comportamiento higrotérmico.	.....	Página 59
Capítulo V: Costos	.....	Página 98
Capítulo VI: Acondicionamientos. Sistemas de depuración de aguas. Humedales naturales y construidos. Instalaciones eléctricas y sanitarias. Pavimentos y energías alternativas.	.....	Página 100
Anexo gráfico	.....	Página 108
Bibliografía	.....	Página 121

Introducción

Este Proyecto significó un desafío muy grande para todos los que participamos en él: un desafío de organización, un desafío de coordinación y un desafío de construcción. Las ganas de hacer cosas unieron a muchos y fueron cuatro años de entusiasmo, cambios, compromiso, bronca y dedicación. Esta publicación es el registro de esa locura que proponía construir con la gente un edificio en tierra en un espacio donde se encontrara el saber popular y el académico; donde la extensión universitaria se hiciera ensuciando manos y pies, donde los conocimientos fueran de ida y vuelta, donde las dudas se resolvieran haciendo, equivocándose y haciendo nuevamente.

Si bien durante el proceso se presentaron obstáculos de todo tipo y la construcción del Prototipo en el Centro Regional Sur aún no ha finalizado, consideramos que es válida la sistematización y publicación de los conocimientos obtenidos durante este tiempo. Este libro está dedicado a todos los que aún creen en este Proyecto. Ojalá que sea disparador de nuevas ideas y, especialmente, de nuevas acciones.

Proyecto Hornero, octubre de 2006

Unas semanas después del tornado de marzo del 2002 fue cuando un grupo de estudiantes de agronomía me invitó a participar de una reunión en el local de la AEA, allí conocí al colectivo que constituiría el Proyecto Hornero. Desde un primer momento me atrapé la propuesta, el equipo y quedé comprometido. Este es un típico proyecto en que lo importante no es valorar su punto de partida ni el punto de llegada. Lo importante, lo trascendente es el proceso, el camino recorrido. En este sentido, es un proyecto que rescata los principios centrales de la reforma de Córdoba y las más valiosas tradiciones de la universidad latinoamericana, sin desconocer su pertinencia y actualidad en el Uruguay de hoy.

Solamente por destacar algunos elementos: el proyecto ha operado con un claro sentido integrador en su más amplia acepción, integrador de servicios universitarios, integrador de actores (estudiantes, docentes, vecinos, productores rurales, funcionarios universitarios, carenciados, etc.), integrador de género y generaciones (participaron jóvenes, adultos, niños, mayores, hombres y mujeres), integrador de la teoría y la práctica, de la actividad manual y el saber intelectual e integrador de otras instituciones del medio como la Intendencia de Canelones. Ha reconocido y valorizado el saber popular y una tradición de nuestro hombre de campo y la ha refrescado con los aportes del conocimiento tecnológico, devolviendo a la sociedad un producto nuevo y propio. Apunta a atender un problema central y sentido por todos, como es el de aportar a las soluciones de la vivienda popular. Ha valorizado los recursos naturales como una riqueza y un potencial para la creatividad, apuntando a mejorar el nivel de vida de los sectores con escasos recursos de la sociedad. Ha apuntado a procesos participativos y cogestionarios de todos los involucrados. Ha significado un taller en el más amplio sentido para jóvenes universitarios, y un acercamiento para los estudiantes de arquitectura a la realidad rural.

En estos breves cuatro años han pasado muchos “jóvenes horneros” por el CRS, hoy levantan vuelo; algunos como arquitectos, otros como agrónomos, otros simplemente y no menos valiosos como ciudadanos, todos arquitectos de su destino, todos llevando consigo parte de este barro que amasaron juntos.

Ing. Agr. Alberto Alaggia*, diciembre de 2006

* Director del Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía desde octubre de 1999 a abril de 2007.

Prólogo

En los últimos seis años, algunos departamentos de nuestro país aumentaron más del 100% el número de asentamientos irregulares. Es decir aumentó el número de viviendas, en general urbanas y precarias, construidas sin respetar las normativas, ocupando terrenos, invadiendo retiros, excluyendo a la gente de infinitas redes sociales, vecinales, tejidas de generación en generación.

La ocupación del territorio rural desde fines de los sesenta, se ordenó según ciertas pautas que no estimaron a la sabiduría popular como principal herramienta de desarrollo de las comunidades. El patrimonio intangible de las culturas constructivas, el saber hacer del hombre rural, aún está esperándonos.

En 1997, al publicar el primer libro “Diseño y construcción con tierra”, proponíamos una reflexión a los jóvenes. Les hicimos un desafío a que investiguen, a que se integren a equipos interdisciplinarios, desde una óptica planificadora, diseñadora y creativa. Investigar la tierra como material de construcción desde el laboratorio de la Facultad hasta el pisadero del barro y la paja; en el barrio y en el campo. Investigar desde una perspectiva contemporánea e innovadora, donde el desafío social sea un disparador más de diseño. El diseño como herramienta técnica. La técnica con dirección, con contenido, con convicción de su capacidad como arma poderosa.

El Proyecto Hornero toma este desafío y otros tantos, con una fuerza y un compromiso que permite visualizar a las tecnologías de construcción con tierra, como tejedoras de esas redes sociales que permitan accesos al hábitat. Muy especialmente en el medio rural, es posible sustituir la falta de recursos económicos por capacitación y transferencia de tecnologías. En el campo está (casi) todo, solo necesitamos la actitud.

Veo en este Proyecto, la actitud de cambio, de integrar la propuesta de conocer la tierra, los materiales naturales, investigarlos y al mismo tiempo encarar la gestión y el vínculo interdisciplinario.

La cantidad de jornadas de capacitación con los pobladores del lugar y estudiantes de distintas Facultades, el vínculo institucional con la Intendencia de Canelones y organizaciones sociales aseguran la continuidad de la propuesta.

En los proyectos de investigación PDT 16/14 y 16/15 demostramos que la tierra como material de construcción y como uso innovador de energías renovables, está ocupando la cancha grande. Allí nos encontramos para continuar.

Arq. Rosario Etchebarne *
Octubre 2006

* La arquitecta Rosario Etchebarne es investigadora de la Universidad de la República y coordina un equipo especializado en tareas de capacitación y transferencia de tecnologías de tierra. Es la responsable científica del Proyecto PDT 16/15 de “Montaje de prototipos de vivienda a través de la utilización de tecnologías de tierra: adobe, fajina y BTC”.

CAPITULO I: TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

Introducción

Proyecto Hornero surgió en mayo de 2002 a iniciativa de estudiantes de agronomía y arquitectura de la Universidad de la República, en respuesta a la situación generada por el tornado que destruyó viviendas e instalaciones de unos 1500 productores de Juanicó y Progreso en la zona granjera de Canelones. En esta zona se ubica el Centro Regional Sur (CRS), una estación experimental de la Facultad de Agronomía que también se vio afectada por el tornado. Un grupo de estudiantes de agronomía decidió buscar ayuda de sus pares de arquitectura con la finalidad de reconstruir la casa que usaban como alojamiento en el CRS y que luego del tornado prácticamente había desaparecido. Las condicionantes que se proponían eran que la nueva casa fuera construida con tierra y materiales naturales y que además tuviera un costo mínimo debido a que no había recursos económicos disponibles. La propuesta lentamente comenzó a crecer en objetivos y se propuso utilizar las tecnologías con tierra como posible solución para recuperar viviendas e instalaciones productivas de la zona. La nueva casa de estudiantes se concibió como un prototipo donde experimentar con la construcción con tierra y una buena excusa para realizar transferencia de tecnología junto a los vecinos de la zona.

La forma inicial de trabajo fue simple y se basó, en primera instancia, en recabar datos e información sobre las tecnologías que se adecuaban a las condicionantes del medio. Se eligieron a priori diferentes aspectos generales de la construcción con tierra y se investigó sobre éstos temas en sub grupos. Luego en reuniones improvisadas en algún rincón de la Facultad de Arquitectura o en el local de la Asociación de Estudiantes de Agronomía (AEA) se presentaba lo investigado. De esta manera se fue conociendo más de la tecnología, sumado al armado de una bibliografía básica compuesta por algunas publicaciones de arquitectos extranjeros pero también de experiencias nacionales, como de la arquitecta Rosario Etchebarne desde la Regional Norte de la Facultad de Arquitectura o la arquitecta Cecilia Alderton.

“...Primero nos pusimos un nombre: “Proyecto Hornero”, para imitar a la noble ave que hace su nido de barro. Después tuvimos un logo que nos identificaba. Más tarde tuvimos un proyecto y golpeamos infinitas puertas tratando de conseguir recursos para materializarlo. Estábamos un poco locos e idealistas cuando nos propusimos la reconstrucción de la casa y hacerlo con los materiales disponibles y con la gente del lugar. No sabíamos cómo lo íbamos a hacer pero nos animamos a soñarlo. A decir verdad, no teníamos una formación sólida en el tema pero contábamos con las herramientas necesarias para investigar y aprender. En esa búsqueda por conocer más del tema encontramos a José Luis y con él a nuestro querido Santana...”

CAÓTICA SITUACIÓN EN EL CRS

Estadística elaborada con datos producidos en Canelones debido al tornado registrado el pasado 17 de marzo al qual se le Centro Regional Sur (CRS), estación experimental de Facultad de Agronomía ubicada en la zona.



mo, lo mismo que la AEA, pero y vivienda estudiantes a trabajar en junta técnica de diseño de esta modo se podía el compromiso y la certidumbre de mucho antes hacia una zona regional comprometido con la realidad nacional, aunque no todos lo creían de esta manera. El agobiamiento o todo esa gente que sufría se comprometió con la reconstrucción del CRS, se desde este aspecto, porque considero que las relaciones académicas son una herramienta importante para una liberación comprometida con el país.

Esto es una realidad que vive el CRS y la zona en su conjunto marca un antes y después de ese tarde de domingo.

Alan Barrios

El tornado que se originó en San José en la localidad de Kopy se dirigió hacia el este pasando por el departamento de Canelones (Juanicó, Progreso, San Jacinto, etc.) donde tuvo mayor intensidad, rapidez y destrucción tanto que se le imputa a su paso, llegando a una velocidad de 200 kilómetros por hora. Los daños ocasionados por esta furia de la naturaleza en algunas zonas, casi insuperables dejaron a pequeños granjeros a su deriva, aproximadamente 1500 productores por su zona (dependiente la totalidad leve a la organización de la zona, formación varias comités de crisis: San Jacinto, San Carlos, etc.) con apoyo de organizaciones sociales.

El Centro Regional Sur se encuentra por el límite entre Progreso y Juanicó. Los estragos ocasionados en la instalación, fueron tales que se “voló” de casi todas las casas y granjerías, destrucción por completo de la instalación (construida no hace más del 1 año) y de la instalación de la Asociación de Estudiantes de Agronomía también pérdidas de viviendas, raciones alimentarias de los granjeros y campesinos con toda la información de varios años, entre muchas otras pérdidas más.

Siempre antes de construcción y sacrificio que, cuando empezamos en los días 20 minutos, junto con el diseño del grupo humano que trabajó día a día comprometido con el desarrollo mismo y regional del proyecto del CRS dando se compromiso con la plena calidad de la construcción (Estructura, Investigación y Externado).

La respuesta, en todos el estado de emergencia y reconstrucción de la instalación del desarrollo y comunidad por parte de gran sector del diseño impulsando por el apoyo financiero por parte del gobierno y la ayuda del sector tanto el primer de estudiantes en el lugar. También se apoyó las demás, relaciones, experiencias de muchas colaborando con trabajo e insu-



Fig. 1: Artículo sobre el tornado que afectó al Centro Regional Sur (CRS), publicado en Animalitu e' Dios de la Asociación de Estudiantes de Agronomía (AEA), abril de 2002.

De acuerdo a la bibliografía consultada, las técnicas de construcción con tierra tenían el potencial como para ser utilizadas en el CRS, solo había que profundizar más en los aspectos técnicos y conocer con qué tipo de tierra se contaba en el lugar. En este momento es cuando se contacta y se invita a incorporarse al grupo, a quien luego sería el responsable científico del proyecto, el arquitecto José Luis Mazzeo, que además de su trabajo docente contaba con experiencias particulares sobre construcción con tierra. También se contactó a otros docentes e institutos de las Facultades de Arquitectura y Agronomía para tener asesoramiento en acondicionamiento natural, estructuras en madera y acondicionamiento sanitario.

“...Pasaron muchas horas de investigar entre libros, de contactar gente con experiencia en la construcción con tierra, horas de discusiones, gran cantidad de cartas, dentro del ámbito académico y fuera de él, puertas que se cerraban y otras que se abrían. Nuestras reuniones empezaron en salones de la Facultad, en el estanque, en los pasillos, en el CEDA, en la AEA...”

Paralelamente se debía realizar el anteproyecto arquitectónico de la nueva casa de estudiantes. Con ese fin se organizaron una serie de reuniones para definir más concretamente cómo sería el edificio. Allí se comenzó a concretar el programa arquitectónico y el diseño general entre los estudiantes de arquitectura y agronomía, mediante ejercicios proyectuales a modo de esquicios colectivos. El diseño del anteproyecto también tuvo en cuenta el análisis de las tecnologías más viables en cuanto a su replicabilidad en la zona de Progreso. De la casa de estudiantes original de unos 30 m² se terminó definiendo una construcción de casi 300 m², donde además de alojamiento se preveía locales para reuniones, zonas de estudio y una zona de servicios. En este proceso, que llevó al menos tres meses, los estudiantes de edades diferentes y diferentes grados de avance en la carrera, vivieron una experiencia de proyecto única, donde intercambiaron y proyectaron todos juntos, con un rigor y un compromiso que se ve ampliamente plasmado en el resultado final. Como se indica en el artículo “Bioarquitectura: diseño e investigación”¹ de José Luis Mazzeo en el año 2003, “...como docente tutor, y de común acuerdo con el grupo de estudiantes, les propuse que nuestra experiencia no terminara en el aprendizaje de una técnica, sino en poder concretar el proyecto con los criterios de diseño integral (...). Y ese desafío, aun sin realizar la obra, se ha cumplido. Creo que es el camino para que la Facultad profundice mediante esta síntesis de diseño, viabilidad constructiva y acondicionamiento exterior natural, el diseño integral que la sociedad reclama...”.

En el correr del año 2002, además de la investigación de aspectos técnicos y la realización del anteproyecto arquitectónico, se comenzó a gestionar una posible financiación aunque no se tenía muy claro de donde iba a salir. Durante los dos primeros años de trabajo, al grupo inicial



Fig. 2: Tejado provisorio de la casa de la AEA para su uso como galpón de obra, agosto de 2002.

Fig. 3: Estado del casco principal de CRS luego del tornado, setiembre de 2002.

se incorporaron nuevos integrantes de varias facultades, gracias a presentaciones realizadas en distintos centros universitarios para contagiar las ganas y sumar. La difusión también fue realizada en programas de radio, televisión, diarios y revistas para extender la invitación a participar y no encerrarse dentro del ámbito académico. En octubre de 2002 se puso en funcionamiento el primer sitio en internet de Proyecto Hornero² que comenzó a recibir varias visitas de personas interesadas en el tema, no solo en el Uruguay sino también desde otros países. Este sitio fue uno de los referentes de difusión por facilitar la comunicación directa de posibles interesados en participar. A medida que transcurrían los meses, el grupo se consolidaba como tal y estructuraba su forma de trabajo.

El Proyecto desde su comienzo fue muy ambicioso ya que pretendía la construcción de la casa para estudiantes, realizar una investigación en el tema de la construcción con tierra y además generar actividades de transferencia tecnológica a la población de la zona. Para poder abordar este panorama tan amplio, fue necesaria una organización interna coordinada. Se conformaron varias comisiones responsables de distintos temas, desde la sistematización de cada una de las actividades realizadas hasta la relación con el medio y con las instituciones, pasando por detalles constructivos y la captación de recursos. Estas comisiones se nucleaban en una reunión coordinadora una vez a la semana.

En febrero de 2003 se presentó el Proyecto a la convocatoria N° 16 del Programa de Desarrollo Tecnológico (PDT) para proyectos de investigación científica y/o desarrollo tecnológico en el área energía³, bajo el tema de estrategias de construcción y arquitectura bioclimática y con el objetivo principal del proyecto de "...apoyar el desarrollo o la mejora de procesos o tecnologías..."⁴. Anteriormente el Proyecto había sido presentado a llamados de apoyo económico para actividades de extensión en el marco del plan de emergencia en los años 2002 y 2003, convocados por la Comisión Sectorial de Extensión y Actividades en el Medio (CSEAM) de la Universidad de la República. En ninguna de estas oportunidades el Proyecto había quedado seleccionado.

Se transcribe a continuación el texto original del resumen del Proyecto presentado al PDT:

"El Proyecto Hornero está constituido por estudiantes y docentes pertenecientes a las Facultades de Agronomía y Arquitectura de la Universidad de la República, con el apoyo de otros servicios universitarios conformando un grupo único de trabajo. Los Objetivos Generales planteados son: el conocimiento, la experimentación, el rescate y la transferencia de técnicas constructivas sustentables, la generación de un espíritu crítico sobre la problemática de la vivienda rural, el trabajo interdisciplinario, participativo y autogestionado y la realización de un prototipo global de experimentación de diferentes técnicas, principalmente la construcción en tierra, el tratamiento natural de efluentes y techos verdes, además del uso de energía solar. Reivindicar la construcción en tierra como una técnica saludable, económica y sustentable, coherente con la realidad socioeconómica del medio rural, con excelentes calidades de confort y sin limitaciones en cuanto al diseño. Mediante la participación de diferentes actores tanto del medio académico como del medio rural en la elaboración del prototipo, se busca una acción interactiva de aprendizaje y práctica real que permita la conformación de un conocimiento permanente y útil. La replicabilidad de este modelo permitirá reducir el desmantelamiento del sector productivo rural, incentivar la utilización de fuentes de energía renovables como estrategia económica y ambiental, y el tratamiento adecuado de efluentes como respuesta a una situación sanitaria de real emergencia."

A finales del 2003 se recibió la comunicación de que el Proyecto había sido aprobado por el PDT y permitiría la materialización de la construcción bautizada como Prototipo Global de Experimentación (PGE). La financiación posibilitaba también la adquisición de bibliografía especializada, la realización de actividades de transferencia y la dedicación de horas docentes para la coordinación de todas las tareas relacionadas con el Proyecto, que hasta el momento habían sido honorarias. Por problemas burocrático-administrativos, el dinero para comenzar el

trabajo tardó más de lo esperado en estar disponible y la ejecución efectiva comenzó en julio de 2004.

Las opiniones de los evaluadores del PDT concluyen que "...el proyecto responde a objetivos tecnológicos sustentables en lo constructivo para el sector productivo rural, con un gran potencial en formación de recursos humanos, por la activa participación de estudiantes universitarios de varias disciplinas. (...) El contar con un prototipo experimental permitirá testear la sistematización del proceso constructivo, posibilitando también un modelo demostrativo, que podrá ser utilizado para interesar a empresas e instituciones relacionadas con la construcción de viviendas sociales, en la incorporación de estas tecnologías económicas y sustentables."

"...Después de casi un año de estar trabajando se hacía cada vez más lejana la posibilidad de encontrar financiación para concretar las cosas. Marcelo había enviado un mail a la casilla de Hornero con las bases de un llamado a proyectos de investigación. Demoramos un par de días en abrirlo, leerlo y darnos cuenta que entrábamos en el perfil del llamado. Unos días antes de que venciera el plazo, nos juntamos a definir algunas – muchas – cosas. La noche anterior al cierre, aún había que terminar de discutir y redactar. Nos quedamos toda la noche en la casa de Leticia con Javier, el Araña, Alejandro, José Luis, Eduardo, definiendo, discutiendo y revisando miles de papeles... A la mañana siguiente hubo relevo para llevar todo a la oficina del PDT donde había que entregar las cosas. El presentarnos a este llamado implicó una decantación y síntesis extremadamente enriquecedora de todos los objetivos que el proyecto se había planteado a lo largo de esos dos años, así como una maduración del anteproyecto arquitectónico, de las metodologías y dinámicas de trabajo. Casi diez meses después, durante el 6º Seminario de Arquitectura en Tierra que se desarrollaba en la Intendencia de Montevideo, ingresamos al sitio web del PDT y allí nos enteramos que estábamos preseleccionados y al otro día se confirmó la financiación".

El Proyecto se estructuró básicamente en tres fases de trabajo:

1. investigación / exploración
2. construcción del Prototipo Global de Experimentación (PGE) y transferencia tecnológica
3. sistematización de procesos y monitoreo de resultados, y difusión de la experiencia y sus conclusiones

La fase 1 comenzó desde que se formó el equipo de trabajo en el 2002 y continúa hasta la fecha. La fase 2 comenzó en el año 2004 con los primeros talleres teórico – prácticos de transferencia y continuó en el 2005 y 2006 con la construcción del PGE. La fase 3 se está llevando a acabo actualmente, y este libro es parte de las actividades de difusión y conclusiones. La sistematización de procesos fue realizada durante todas las fases.

Fase 1: investigación / exploración

Dentro de la primera fase se realizó, previo a la financiación, un encuentro en el CRS entre los estudiantes que estaban formando parte del Proyecto. Este taller se llevó a cabo los días 29 y 30 de junio de 2002 y participaron 15 personas. Muchos de los participantes concurrían por primera vez al lugar por lo que fue la oportunidad real de conocer el sitio de implantación. Como forma concreta de acercamiento al uso de la tierra como material de construcción se hicieron ensayos de campo simples y se generó un intercambio entre las disciplinas de arquitectura, agronomía y también de biología. Además se elaboraron distintas piezas de muestra de varias técnicas: adobes, fajina, rollos de tierra y paja. Durante ese fin de semana se puso en práctica los conocimientos teóricos asimilados hasta ese momento y se identificaron aciertos y errores en los procedimientos realizados. Se recomienda ver los detalles de los ensayos en el capítulo correspondiente.

El día 28 de junio de 2003 se organizó una convocatoria a productores rurales y vecinos de la zona, coordinada junto al CRS en el Club Progreso, apoyados en medios de comunicación masivos, locales y nacionales para difundir la jornada. La concurrencia superó las expectativas del grupo y se acercaron unas 25 personas entre las cuales habían productores de huertas comunitarias, viticultores, profesionales, ediles departamentales y representantes de la comisión de afectados por el temporal de 2002. El objetivo de esta presentación fue generar un primer acercamiento a la población de la zona.

“...aquella tarde de invierno estaba muy gris, fría y lluviosa. Habíamos organizado una reunión con vecinos de la zona de Progreso para explicarles el proyecto e invitarlos a participar. El día seguía horrible y durante el viaje hasta Progreso le dije a Irene en tono pesimista: “Con que vengan cinco o seis personas yo me conformo, ¡mirá el día horrible que nos tocó!”. Al bajar del ómnibus de agronomía nos venció la realidad: no había cinco personas, habían cerca de treinta personas esperando la charla...”

Fase 2: construcción y transferencia

Una vez aprobada la financiación se pudo comenzar con la segunda fase y organizar jornadas abiertas a todos los interesados en el tema. Bajo la consigna “...Todo está listo: el agua, el sol y el barro, pero si falta usted no habrá milagro...” comenzó la convocatoria para participar en los talleres de transferencia tecnológica.

Los talleres se constituyeron como un ámbito de aprendizaje y práctica concreta de las técnicas de construcción en tierra, que permitían tanto la enseñanza dentro del ámbito académico como la transferencia tecnológica, rescatando, revalorizando y mejorando el acervo cultural existente sobre la arquitectura bioclimática en el ámbito rural. Estas jornadas buscaban consolidar un equipo de trabajo en obra lo más homogéneo posible en conocimientos teóricos y prácticos, dando difusión al Proyecto⁵ y creando una base de datos de interesados en el tema de la construcción con materiales naturales para participar de todas las etapas de la obra. La metodología de trabajo, se basó en la acción participativa para convertir la experiencia en un laboratorio abierto, generando eslabones en la cadena formada por el equipo de investigación, productores rurales y estudiantes, para realizar la transferencia y su posterior replicabilidad. Esta metodología buscaba generar un compromiso basado en la cooperación y el reconocimiento de los saberes existentes que revalorizaría la experiencia de los participantes. Estos saberes se confrontaban con referentes teóricos a modo de desafiar y cuestionar, posibilitando un análisis crítico de los mismos. Esto no implica que esos conocimientos tuvieran que ser cambiados, y si cambiaban, sería como consecuencia del aprendizaje y no por imposición.



Fig. 4 y 5: Taller en el CRS organizado por los estudiantes que participaban de Proyecto Hornero. En la primera imagen se puede apreciar la construcción de una estructura de cañas para hacer un panel de fajina. junio de 2002

“...Algo teníamos claro, queríamos fomentar la responsabilidad en el manejo de la tierra como material de construcción, para evitar errores que pudieran alimentar prejuicios sobre esta tecnología. Queríamos además construir un grupo de trabajo con conocimientos sólidos, generar una visión crítica, un grupo semilla para sembrar en otras partes, sin aplicar la técnica como receta. En este sentido, previamente a la materialización de la casa de estudiantes, realizamos presentaciones y talleres teórico-prácticos dirigidos tanto a estudiantes universitarios como a productores de la zona, como introducción a la técnica y como base para la formación de un grupo de trabajo...”

Las jornadas de trabajo se realizaron los días sábado, desde primeras horas de la mañana hasta la caída del sol. Se organizaban con un equipo de coordinación fijo y distintas cuadrillas de trabajo rotativas. En todas las jornadas se buscó combinar los aspectos prácticos apoyados en conceptos teóricos. Las actividades durante el día se dividían en tres partes:

- a) La explicitación de conceptos de la etapa de materialización en curso. Información sobre las tareas realizadas en jornadas anteriores; resultados parciales esperados al final de la jornada de trabajo; actividades a desarrollar durante el día, forma de trabajo, materiales y herramientas a utilizar y aspectos de seguridad a tener en cuenta para el correcto desarrollo de las tareas.
- b) Charlas teóricas y desarrollo de las tareas prácticas.
- c) Cierre de jornada, evaluación de dificultades, dudas y conclusiones.

Durante el año 2004 se realizaron tres talleres teórico – prácticos los días 24 de mayo, 26 de julio y 18 de diciembre que sumaron un total de 149 personas participando. Estos talleres se basaron en conocer la tierra como material de construcción y elaborar algunas piezas en adobe y tierra alivianada. En las tres jornadas se dedicó dos horas a exponer los conceptos teóricos y luego, durante el resto del día se realizaron actividades prácticas. La cantidad de personas estimadas se basa en un número global considerando una sola vez a aquellas personas que concurren en más de una oportunidad.

“...En los talleres trabajamos en base al concepto de bidireccionalidad que, en definitiva, buscaba descubrir el conocimiento entre todos, el rescate de saberes, la generación de un espacio de intercambio. Sobre la transferencia tecnológica entendíamos que ésta no podía limitarse a enseñar para copiar, sino que queríamos capacitar para permitir adecuaciones, cambios, desarrollos, con autonomía para que quienes recibieran el conocimiento no quedaran prisioneros de él, sino que al contrario, se adueñasen de sus posibilidades. Y así hicimos nuestras las palabras de Paulo Freire: “Conocer no es el acto, a través del cual un sujeto transformado en objeto, recibe, dócil



Fig. 6: Vista general del CRS y del lugar de implantación del Proyecto próximo al tajamar y a la casa de la AEA que fue afectada por el tornado, agosto de 2002.

y pasivamente, los contenidos que otro le da o le impone. El conocimiento, por el contrario, exige una presencia curiosa del sujeto frente al mundo. Requiere su acción transformadora sobre la realidad. Demanda una búsqueda constante. Implica invención y re invención... En el proceso de aprendizaje sólo aprende verdaderamente, aquel que se apropia de lo aprendido, transformándolo en aprehendido, con lo que puede, por eso mismo, reinventarlo. Por el contrario, aquel que es llenado, por otro, de contenidos cuya inteligencia no percibe, de contenidos que contradicen su propia forma de estar en su mundo, sin que sea desafiado, no aprende."

Durante ese mismo año, se ajustó el anteproyecto y se elaboraron los recaudos gráficos para el proyecto ejecutivo. Se incorporaron al equipo el arquitecto Orlando Lasus como asesor de estructura, la arquitecta María Calone como asesora de construcción en madera con la colaboración de la bachiller Susana Torán y el ingeniero Juan Sanguinetti como asesor de sanitaria. También, en forma paralela se realizaron gestiones ante distintas instituciones públicas para obtener apoyo ya que la financiación del PDT era parcial y no cubría todos los rubros. En este marco es que se gestiona a través de la Facultad de Arquitectura una donación de cemento portland por parte de ANCAP para la cimentación y ante la Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE) para obtener la madera necesaria para la estructura principal. Por su parte la Facultad de Agronomía aportó desde la estación de Bañado de Medina en Cerro Largo, la madera para la estructura secundaria y para las aberturas. También la Facultad de Agronomía y la Facultad de Arquitectura aportaron los medios de locomoción necesarios para el traslado de los participantes.

En este proceso se presentaron distintos obstáculos administrativos, financieros y operativos que generaron retrasos sobre el cronograma de ejecución del Proyecto pero también la desmotivación de buena parte del grupo de trabajo, dada la necesidad de tareas adicionales de gestiones y operativos que no estaban previstos. Entre esas tareas, se considera la más importante la falta de cumplimiento del acuerdo por parte de la Facultad de Agronomía en cuanto al suministro de la madera estructural, que obligó a buscar otros actores que la suministraran en forma de donación. Esta madera no estaba prevista en el presupuesto original como tampoco estaban previstos gastos importantes en cuanto a transporte de madera aserrada desde la Estación Experimental Bañado Medina a 400 km. al noroeste de Montevideo, que finalmente este Proyecto tuvo que asumir. De esta manera, la obtención de la madera estructural se retrasó un año más de lo esperado. Desde marzo de 2005 se realizaron contactos para su obtención sin modificar los presupuestos originales. La madera utilizada finalmente fue donada al Proyecto por parte de UTE y llegó a Progreso después de una gestión no menos complicada que incluyó al Ministerio de Transporte y Obras Públicas, la Administración de Ferrocarriles del Estado y el Ejército Nacional.



Fig. 9: Presentación del Proyecto a vecinos de Progreso y Juanicó en el Club Progreso, junio de 2003.

Fig. 10: Talleres teórico-prácticos en el CRS durante el año 2004 dónde se realizaron actividades de introducción a la tierra como material de construcción con ensayos y ejemplos de componentes constructivos.

La estructura de trabajo del grupo se reorganizó de manera de poder abordar las tareas que implicaba la obra, la sistematización de procesos y la gestión administrativa. Los roles para llevar a cabo esto estaban distribuidos de la siguiente manera:

Rol	Tareas asignadas
Responsable científico	coordinación general y articulación
Control de proyecto	metrajes, resolución de detalles constructivos y contacto con asesores
Obrador	coordinación de cuadrillas, tareas, materiales y herramientas
Conector	coordinación de los recursos humanos para cumplir las tareas de obra
Logística	coordinación de traslados de personas y materiales al CRS
Contactos	convocatoria a personas e instituciones interesadas en participar
Transferencia	coordinación de material de apoyo para los participantes
Sistematización	registros de avances, piezas y ensayos
Recursos	gestión de recursos materiales y contacto con las instituciones
Administración	gestión de recursos financieros

En el mes de marzo de 2005 se realizó el replanteo del PGE con la colaboración del agrimensor Oscar Nóbile. A partir de junio del mismo año, se comenzó una larga etapa de cimentación. El ritmo de trabajo era de una vez por semana con estudiantes, vecinos y todas aquellas personas interesadas en participar y colaborar de una de las etapas más duras en cuanto a lo físico pero también a lo psicológico, ya que todo el trabajo realizado iba quedando enterrado y no se veían los avances. Además de las tareas de cimentación, las actividades prácticas se basaban en producir distintas piezas a modo de ensayo para ajustar dosificaciones para la elaboración de adobes y bloques de tierra alivianada. En forma paralela se realizaron ensayos en el Laboratorio del Instituto de Construcción de la Facultad de Arquitectura (LabIC).

A fines de 2005 se realizaron dos cursos cortos consecutivos; los días 8, 15 y 22 de octubre sobre producción de adobes y los días 29 de octubre, 5 y 12 de noviembre sobre tierra alivianada con las variantes de bloques, paneles y apisonado. Al igual que las jornadas del año 2004, ambos cursos fueron estructurados en dos partes. La primera parte de información técnica de los procedimientos constructivos a experimentar, evaluando sus características para la construcción, su valoración del punto de vista de la aislación térmica, su incidencia en el ahorro energético y su apropiación como técnica para la autoconstrucción. La segunda parte se basó en la realización práctica con materialización de los componentes y puesta en obra. En todos los casos se otorgó material gráfico elaborado especialmente para estos talleres. Las actividades de participación fueron realizadas los días sábado con una carga horaria de entre 6 y 8 horas de trabajo, fueron abiertas a todos los interesados en el tema y sin costo alguno para los participantes.

En noviembre de 2005 se comenzó el trabajo diario de lunes a viernes con un capataz de obra y el apoyo de personal de la Intendencia Municipal de Canelones (IMC) en el marco del convenio entre el CRS y la Comuna Canaria. La estructura de madera se comenzó a ejecutar en diciembre de 2005 y continuó en el verano de 2006. Es recién a partir de abril de ese año que se retoman las jornadas de trabajo sobre construcción con tierra, ya que las tareas del personal de IMC quedaron restringidas a la culminación de las tareas de cimentación y posicionado de los elementos estructurales.

Dentro de las dificultades que se presentaron para el normal desarrollo de las actividades, la disminución de las frecuencias de transporte que proporcionaron las facultades de Arquitectura y Agronomía en determinados períodos para el traslado de los participantes hasta el lugar, también incidió en inconvenientes para el cumplimiento de algunas tareas y el consecuente retraso de cronograma. En determinados períodos de 2005 a 2006 la cantidad de jornadas mensuales se

vio reducida debido a la falta de transporte. Los períodos más críticos fueron en noviembre-diciembre de 2005 y setiembre-octubre de 2006, cuando no se pudieron realizar jornadas. El ser parte de un organismo como la Universidad de la República y estar vinculado con otras instituciones públicas se reconoce como una gran oportunidad pero también como una limitante, al depender de ritmos que muchas veces son más lentos que los esperados.

Durante el año 2006 se trabajó en forma continua los días sábado, elaborando adobes, bloques, paneles y levantando muros de tierra, con una participación promedio de 8 personas por jornada. Estas actividades no se centraron en un tema en particular, como el caso de las jornadas de 2004 y 2005, sino que incluyeron múltiples tareas exclusivamente prácticas, donde la justificación teórica de los por qué de las tareas iba surgiendo al aparecer interrogantes de ejecución y dudas constructivas en la obra. La participación del equipo de investigación pasa a tener un rol de dirección de obra y la coordinación de tareas, materiales y transporte para las actividades de los días sábado.

Fase 3: sistematización y difusión

El seguimiento de todas las etapas del Proyecto ha sido una constante a lo largo de los años de trabajo. Se realizaron registros escritos y gráficos basados en fichas, planillas, fotografía y video. En las jornadas realizadas en los años 2004 y 2005 se entregó a los participantes una ficha para que aportaran sus datos y poder conocer al público al que se estaba llegando. La información contenida en este libro es producto de ese trabajo constante.

Los sucesivos retrasos impiden que en esta publicación se presenten resultados de evaluación en cuanto al monitoreo del Prototipo durante su fase de uso y a lo largo de un año, tal cual estaba considerado originalmente. Se entiende que ese monitoreo constituirá una segunda etapa de investigación a partir del modelo terminado. Esta publicación se encuadra dentro de los resultados durante el proceso de construcción y no del período de uso. La elaboración de un informe acerca de la experiencia, entre los destinatarios y el equipo de investigación, si bien no constituye el cierre de la intervención, se considera como la apertura para nuevas propuestas.

Conclusiones

La transferencia de las técnicas utilizadas, apuntaba originalmente a la replicabilidad del sistema en la población afectada por el tornado en el año 2002. Si bien la situación de emergencia después de un par de años, ya no existía como tal, se mantuvo esta hipótesis como método de trabajo.

Uno de los sectores al que se pretendió llegar fue a la población demandante de vivienda en la zona, apoyándose en la experiencia del CRS en proyectos de extensión local. Aunque en las etapas previas a la construcción se habían realizado charlas en la ciudad de Progreso con productores rurales, ediles locales y miembros de organizaciones sociales de distintos asentamientos irregulares de la zona, el Proyecto no logró involucrar de manera activa a la población local de Progreso, Juanicó y Las Piedras. Desde Proyecto Hornero se considera que la principal falla radicó en no haber explotado al máximo las redes de comunicación que el CRS tiene en la zona.

Desde fines del 2005 la Intendencia Municipal de Canelones ha manifestado su apoyo a este Proyecto y se espera que a través de su área social se convoque a la población que habita en asentamientos irregulares para participar de las jornadas de transferencia. La Intendencia además brindaría apoyo logístico para permitir el traslado físico de estas personas hasta el CRS. La coincidencia de objetivos con dicha comuna, ha permitido que el proyecto se incorpore a las prioridades de actividades con la población. Por lo tanto, habrá una segunda etapa del proyecto, que se iniciará luego de cumplida la fase actual, que permitiría consolidar la transferencia

tecnológica en forma permanente trascendiendo el proyecto inicial, y adoptar el PGE como centro de referencia para la realización de actividades sociales que extenderán la práctica hacia la sociedad. Hasta el momento, esto no se ha concretado.

Jornadas año 2004 ⁶ :	3
Participantes:	149 personas
Sexo:	Mujeres 42% - Hombres 58%
Edad:	32 años - promedio
Origen:	Montevideo: 87% - Canelones ⁷ : 10% - Otros: 3%
Formación:	Estudiantes: 38% - Construcción: 6% - Profesionales: 6% Tareas rurales: 8% - Otras ⁸ : 42%
Jornadas año 2005 ⁹ :	6
Participantes:	109 personas
Sexo:	Mujeres 54% - Hombres 46%
Edad:	31 años - promedio
Origen:	Montevideo: 86% - Canelones ¹⁰ : 8% - Otros: 3% - Extranjeros: 3%
Formación:	Estudiantes: 53% - Construcción: 10% - Profesionales: 10% Tareas rurales: 8% - Empleados: 8% - Artesanos: 5% Comerciantes: 3% - Formación técnica: 3%
Jornadas año 2006 ¹¹ :	24
Participantes:	65 personas
Sexo:	Mujeres: 49% - Hombres: 51%
Edad:	29 años - promedio
Origen:	Montevideo: 78% - Canelones ¹² : 10% - Otros: 4% - Extranjeros: 8%
Formación:	Estudiantes: 73% - Profesionales: 11% - Construcción: 8% Tareas rurales: 4% - Artesanos: 4%

Participación en jornadas, período marzo 2004 – diciembre 2006. Se consideran datos globales.

La participación en las jornadas tuvo sus puntos fuertes en los períodos donde se realizaron cursos sobre temas o técnicas concretas, con un promedio de 45 personas por jornada. Se detecta esa necesidad de información y espacios donde aprender y aprehender la construcción con tierra. En todas las jornadas se realizaron registros de los participantes y se formó una base



Fig. 11 y 12: Proceso de cimentación durante el año 2005, las imágenes corresponden a los trabajos de excavaciones para cimientos durante los meses de agosto y setiembre de ese año.

de datos que junto a quienes se han contactado con el Proyecto a través de presentaciones o del sitio en internet suman más de 450 personas. Analizando los datos de quienes han participado activamente, se puede ver con claridad que en las jornadas no hay una paridad total en la participación de ambos géneros pero que las actividades permitieron la integración de hombres y mujeres por igual a las tareas. Se trabajó con una población relativamente joven ya que un gran porcentaje de los participantes se ubica en el tramo de edad de entre los 21 y 40 años. Con el transcurso de los años el promedio de edad fue descendiendo de 32 a 29 años. Si bien gran parte de los participantes se dedican a actividades que no están relacionadas con la construcción o a la arquitectura, es de destacar la participación de estudiantes y profesionales de esta área como referentes durante el proceso, por su previa acumulación de conocimiento en la materia. Igualmente, el proceso de transferencia tecnológica permitió la apropiación del conocimiento también por quienes no estaban vinculados al área de la construcción, por lo que no tener un determinado bagaje de conocimiento no significó una dificultad.

Al contrario de lo esperado, la mayoría de los participantes son residentes de Montevideo y no es la población local la que se ha integrado en mayor medida a la propuesta. En primer lugar cabe cuestionar la capacidad del Proyecto de poder dar respuesta a las necesidades de la zona. Por otro lado, esto exige tener en cuenta dos aspectos: la dificultad de traslado de los actuales participantes, quienes provienen del área metropolitana, y que se está trabajando con población que en su gran mayoría reside en zona urbana. Aunque en algunas jornadas han participado los productores de Progreso o Juanicó y se ha mantenido un vínculo de contactos para las próximas instancias, la expectativa inicial no se concretó. En este mismo sentido, es que se define como prioridad contactarse nuevamente con organizaciones locales, para analizar conjuntamente el proyecto y posibles coordinaciones. Con esto se busca un mayor enclave del proyecto en la realidad local. También cabe destacar, la importante participación y apoyo demostrado con la integración en las jornadas, de entidades como la Escuela de Construcción y docentes y estudiantes de la Facultad de Arquitectura y de colectivos como la Red de Huertas. A esto se debe agregar la concreción del vínculo con la Intendencia de Canelones mencionado anteriormente. En cuanto a la frecuencia con que se ha participado, se puede decir que de las 270¹³ personas que han asistido desde el 2004 al 2006, un 70% ha concurrido una sola vez y el porcentaje restante pertenece a personas que asistieron desde dos o tres veces en distintas etapas a quienes han tenido un seguimiento casi total de todo el proceso de obra como se indica en la figura 13. Estos datos se consideran satisfactorios en cuanto a cantidades dado que uno de los indicadores establecidos por el Proyecto para verificar el impacto de la transferencia lo indicaba "...el número de productores y estudiantes involucrados en el proceso constructivo. Se estima que un número de participantes correspondiente al 20% de los convocados, es satisfactorio como indicador del logro...". Entendemos que el aprendizaje práctico en un proceso

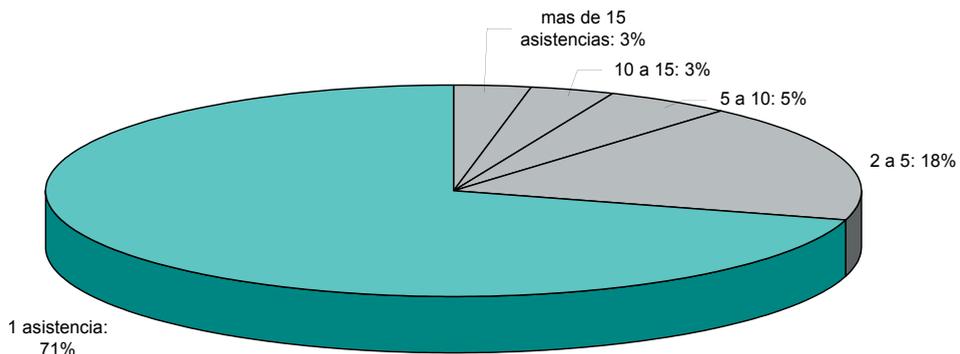


Fig. 13: Gráfica de frecuencia de participación en jornadas prácticas período marzo 2004 - diciembre 2006.

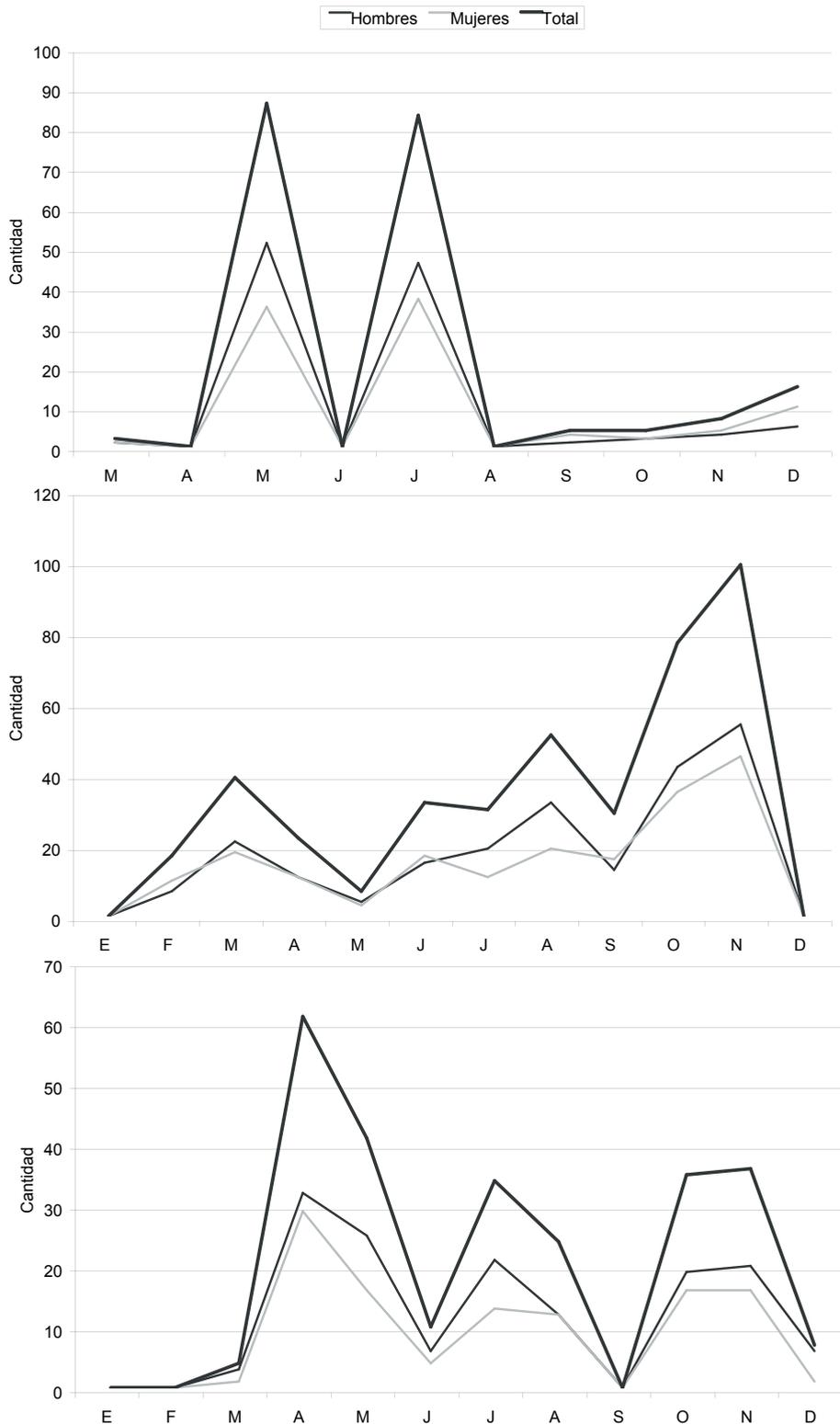


Fig. 14 a 16: Gráficas de participación en jornadas prácticas para los años 2004, 2005 y 2006.

global de construcción, no solamente consiste en la transferencia de una tecnología, sino en lograr una capacidad de autogestión y autoorganización que permita a quien participa recurrir al técnico o grupo de referencia en momentos claves del proceso.

Desde la propia gestación del Proyecto se manejaron conceptos como la bidireccionalidad y la interdisciplinariedad que claramente marcarían su vocación formativa. Al repasar los objetivos y propósitos planteados desde el comienzo, queda claro que el aspecto fundamental de la experiencia radicaba en el desarrollo de un ámbito novedoso de formación, donde la tradición constructiva y la investigación universitaria se amalgamaran. Para unos y otros, el valor del aprendizaje consistiría en la formación laboral capaz de desarrollar una nueva forma de pensar y hacer la arquitectura en el medio rural, la simiente de una arquitectura sostenible donde el factor humano fuera clave. En este sentido el éxito de la experiencia no es fácilmente cuantificable, ya que no dependería del grado de avance que la obra registrase, sino del compromiso de los actores involucrados y de su eficiencia para convocar y abrir los canales de trabajo conjunto. Este es un aspecto neurálgico para la comprensión del derrotero del Proyecto Hornero sin caer en valoraciones de éxito o fracaso.

Sería poco honesto no reconocer el exceso de ambición que impregnó toda la experiencia desde sus inicios y que se constituyó quizá, en uno de los principales desaciertos. Esto significa que el desarrollo de la propuesta estaba más ajustada a los sueños de quienes utilizan el CRS que a las capacidades probadas de gestión institucional. Al comienzo del Proyecto existió un voluntarismo explícito a partir de la ingenuidad o la falta de conocimiento de los tiempos y modos de operar dentro de la Universidad. Desde esta perspectiva, y opinando desde esta experiencia concreta, se considera también que existen ciertas deficiencias por parte de la Universidad para vincularse con el medio y para apoyar actividades que impliquen procesos de formación grupal de fuerte impronta popular. En este contexto es que se tarda dos años en encontrar una financiación acorde con la meta, lo que impactó directamente en la composición del grupo de estudiantes: la sensación de parálisis de ese entonces se llevó consigo a buena parte de los mentores de la experiencia. A pesar de las dificultades, en todo momento el Proyecto mantuvo su voluntad aperturista y transversal, que pretendía generar un nuevo ámbito de reflexión y trabajo, de forma interdisciplinaria, por fuera de las estructuras académicas preexistentes pero posicionándose como espacio posible de vínculo entre ellas.

Luego de casi cinco años de trabajo, se logró un avance importante, muchas veces sobre la base de extralimitaciones en cuanto a tiempos y roles que el grupo debió asumir para poder concretar las cosas. El Proyecto ha discurrido por varias de las etapas que se habían planificado, en muchas de ellas con un costo muy alto en cuanto a los recursos humanos, sin embargo se convirtió en una referencia importante en cuanto a la construcción con tierra durante los años en que se trabajó basado en tres aspectos:

1. La generación de un vínculo entre la Universidad y el medio que se mantuvo en forma constante durante tres años y la materialización de un elemento concreto y tangible.
2. La capacitación de estudiantes desde lo teórico pero fundamentalmente desde lo práctico en un ámbito de enseñanza extracurricular.
3. La difusión realizada desde los canales de comunicación académicos (presentaciones y seminarios) y desde medios masivos de comunicación.

La experiencia vale como tal y vale la formación de quienes han compartido este espacio de trabajo.

Notas y citas:

¹ En Cuaderno del 6° Seminario Taller de Arquitectura en Tierra, p. 36.

² www.proyecto Hornero.itgo.com desde octubre de 2002 y www.proyecto Hornero.ed.uy desde setiembre de 2006

³ Programa de Desarrollo Tecnológico, sub programa II: desarrollo y aplicaciones de ciencia y tecnología, componente A: articulación de oferta y demanda de conocimientos tecnológicos en áreas de oportunidad.

⁴ Según el formulario de presentación del PDT.

⁵ En 2003 y 2004 se realizaron presentaciones dirigidas a estudiantes, productores rurales y actores del medio local en Progreso y entrevistas en medios de prensa. Véase Anexo I.

⁶ Los datos del año 2004 se basan principalmente en la jornada del 24 de julio.

⁷ Se incluye Ciudad de la Costa.

⁸ Sin discriminar: empleados, artesanos y comerciantes.

⁹ No se incluyen aquí las jornadas de construcción de cimentación (junio a diciembre de 2005), solo se consideran las jornadas teórico – prácticas donde se trabajó con la tierra como material de construcción. La suma total de jornadas del año 2005 es de 24 considerando las tareas de cimentación.

¹⁰ Se incluye Ciudad de la Costa.

¹¹ En el 2006 no se realizaron talleres sobre temas específicos sino que se trabajó en la construcción del prototipo fabricando componentes con tierra y ejecutando muros, se considera aquí el número total de jornadas realizadas con este criterio.

¹² Se incluye Ciudad de la Costa.

¹³ Se considera también al equipo de Proyecto Hornero que suma 16 personas.

ANEXO CAPITULO I

Principales actividades realizadas por Proyecto Hornero (2002 - 2006)

2002	
24 de junio	Charla del Arq. José Luis Mazzeo en Facultad de Agronomía (Fagro)
29 al 30 de junio	Taller práctico en el CRS con la participación de 15 estudiantes de agronomía y arquitectura
8 de agosto	Reconocimiento de Proyecto Hornero por parte del Consejo de la Facultad de Arquitectura (Farq)
30 de agosto	Nota en "Animalitu e dios", publicación de la AEA
26 de setiembre	Presentación en la Comisión Sectorial de Extensión y Actividades con el Medio (CSEAM) de la Universidad de la República (UdelaR)
26 de setiembre	Presentación en las jornadas de extensión de la Federación de Estudiantes Universitarios del Uruguay (FEUU) en Facultad de Ciencias Económicas
16 de octubre	Presentación a la Dirección del Centro Regional Sur (CRS) y la Dirección General de Arquitectura (UdelaR)
21 de octubre	Inicio del sitio en internet www.proyectohornero.itgo.com
13 de diciembre	Presentación ante el Consejo de Fagro y presentación de proyectos de extensión universitaria que se desarrollan en la zona de Progreso
2003	
28 de febrero	Presentación al llamado de proyectos de investigación en el área de oportunidad "Energía", con prioridad en "Arquitectura Bioclimática", por parte del Programa de Desarrollo Tecnológico (PDT)
19 de mayo	Presentación a estudiantes de primer año en Fagro
5 de junio	Entrevista en "Buen Día Uruguay" (Canal 4, Montevideo)
16 de junio	Entrevista en "Tiempo presente" (CX 50 Independencia, Montevideo)
28 de junio	Reunión con productores y vecinos de Progreso, Club Progreso, Canelones
30 de junio	Entrevista en el diario "Hoy Canelones" (Canelones)
3 de julio	Participación en las Jornadas de Extensión y Relacionamento con el Medio organizada por la Unidad de Relacionamento con el Medio (Farq)
15 de julio	Entrevista en AM 1470 Radio Cristal (Las Piedras)
31 de julio	Presentación del proyecto a estudiantes de primer año en Farq
29 de agosto	Artículo en el Agropecuario del diario El Observador (Montevideo)
6 de setiembre	Entrevista en "Que pase el que sigue" (1410 AM Libre, Montevideo)
20 de setiembre	Entrevista en "Salvemos el planeta" (CX 30 Nacional, Montevideo)
30 de octubre	Presentación del Proyecto en CRATerre, Escuela de Arquitectura de Grenoble (Grenoble, Francia)
4 al 6 de diciembre	Participación como expositores en el 6° Evento Seminario Taller Arquitectura en Tierra (Montevideo)
6 de diciembre	Aprobación de la financiación por parte del PDT

2004	
Febrero	Artículo en Revista Trazo del CEDA
28 de abril	Presentación a estudiantes en Fagro
30 de abril	Presentación a estudiantes en Farq
31 de mayo	Integración a proyecto Proterra, Cyted como Institución Amiga
4 de mayo	Entrevista en "Resonancias" (AM 1470 Cristal, Las Piedras)
4 de mayo	Entrevista en "Confidencias" (Radio Canelones, Canelones)
5 de mayo	Entrevista en "Buen Día Uruguay" (Canal 4, Montevideo)
5 de mayo	Entrevista en "Cierre de jornada" (AM 690 Sarandí, Montevideo)
8 de mayo	Reunión con productores y vecinos de Progreso, Club Progreso
22 de mayo	Taller práctico en el CRS con la participación de 85 personas
2 de junio	Presentación en el Primer Foro Montevideo de Educación
6 de junio	Artículo en el diario El Telégrafo (Paysandú)
24 de julio	Taller práctico en el CRS con la participación de 65 personas
28 de agosto	Presentación en el Encuentro Nacional de Estudiantes de Agronomía (La Paloma, Rocha)
28 de agosto	Presentación en el III Encuentro Nacional de Ladrilleros (Florida)
27 de setiembre al 2 de octubre	Presentación en el III Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra (SIACOT) (Tucumán, Argentina)
21 de octubre	Presentación en Centro Cultural de España de Montevideo en el marco del LAB 04 sobre "Arquitectura Sustentable"
18 de diciembre	Taller práctico en el CRS con la participación de 15 personas
2005	
Abril	Comienzo de la obra del Prototipo Global de Experimentación
20 al 24 de abril	Asistencia al Curso de Bioarquitectura en Tibá Bom Jardim, Rio de Janeiro (Brasil) dictado por el Arq. Johan Van Lengen
20 de setiembre	Entrevista en "El Péndulo" junto a la Arq. Rosario Etchebarne (Radio Turística 1410 AM, Salto)
8 al 22 de octubre	Taller práctico en el CRS con la participación de 15 personas
29 de octubre al 12 de noviembre	Taller práctico en el CRS con la participación de 35 personas
3 de noviembre	Entrevista en "De acá" (TV Libre, Montevideo)
7 de noviembre	Artículo en el portal de internet Universia - www.universia.edu.uy
11 de noviembre	Entrevista en "Amargueando" (AM Libre 1410 AM, Montevideo)
2006	
24 de abril	Entrevista en "Otra historia" (CX 14 El Espectador, Montevideo)
12 al 16 de junio	Presentación en el V SIACOT (Mendoza, Argentina).
4 y 11 de setiembre	Entrevista en "Consentidas" (CX 16 Carve, Montevideo)
11 de setiembre	Inicio del sitio en internet www.proyectoHORNERO.edu.uy
5 de octubre	Artículo en la Revista Rumbosur

CAPITULO II: LA TIERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Introducción

La acción del hombre sobre el territorio siempre tendrá consecuencias en el medio ambiente. La arquitectura y la agricultura son dos de las acciones que intervienen más fuertemente produciendo cambios y modificaciones. Ambas actividades diseñan las ciudades y el campo. Van der Ryn y Cowan definen el diseño como "...la conformación intencional de materia, energía y procesos para satisfacer una necesidad o deseo percibido..." y agregan que "...el diseño es una bisagra que une inevitablemente la cultura y la naturaleza a través del intercambio de materiales, flujos de energía y opciones de uso del suelo...". Es en este contexto que se considera al arquitecto y al agricultor, entre otros actores, como diseñadores y como artífices tanto de la calidad de vida del presente como del futuro.

En cuanto a la arquitectura, las modificaciones al medio ambiente no solo están originadas en los procesos de diseño y construcción de los espacios arquitectónicos. También lo están en la producción de los materiales a utilizar, la energía para la iluminación y el acondicionamiento térmico artificial, y en los deshechos que se originan durante el proceso de construcción y demolición, luego que el edificio cumple su vida útil. A partir de la crisis energética de los años 70, el mundo fue más consciente de los riesgos de abusar de fuentes de energías finitas y del problema de poner en riesgo dichas fuentes.

Es a partir de estos años que surgen las ideas de arquitectura ecológica, arquitectura bioclimática y arquitectura solar entre otras. La arquitectura bioclimática es aquella en la cual la calidad ambiental y la eficiencia energética se obtienen mediante el uso racional de los recursos naturales, de manera de contribuir con el equilibrio del ecosistema donde se inserta. Las principales características son la adecuación del espacio construido al medio bioclimático y a las necesidades humanas, la racionalización del consumo de energía y la obtención del confort ambiental mediante el uso optimizado de recursos renovables. Margarita Luxán en "Arquitectura de vanguardia y ecología" indica que "...la idea de que haya tipologías arquitectónicas universales con las mismas soluciones en todos los casos y lugares, debe ser revisada ya que no es lógica desde el punto de vista del consumo energético...".

Además, las formas de la economía globalizada están causando la migración del campo a la ciudad y se estima que hacia el primer cuarto del siglo XXI más de la mitad de la población mundial estará viviendo en las ciudades¹. De todos modos el hombre seguirá necesitando abastecerse de alimentos para sobrevivir y el origen de éstos no se encuentra en los supermercados sino en el medio rural². Existen varios conceptos respecto a esta relación entre el consumo de recursos y la posibilidad del hombre de seguir habitando este planeta. Los términos ecodesarrollo, desarrollo sostenible o sostenibilidad se han ido incorporando a los discursos con el correr de los años y han sufrido sutiles variaciones de significado. El origen de estos términos se puede ubicar a comienzos de los años 70 cuando se propuso la palabra ecodesarrollo como significado del "...compromiso que buscaba conciliar el aumento de la producción reclamado por el tercer mundo con el respeto a los ecosistemas necesario para mantener las condiciones de habitabilidad de la tierra..."³. Algunos años más tarde, se substituyó por un término que podía ser visto con mejores ojos por los economistas. Este nuevo término fue el de desarrollo sostenible, definido por las Naciones Unidas como el desarrollo que permite satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.

De todos modos hay autores que afirman que estos términos son muy generales, indefinidos y ambiguos, ya que vinculan economía y procesos físicos que refieren a niveles diferentes de abstracción y razonamiento⁴. Se plantea entonces hablar de sostenibilidad, dejando de lado el término de desarrollo. La sostenibilidad es entendida como la capacidad de los sistemas agrarios, industriales y urbanos para abastecerse de recursos y deshacerse de residuos. En otras palabras,

no es solo utilizar los recursos naturales en forma controlada sino también considerar nuestros residuos como propios y no como algo con lo que ya nada tenemos que ver. Los criterios usuales sobre la sostenibilidad incluyen el empleo racional de materiales, la minimización del consumo de energía, el uso de energía renovable y la evaluación del impacto ambiental del proyecto.

Se trata entonces de ser conscientes de estos aspectos desde el momento de diseño, para reducir y racionalizar el consumo de recursos en los procesos de construcción, de uso y de re-uso o sustitución. Esto tanto a escala de la ciudad como a la escala humana, en lo que refiere a la calidad y el confort de los espacios habitables, relacionado con el espacio, la iluminación, la ventilación natural, la temperatura y la humedad.

En este capítulo se plantean los motivos por los cuales se considera a la tierra como uno de los materiales de construcción posibles para lograr esta reducción, pero que también presenta otras características que la potencian, desde lo térmico hasta lo social. No se condena a la arquitectura convencional como causantes de los problemas ambientales ni tampoco se eleva a la arquitectura en tierra al pedestal de perfecta solución. Se trata de evidenciar que la responsabilidad pasa por varios actores y que las soluciones correctas existirán cuando se analicen las diferentes condicionantes locales y globales que afectan a un caso particular. Se trata de trabajar en equipos donde se integren y complementen distintas disciplinas, llámese multidisciplina o interdisciplina. Además de resultados, también se busca dejar en el proceso de trabajo semillas que logren generar nuevos proyectos.

Vivienda: diagnóstico de situación

Según datos del Informe 2004 del Servicio Paz y Justicia⁵, el déficit de viviendas en el Uruguay era de 80.511 unidades. A este déficit deberían sumarse otras 10.000 viviendas más por año⁶ a causa del incremento por aumento vegetativo, migraciones internas y obsolescencia del stock. Paralelamente, y paradójicamente, existen unas 240.000 viviendas vacías; de éstas poco más de 48.000 son para alquiler o venta y el resto corresponden a viviendas de temporada o que se están terminando de construir⁷. Gran parte de la necesidad actual de vivienda corresponde a las familias con menores ingresos y con escasa posibilidad de ahorro⁸. La expresión más visible de esto lo constituyen los asentamientos irregulares⁹ en zonas carentes de infraestructura.

A causa de no poder acceder a viviendas en zonas calificadas, la solución pasa por establecerse en zonas cercanas a algún tipo de centralidad urbana. Los espacios vacíos disponibles para ubicarse son, en general, zonas bajas y por lo tanto inundables: la mayoría de los asentamientos están asociados a cursos de agua ya sean arroyos o cañadas. Ante la falta de servicio de



Fig. 17: Asentamiento irregular en el departamento de Canelones asociado a un curso de agua.

saneamiento en el lugar y ante la imposibilidad económica de utilizar los servicios de barométrica, los desagües sanitarios de piletas y duchas e inodoros se realizan directa o indirectamente a estos cursos de agua produciendo su contaminación y potenciándolos como transmisores de enfermedades. A la problemática que se produce en los asentamientos en cuanto a lo físico, sanitario y ambiental, hay que agregar los graves procesos de fragmentación social y territorial que no son desarrollados aquí.

Entre 1984 y 1994 la cantidad de viviendas en asentamientos irregulares se triplicó: según datos oficiales del Ministerio de Vivienda de fines de 1995, existían en Montevideo 111 asentamientos, con 9.928 viviendas en las que vivían 10.531 familias y unas 53.803 personas. "...en el 2002, según estimaciones de la Revista Propiedades en función de la tasa de crecimiento de asentamientos, las viviendas que los componen llegarían a 44.000 en Montevideo y 54.000 en todo el país y en términos de población residente alcanzaría alrededor de 175.000 en la capital y 216.000 a nivel del país..."¹⁰. Actualmente "...según el INE [Instituto Nacional de Estadística] en Uruguay hay 676 asentamientos, es el 6% de la población en el total del país y en el caso de Montevideo y áreas metropolitanas es el 11% de la población"¹¹. De acuerdo a los datos del INE existen 174.393 personas viviendo en asentamientos de las cuales 133.545 corresponden a Montevideo, 10.958 a Canelones y 7.751 a Maldonado¹². En cuanto a la calidad de las viviendas en asentamientos la categoría modesta representa casi un 52% de las unidades y un 40% califica como de mediana y buena calidad. Es interesante ver que en esta clasificación la calidad de la vivienda se considera al adobe como material de construcción para muros y, dependiendo de la calidad de los demás cerramientos, las viviendas construidas con tierra pueden ser consideradas por el encuestador del censo como de buena calidad. En el caso de otras instituciones estatales, la arquitectura de tierra, tiene connotaciones menos agraciadas y muchas veces son definidas a priori como insalubres. Más allá del potencial que tiene el material para constituirse en una solución viable y digna para el tema de la vivienda, las verdaderas respuestas pasan por las políticas del Estado.

Desde los años 70 se han aplicado algunos modelos de políticas habitacionales que dieron solución a la falta de vivienda en cuanto al número de unidades construidas pero no favorecieron el desarrollo comunitario ni el sentido de pertenencia. Muchos de estos modelos llegaron a modificar el paisaje rural mediante el recurso de repetición de una tipología. En el año 1996 en la ciudad de Juanicó, próxima al lugar donde se ubica el Prototipo de Proyecto Hornero, se produce un fuerte cambio poblacional debido al surgimiento de un nuevo centro poblado perteneciente al programa del Movimiento para la Erradicación de la Vivienda Insalubre Rural (Mevir). El impacto que generó esto fue muy fuerte respecto a los lentos procesos que se daban en esta pequeña ciudad. "...La población de Juanicó se duplicó cuando se construyó el núcleo habitacional [de Mevir], esto introdujo masa crítica en la zona que podría entenderse como algo positivo, pero



Fig. 17: Conjunto de viviendas construidas con tierra en La Tablada, Salto - Arq. Rosario Etchebarne.

Fig. 18: Trabajos de extensión en el asentamiento El Monarca, Montevideo (Mesa de vivienda, Farq).

dadas las características de la nueva población no concuerdan con lo esperado, por ejemplo los aspectos de conducta social, por ejemplo los intereses ajenos a la actividad agrícola, que atenta contra la cultura y la identidad misma del lugar. (...) El Casco Histórico es una comunidad con una cultura agrícola muy fuerte lo cual afecta los hábitos y los ámbitos sociales y espaciales que derivan en un sentido de apropiación del lugar particular, en donde lo heredado y el apego afectivo juegan un papel importante. En el caso de Mevir la actividad predominante es residencial desligándose de las demás actividades de la zona. En cuanto a la apropiación del lugar, se verifica cierta debilidad ya que los usuarios ni siquiera llegan a arraigarse a sus propias viviendas al ser su participación en ellas totalmente limitada. “En más de treinta años Mevir ha transformado el paisaje del país” afirma el propio Mevir en publicaciones institucionales¹³. Si esto es así, resulta preocupante que el paisaje se esté transformando a partir de intervenciones que no parten del contexto como premisa ni favorezcan la apropiación del lugar por parte de sus usuarios...”¹⁴.

Arquitectura y tierra: por qué y cómo

La arquitectura con tierra¹⁵ está íntimamente relacionada con el lugar donde se implanta. El uso de la tierra como material de construcción depende de las propiedades de ésta en el propio sitio. En Uruguay hasta mediados del siglo XX, los trabajadores rurales zafrales que no se asentaban en un lugar fijo por mucho tiempo, construían sus viviendas con los recursos que encontraban en el lugar y estos recursos eran la tierra, la piedra, la madera y los vegetales. Teniendo en cuenta entonces, que la tierra está disponible en el propio lugar, es sencillo suponer que existe un gran ahorro de energía en transporte de materiales. Además como la tierra se utiliza cruda también se produce un ahorro de recursos en la producción de los componentes constructivos. Se estima que para la producción de adobes se consume 10 veces menos de energía que para la producción de hormigón o ladrillos y 200 veces menos que para la producción de aceros, considerando tiempos de vida útil similares¹⁶.

En los países desarrollados la construcción convencional es responsable del 50% de la extracción de pétreos y minerales. Se estima también que consume el 30% de energía primaria en climatización e iluminación a lo cual hay que agregar los gastos de energía de producir los materiales y el transporte para su traslado¹⁷. A consecuencia de esta reducción de energía y de tiempos de traslados y de que la tierra se encuentra en el lugar, se produce también un ahorro económico no menos importante.

Desde el punto de vista higrotérmico, las construcciones con tierra tienen un excelente desempeño verificado por numerosos ensayos y confirmado por todos aquellos que tuvieron la oportunidad de pernoctar en alguna casa de barro. El comentario más típico es aquel de “...es fresca en

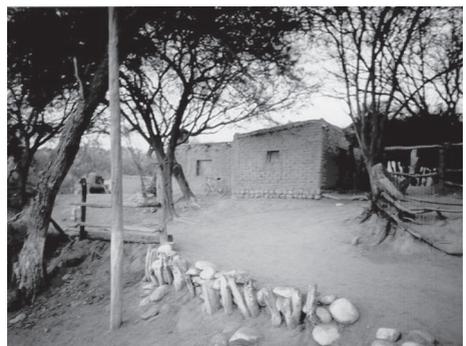


Fig. 19 y 20: Ejemplos de construcción tradicional con tierra en América Latina: vivienda rural de fajina cerca de Cerro Chato en el departamento de Paysandú y vivienda de adobe en Amaicha del Valle en la provincia de Tucumán (Argentina)

verano y cálida en invierno...”, incluso algunas viviendas de campaña que aún existen en la zona norte de Uruguay constituyen el mejor lugar para hacer una pausa en las tardes de verano.

Por las propias características de la tierra, utilizada como material denso, los muros almacenan calor y evitan que éste ingrese al interior de local en forma inmediata. Este proceso está ligado a la capacidad térmica de un material que es la cantidad de calor requerida para elevar en un grado la temperatura de una unidad de peso o de volumen¹⁸. Al pasar las horas este calor almacenado ingresa al local en la noche, cuando la temperatura exterior disminuye. Esta característica es aprovechada en zonas donde existe una amplitud térmica muy importante o sea donde existen grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche¹⁹.

En cuanto a la resistencia térmica, es decir la cualidad que tiene los materiales a oponerse al pasaje de calor por conducción, los materiales con alta capacidad térmica tienen una baja resistencia térmica a causa de su densidad. Un material con alta resistencia térmica es aquel que contiene aire quieto en su interior. Para el caso de la construcción con tierra se puede aumentar la resistencia térmica agregando fibras vegetales, como la paja de trigo, que contiene pequeños espacios de aire en su interior. En los casos de tener combinado alta capacidad térmica y alta resistencia térmica, también se optimizará la energía utilizada para acondicionar artificialmente el local, ya que se reducen las pérdidas térmicas y se mantiene por más tiempo la temperatura deseada. También es bueno incorporar la energía solar pasiva o activa como otra herramienta para reducir el uso de energía artificial, eléctrica o por combustión. Un edificio orientado correctamente puede aprovechar la radiación del sol en forma pasiva al combinar en forma estratégica planos vidriados, aleros y vegetación y tomar ventaja del efecto trampa que se produce en invierno en el interior de los locales. La incorporación de esta energía en forma activa ya supone el uso de otros elementos e instalaciones complementarias como sucede con los paneles fotovoltaicos para producir energía eléctrica o los paneles con serpentines para calentar agua.

Volviendo al tema de la tierra, ésta regula la humedad relativa ambiente ya que absorbe y devuelve la humedad más rápido y en mayor cantidad que los demás materiales de construcción. El porcentaje de humedad relativa se mantiene en el entorno del 60%, el cual es el apropiado para el confort del hombre. Con valores mayores, la sensación de confort comenzará a disminuir y el local será un buen lugar para la formación de hongos. Con valores menores la sensación de confort también se reducirá y se manifestará en el ressecamiento de las mucosas. En caso de habitar por mucho tiempo en locales con porcentajes de humedad relativa muy altos o muy bajos (menores al 40% y mayores al 70%)²⁰, se estará propenso a desarrollar enfermedades respiratorias.

En cuanto a lo estructural, la tierra es un material que trabaja muy bien a la compresión y puede utilizarse como estructura portante, ejemplo de ello lo constituyen las construcciones de mezquitas, bazares y palacios en Irán, Marruecos, Malí y otros países de Medio Oriente y norte de África. También se puede utilizar una estructura independiente y emplear la tierra como elemento no portante. Por lo general las estructuras independientes son de madera ya que tierra y madera son materiales que presentan buen comportamiento trabajando juntos. La madera es protegida por el barro ya que este le otorga un contenido de humedad tal que no permite la aparición de hongos o de insectos.

Una de las consultas más frecuentes respecto a los insectos es sobre el problema de la vinchuca. Cabe citar aquí el artículo sobre la enfermedad de Chagas publicado en la revista *Arquitectura Popular* y basado en una investigación realizada en Paraguay²¹. El artículo es muy claro respecto a que "...sin importar el material de construcción utilizado para la paredes, la infestación se da, no en función de los materiales de construcción utilizados, sino de la terminación del paramento interior (las superficies) y de las condiciones favorables o no del ambiente...". Las viviendas relevadas estaban compuestas por diferentes materiales: tejas o chapas para el techo y ladrillos,

adobes, estaqueo o tablas para las paredes. Dentro de las condicionantes que constituyen el ambiente propicio para la presencia del vector de la enfermedad, el insecto Chinchá Guazú o vinchuca, se detectó en las viviendas analizadas escasa área de aberturas que provocan poca iluminación y poca ventilación. "... de esta manera los ambientes interiores son por lo general absolutamente oscuros, húmedos y cálidos y por lo tanto constituyen el ambiente ideal para el Chinchá Guazú...". A esto hay que agregar la falta de revoques en las paredes, con existencia de grietas que se convierten en hábitáculos para los insectos y la falta de pintura, lo que dificulta el control visual para detectarlos. También se indica en el artículo que los techos de paja utilizados en las viviendas presentan pendientes bajas, que reducen la vida útil del mismo, ubicados a una altura escasa y están asociados a objetos de uso doméstico y alimentos colgados de su estructura. La investigación establece como acciones de mejoramiento para las viviendas lograr una "casa lisa", eliminando fisuras, grietas e intersticios mediante el uso de revoques y pinturas claras, sumado a un diseño adecuado de las aberturas para asegurar buenos niveles de iluminación y ventilación natural. No se indica como solución el cambio de materiales en caso de las viviendas construidas con tierra, ya que no es un problema de materiales lo que favorece el desarrollo de la vinchuca en el interior de un local. La asociación tierra-vinchuca no es algo tan directo como muchas veces se supone.

Las construcciones en tierra no producen la misma cantidad de residuos sólidos que una construcción convencional. Si se derriba una pared de tierra se obtiene nuevamente tierra, que puede ser reutilizada para una nueva construcción. La degradación ambiental producida por los residuos sólidos de las construcciones convencionales es una de las más preocupantes en todo el mundo. En Montevideo, se generan 300 toneladas de escombros al día: según datos de la Intendencia Municipal se vierten 140.000 toneladas de escombros al año en la Usina Municipal²². En la Unión Europea se producen 200 millones de toneladas de escombros al año y se espera que se duplique en 10 años más. Como referencia, la cantidad de escombros estimados del World Trade Center en Nueva York fue de 1.3 millones de toneladas²³. Los desechos de construcción son "...la mayor fuente de residuos industriales en los países desarrollados, los cuales se han evaluado en cerca de 450 kilos por habitante por año (Molina, 1997). De ese gran volumen, el hormigón es el más abundante, ya que representa el 67% en peso. Si al hormigón se le agrega otros residuos de origen pétreo como los morteros, la cerámica, bloques y piezas ornamentales entre otros, este porcentaje se vería incrementado, pudiendo llegar a ser hasta un 85% (Molina, 1997)..."²⁴. En países europeos como Alemania, Holanda o Dinamarca, se llega a reciclar un 60% de los desechos producidos a causa de incentivos al reciclaje y penalizaciones por vertido indebido²⁵. En América Latina las experiencias son más recientes pero ya hay antecedentes en países como México o Chile.

El agua es otro de los aspectos a tener en cuenta: es un elemento indispensable para toda forma de vida sobre la tierra y no existe ningún ser vivo que pueda prescindir de ella. La cantidad de agua disponible es constante pero la población y el consumo de agua que ésta hace es cada vez mayor. El agua es uno de los recursos naturales más escasos y por lo tanto más preciados. Como se indica en la publicación "Jardín de totóras" de Aramis Latchinián "...del total de agua del planeta solo el 0,003% es agua dulce disponible para consumo humano, lo que equivale a media cucharadita de té en un tanque de 100 litros. Lo que agrava esta situación es que en esa media cucharadita se vierte gran parte de los efluentes domésticos e industriales de las actividades humanas..."²⁶. Dentro de la polución que afecta a esa agua una de las causas mas grandes es la infiltración de aguas cloacales de pozos negros fisurados o sin fondo, especialmente en el medio rural. En la producción de elementos constructivos con tierra se puede reducir el consumo de agua ya que la preparación de éstos puede requerir 60 veces menos de agua que en los procesos con cemento²⁷.

Conclusiones

La construcción con tierra genera un ámbito propicio para la autoconstrucción y para la interacción en grupos. Si bien es necesario tener un conocimiento mínimo de la tierra como material, queda abierta la posibilidad de integrarse y aprender en cualquiera de los procesos de la obra ya que no requiere mano de obra calificada. Este conocimiento mínimo implica saber que la tierra hay que ensayarla para conocer sus propiedades ya que no es igual en todos los lugares, es necesario considerar el agregado de aditivos, arena o fibras, por ejemplo para evitar problemas de retracción y que hay que protegerla de la acción del agua de lluvia y de la humedad natural del terreno. La ausencia en general, de materiales agresivos como el cemento pórtland permite que se integren a la obra tanto adultos como niños pequeños, quienes encontrarán en el pisadero una buena excusa para divertirse y ensuciarse. La construcción con tierra constituye una posible solución para los problemas de acceso a la vivienda digna, tanto desde el punto de vista económico como desde el punto de vista de confort higrotérmico²⁸ y acústico. La tierra es el material natural más abundante en el planeta y como se vio anteriormente, requiere poca cantidad de energía en su transformación para utilizarse en una construcción. Las desventajas que presenta pueden ser previstas y compensadas desde el momento de diseño y desde las etapas de ensayos y ejecución. La arquitectura con tierra es una opción válida en determinados contextos ya que no podemos tomarla como una solución milagrosa. Por otra parte, la tierra no es un material inagotable sino un recurso natural no renovable que tampoco puede ser utilizado en forma irresponsable.

“...Entendemos que la arquitectura da soluciones específicas a problemas específicos. En la situación del medio rural de la Estación Experimental [donde se ubica el Prototipo de Proyecto Hornero] cierra la idea de construir con tierra, pero eso no quiere decir que en todos los lugares vaya a cerrar esa misma idea. Entendemos que para cada situación hay una solución. No defendemos que todo debe ser con tierra ni que no tenga que existir. Si en la ciudad se quisiera hacer algo pero hubiera que gastar mucho en transporte de la tierra o de madera, seguramente dejaría de ser sustentable aunque se esté utilizando tierra...”²⁹.

Notas y citas:

¹ Helena Norberg-Hodge en “Cambiando de rumbo: de la dependencia global a la interdependencia local”.

² “...Aun hoy en día, y con certeza pasado mañana y más allá incluso, el hombre depende de la explotación agrícola más que de la transformación industrial. Simplemente porque come. (...) La ocupación agrícola continúa siendo básica y la destrucción de las buenas tierras arables a causa de la implantación industrial o urbana (...) es un error de nefastas consecuencias...”; Helena Norberg-Hodge en “Cambiando de rumbo: de la dependencia global a la interdependencia local”.

³ José Manuel Naredo en “Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible”.

⁴ “...toda una serie de autores advierten que el tratamiento de las cuestiones ambientales, y de la propia idea de sostenibilidad, requieren no sólo retocar, sino ampliar y reformular la idea usual de un sistema económico...”; José Manuel Naredo en “Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible”.

⁵ Fuente: www.fecovi.org.uy

⁶ Benjamín Nahoum, integrante del departamento de apoyo técnico de Fucvam al diario La República en www.uruguaysolidario.org.uy, 4 de octubre de 2004.

⁷ “...observamos un incremento en cerca de 150.000 viviendas en los 8 años que median entre ambos registros censales, explicado sobre todo por el incremento en el stock de viviendas particulares. Este incremento está explicado por un crecimiento de cerca de 50.000 unidades en las viviendas ocupadas, y un crecimiento de alrededor de 100.000 unidades en las viviendas desocupadas, sobre todo las de temporada, ofrecidas en alquiler o venta y las desocupadas por otras razones. De éstas, la mitad corresponde a viviendas de temporada...” Fuente: INE, Censo Fase I 2004 en “Situación de la vivienda en Uruguay”, p. 4.

⁸ “...Se encontró asociación del tipo de tenencia de la vivienda con los niveles de ingresos: la probabilidad de ser ocupante crece para los hogares pertenecientes a los quintiles de ingreso per cápita más bajos, a la vez que la probabilidad de ser arrendatario cae. Los propietarios son el 70% de los hogares del quintil más alto, y el 46% de los del más bajo...”. En “Situación de la vivienda en Uruguay”, p. 51.

⁹ “...se considera asentamiento irregular al conjunto de cuatro o más viviendas levantadas en un predio del cual sus ocupantes no son propietarios. Es decir que los hogares son dueños de la vivienda, pero no del terreno...”. “...pueden definirse, como áreas territoriales ocupadas por sectores empobrecidos de la población, que no acceden a la compra o alquiler de una vivienda y optan por tomar terrenos fiscales o particulares para construir sobre ellos distintas alternativas habitacionales signadas por la precariedad...” Fuentes: “Situación de la vivienda en Uruguay”, p. 36. y www.piai.gub.uy

¹⁰ En “Programa asentamientos”, Facultad de Ciencias Sociales, diciembre de 2004, citando a Veiga y Rivoir en revista Vivienda Popular N° 11, “Fragmentación, desigualdades y exclusión social en Montevideo”.

¹¹ Arq. Roberto Villamarzo, Director de Ordenamiento Territorial del MVOTMA en el sitio web de Presidencia de la República durante la segunda reunión preparatoria de la XV Asamblea General de Ministros y Autoridades Máximas de la Vivienda de América Latina y el Caribe y el XI Foro Iberoamericano, agosto de 2006.

¹² Fuente: INE, Censo Fase I 2004. El informe de “Situación de la vivienda en Uruguay” del INE sobre datos del primer trimestre 2006 indica que la población que vive en asentamientos asciende a 195.772.

¹³ Publicación “35 años Mevir 1967 – 2002”.

¹⁴ Falero, A.; Ferreiro, A.; Tinagli, M.: “Tres paisajes”, monografía del curso de Formación Ambiental, Facultad de Arquitectura 2005.

¹⁵ Las construcciones que utilizan la tierra como material principal se pueden clasificar como: arquitectura en tierra, arquitectura de tierra y arquitectura con tierra. La arquitectura en tierra la constituyen las estructuras excavadas directamente en la tierra; la arquitectura de tierra la abarca las construcciones donde la tierra es procesada y utilizada como estructura portante y la arquitectura con tierra es la que utiliza una estructura portante independiente de los muros y la tierra funciona como relleno. Fuente: Material de apoyo del 6° Seminario Taller de Arquitectura en Tierra; Montevideo; 2003.

¹⁶ Carlos Alberto Fuentes en “Construir con tierra no es cosa de niños” en “Terra en seminario”, p. 144.

¹⁷ Margarita Luxán en “Arquitectura de vanguardia y ecología”.

¹⁸ Edward Allen en “Cómo funciona un edificio, principios elementales”, p. 64.

¹⁹ “...un ejemplo muy útil es la arquitectura pesada de barro o de piedra que se encuentra corrientemente en los climas desérticos cálidos del mundo (...) El efecto neto es que el interior del edificio es más frío durante el día que sus alrededores y más caliente durante la noche, lo cual es precisamente el modelo que necesitan sus ocupantes para permanecer cómodos...”, “Cómo funciona un edificio, principios elementales”, p. 68.

²⁰ Gernot Minke: “Manual de construcción con tierra”, p. 19-20.

²¹ “...Las viviendas rurales estudiadas durante la investigación muestran ciertas características que pueden ser consideradas comunes a la mayoría de las viviendas construidas en forma espontánea en el área rural de la región, ya sea Tacuarembó (Uruguay), en el Chaco (argentino o paraguayo) o en la Región Oriental del Paraguay...”, en “El mejoramiento del hábitat como vía de control de la enfermedad de Chagas”; Revista Vivienda Popular N° 4.

²² Fuentes: Cempre Uruguay; www.cempre.org.uy e Intendencia Municipal de Montevideo, Primer Informe Ambiental, Montevideo XXI.

²³ Fuente: Universidad Complutense de Madrid; Papp, Edith: “Escombros de las Torres Gemelas: una nueva agresión ecológica contra el sur” artículo publicado el 22 de febrero de 2002 en www.ucm.es

²⁴ Fuente: Noticias de la Pontificia Universidad Católica de Chile; Bolumburu, Ana María: “Un estudio presenta los beneficios de la construcción de viviendas con áridos reciclados”, junio de 2004 en www.uc.cl

²⁵ Fuente: Revista on line Ambientum, edición de marzo de 2003; www.ambientum.com

²⁶ Aramis Latchinian en “Jardín de totóras: sistemas naturales de depuración de aguas”, p. 3.

²⁷ Graciela Viñuales en “La arquitectura de barro y la conservación del ambiente”, artículo de la revista digital “Construcción con tierra” N° 1, p.5; FADU, UBA; 2005

²⁸ Incluye la temperatura, velocidad y humedad relativa del aire y la temperatura media radiante.

²⁹ Entrevista a Proyecto Hornero en el programa Consentidas, CX 16 Radio Carve (Montevideo).

CAPITULO III: ENSAYOS

Reconocimiento de suelos

El suelo puede ser estudiado desde múltiples enfoques, ya sea desde los simplemente descriptivos como es el caso de la biogeografía o con mayor énfasis productivo como en las ciencias agronómicas o arquitectónicas. Para la arquitectura el suelo se transforma en un material de investigación capaz de sustentar total o parcialmente la construcción de una vivienda.

Se puede entender por suelo a todo aquello que forma parte de la superficie natural del planeta producto de la acción combinada de distintos factores como el clima, los organismos vivos, el material generador o roca madre, el relieve y la acción del tiempo; a ellos se les puede agregar la acción del hombre. Cabe destacar que el suelo es un conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos que genera condiciones favorables como hábitat de microorganismos y pequeños animales. “En el medio natural los suelos más complejos y potentes acompañan a los ecosistemas de mayor biomasa y diversidad, de los que son a la vez producto y condición. En este sentido, desde el punto de vista de la organización jerárquica de los ecosistemas, el suelo es un ecosistema en sí y un subsistema del sistema ecológico del que forma parte”¹. Las disciplinas que estudian el suelo se engloban en lo que se llama ciencias del suelo y entre ellas se destaca la edafología. El estudio del suelo implica el análisis de su mineralogía, su física, su química y su biología. Por este motivo, el suelo no es una entidad estrictamente geológica: la ciencia que lo estudia, la edafología, está vinculada a la geología, a la biología y a la agronomía².

Desde el punto de vista agrícola, el suelo es un cuerpo natural que además de sus características propias, ocupa un área y constituye un paisaje. Éste también afectará el uso agrícola ya que el paisaje esta compuesto por pendientes, afloraciones rocosas o cuerpos de agua que inciden directamente sobre la capacidad productiva de los sistemas agronómicos. Para la agricultura la capa superior del suelo, aquella con contenido de materia orgánica, es la que confiere la capacidad de uso que ese suelo posee. El análisis práctico del suelo agrícola se basa en un estudio de su perfil a través de observaciones de campo y de estudios analíticos en laboratorio.

Cuando hablamos de suelos en referencia a una construcción incluimos entre las disciplinas que lo estudian a la ingeniería y a la arquitectura. Desde la ingeniería se considera suelo a todo material de la corteza terrestre producto de la descomposición de rocas, constituido por elementos minerales y orgánicos que dependen de la composición química y de minerales de la roca de origen. Para el ingeniero, el suelo a estudiar es aquel libre de materia orgánica del que importan sus propiedades físico-químicas y en especial sus propiedades mecánicas. Las cargas que tiene



Fig. 21: Corte de suelo en el CRS: se puede apreciar la diferencia de colores de los horizontes.

Fig. 22: Presencia de concreciones de calcio (caliches).

toda construcción llegan siempre a los dispositivos de cimentación y es el suelo el que finalmente las recibe. Conocer las características mecánicas del mismo es uno de los factores decisivos ya que el edificio se debe apoyar en una superficie resistente e indeformable. Si se superan los límites de la capacidad de resistencia o si las deformaciones son muy importantes, los elementos estructurales y no estructurales se verán afectados en mayor o menor grado presentando fisuras, grietas o desencadenado patologías que pueden reducir la vida útil de la construcción.

La arquitectura toma al suelo como uno de los recursos disponibles a la hora de construir, desde dos puntos de vista diferentes: desde lo estructural, como se mencionó anteriormente y como material de construcción, independientemente de que la construcción utilice tierra cruda. La diferencia radica en el grado de transformación que se le aplica al suelo: en una construcción con materiales convencionales, los ladrillos cocidos por ejemplo, tienen su origen en distintos tipos de suelos que son quemados en hornos. En el caso de una construcción basada en materiales naturales, el suelo utilizado para los componentes de los muros será transformado en menor medida o utilizado en su estado natural. A pesar de que el hecho de excavar para obtener el material tierra pueda resultar trabajoso, no hay que olvidar que en toda obra siempre existen movimientos de suelo para poder construir los cimientos o construir pozos para fosas sépticas, depósitos impermeables o piscinas. También desde la arquitectura, el suelo es considerado a partir de sus características externas como calificador del entorno y siempre esta condicionando la implantación del edificio por la presencia de pendientes, afloraciones rocosas o cursos de agua.

Para conocer de que tipo de suelo se dispone en el lugar, es necesario realizar estudios de reconocimiento o pre-campo mediante la búsqueda de antecedentes del área a relevar en un examen de documentos disponibles: cartas de suelos, fotos aéreas que indican el relieve y su modo de utilización o unidades de fotointerpretación conocidas como grupos CONEAT de suelos.

Luego se pasa a una etapa de trabajo de campo, en la cual se efectuará un sondeo u observación con taladro, para tener una visión de las distintas capas que forman el suelo en ese punto y determinan su perfil³ característico. A estas capas se las denomina horizontes: un horizonte es definido como "... una capa de suelo paralela a la superficie del mismo y que posee propiedades producidas por los procesos formadores del suelo pero distintas de las capas adyacentes..."⁴. Estas características diferentes pueden ser en el caso de mediciones de campo, el espesor de los horizontes, el color, la estructura y la textura entre otras. Para mediciones de laboratorio estas características pueden ser el pH, el porcentaje de materia orgánica, la capacidad de intercambio cationico de arcillas o la mineralogía.



Fig. 23: Extracción de tierra en forma manual en el CRS en la zona III del plano de referencia.

Fig. 24: Extracción de tierra con retroexcavadora en la zona IV del plano de referencia.

Desde la edafología los horizontes se designan mediante letras y números arábigos. Los horizontes designados como H y O son horizontes superiores, al ras del suelo y corresponden a suelos con más de 20% de materia orgánica. Los H permanecen saturados con agua por períodos prolongados y relacionados con un anegamiento, presentes en áreas de pantanos y bañados. Los horizontes O pueden estar saturados de agua o no y son poco frecuentes en Uruguay. Los A son horizontes superficiales, si no hay horizonte O y presentan materia orgánica descompuesta, son orgánico-minerales. Como consecuencia de esto, los horizontes A presentan colores más oscuros que los horizontes adyacentes. Este tipo de suelos debe ser descartado como material de construcción por su alto contenido orgánico y debe ser reservado para su uso productivo.

Los horizontes E, B y C son los adecuados para la construcción con tierra. El E es un horizonte mineral y eluvial⁵. Es el de color más claro por la alta proporción de arena y limo producto de la eluviación. En Uruguay es poco frecuente y se encuentra como continuación por debajo del horizonte A. El horizonte B también es mineral y se ubica debajo del E o del A cuando no existe E. En Uruguay existe en suelos profundos y es iluvial o sea, recibe arcillas de horizontes superiores, por lo que su textura es más pesada. Pueden presentar acumulaciones de carbonatos, de yeso o de otras sales más solubles. Los horizontes C son capas de transición de material no consolidado, muchas veces tienen estructura propia de roca y existen pocas raíces. También pueden contener carbonatos, yeso o sales. El horizonte R corresponde a capas de roca consolidada, si ésta es de tipo ígnea o metamórfica resulta imposible su excavación a pala. También puede ser sedimentaria, como la roca del área utilizada por Proyecto Hornero, formada por sedimentos limo arcillosos de la formación Libertad.

Se puede establecer a modo general, que cualquier suelo es factible de utilizarse como material para una construcción en tierra a excepción de los altamente orgánicos o con presencia de arcillas extremadamente expansivas y también con la excepción de los suelos del tipo ígneos o metamórficos. Cabe destacar, sin embargo, que las rocas pueden ser incluidas como material en las cimentaciones ciclópeas o como parte de zócalos y basamentos.

Análisis del suelo del Centro Regional Sur

Previo a cualquier ensayo es conveniente realizar perforaciones en distintos puntos del terreno con una pala pocera o con un taladro holandés para reconstituir el perfil. Además de tener una muestra de ese perfil también sirve como dato aproximado de la resistencia que tiene el terreno y a qué profundidad puede estar el sustrato más firme. En Proyecto Hornero se combinaron las visiones de la agronomía y la arquitectura respecto al suelo. Es en este contexto que surgen



O	Horizonte orgánico constituido por restos vegetales parcial o totalmente descompuestos no saturados con agua. Generalmente esta ausente en suelos de praderas.
A	Horizonte oscuro de composición orgánica-mineral. Máxima lixiviación y actividad biológica.
E	Horizonte claro de máxima lixiviación y actividad biológica.
AB	Horizonte de transición más similar al A que al B. Máxima lixiviación y actividad biológica.
BA	Horizonte de transición más similar al B que al A. Máxima acumulación o alteración del material parental.
B	Horizonte de máxima lixiviación de hierro y/o arcilla o de máximo desarrollo de estructura prismática o de bloque. Máxima acumulación o alteración del material parental.
BC	Horizonte de transición más similar al B que al C. Máxima acumulación o alteración del material parental.
C	Material parental
R	Sustrato de roca consolidada

Fig. 25:
Reconstitución del perfil de la zona II en el CRS a partir de muestras tomadas con taladro holandés.

Fig. 26:
Secuencia teórica de horizontes en un perfil de suelo. (Fuente: Cátedra de Edafología, Fagro, UdeLaR).

los primeros reconocimientos del suelo en el Centro Regional Sur (CRS) mediante ensayos preliminares de campo y ensayos de laboratorio. Se contó además como insumo con la "Carta preliminar de suelos" del CRS realizado por la Facultad de Agronomía en el año 1995. También se realizaron ensayos de caracterización geotécnica a cargo del Departamento de Geotécnica del Instituto de Estructuras y Transporte de la Facultad de Ingeniería⁶.

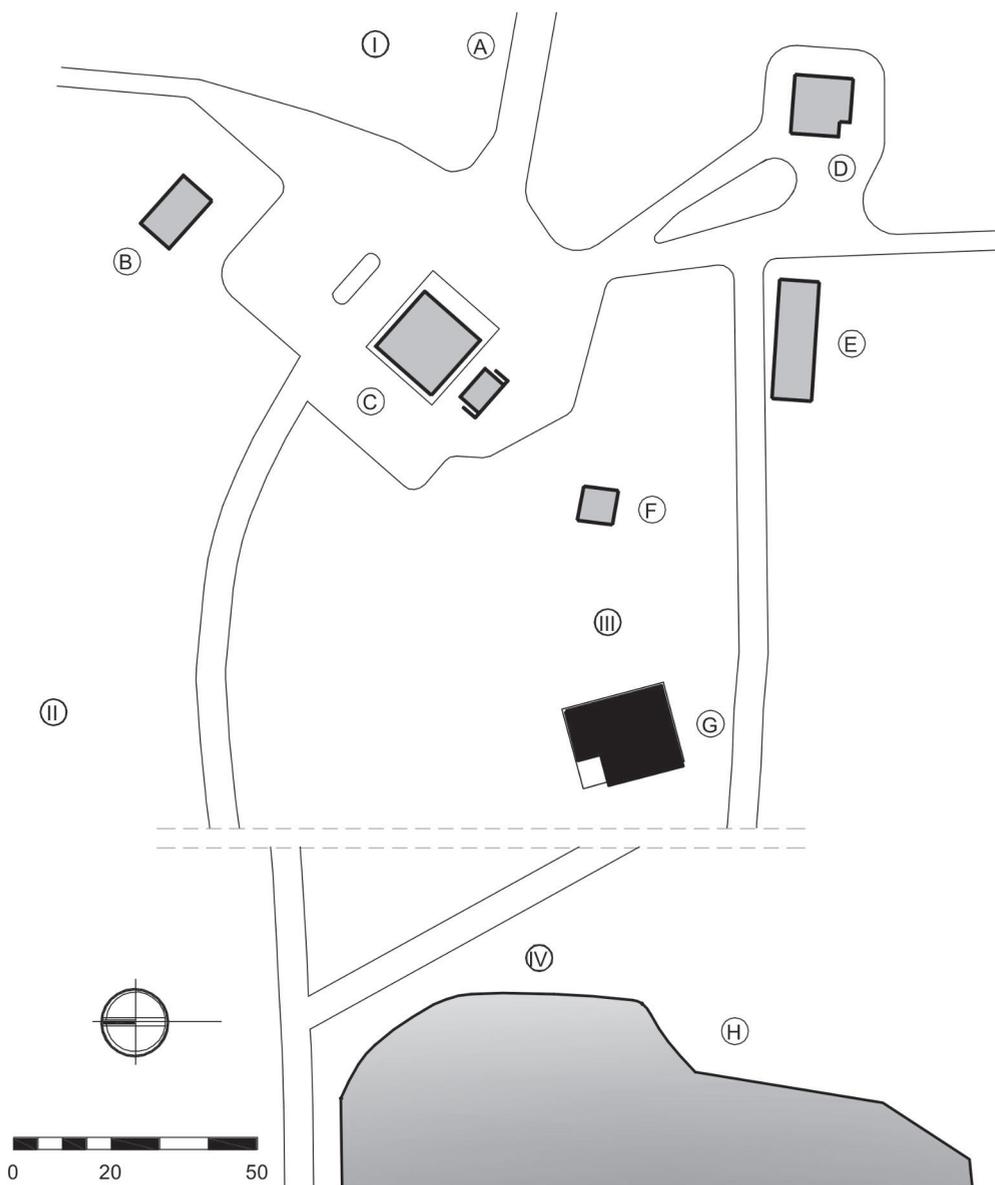
A mediados del año 2002 se realizaron perforaciones con taladro holandés y se tomaron muestras en tres zonas diferentes, esto constituyó la primera aproximación práctica para verificar los datos que se estaban manejando a nivel teórico.

En el plano de la figura 27 se indican los lugares de toma de muestras: la zona I correspondió a las proximidades de la zona de Dirección, la zona II era la zona ubicada al norte del tajamar grande y la zona III correspondió a las proximidades de donde se ubicaba la casa de la AEA. El análisis en el sitio fue realizado por equipos formados por estudiantes de agronomía y de arquitectura. Se registraron las siguientes observaciones:

Zona	Profundidad	Horizonte	Observaciones
Zona I	< 35 cm	A	Color negro, brillante, liso. Permite desarrollo radicular.
	35 a 73 cm	BA	Parecido al A. Color más claro y más opaco, más limoso.
	73 a 102 cm	CB	Color más ocre.
	> 102 cm	C	Concreciones de magnesio (color negro) y carbonato de calcio (color blanco). Color ocre por óxidos de hierro.
Zona II	< 30 cm	A	La transición entre el A y el B no es clara.
	30 a 70 cm	Bt	Color brillante. B textural.
	70 a 105 cm	BC	Transicional, similar al B, con colores más claros.
	> 105 cm	C	Presenta concreciones de calcio (color blanco).
Zona III	< 30 cm	A	Color negro, brillante, liso. Permite desarrollo radicular.
	30 a 80 cm	Bt	Color brillante.
	> 82 cm	CB	Color ocre.

Tabla de zonas y registros de muestras en el CRS - Proyecto Hornero, junio de 2002.

La zona de extracción de estas muestras y el lugar donde se implanta el Prototipo se sitúa en la zona que la carta preliminar de suelos⁷ define como unidad de mapeo N° 1. Dicho informe determina que el suelo en ese lugar se corresponde con vertisoles rúpticos típicos y lúvicos⁸, con pendientes del 1.5% al 6%. La geología de esta zona corresponde a sedimentos limo arcillosos de la formación Libertad⁹. El mismo informe observa que la profundidad del horizonte A puede variar de 15 a 25 cm. Cuando se realizó la extracción de muestras por parte de Proyecto Hornero, una de las características observadas como comprobación fue, además de la variación de la profundidad de la capa superficial, la variación de profundidad de la capa arcillosa, la cual podía encontrarse en un punto a pocos centímetros y en otros puntos próximos era necesario excavar a profundidades de casi un metro. También se encontraron numerosas concreciones



Zonas de muestras:

- I- Junio 2002
- II- Junio 2002
- III- Junio 2002 y 2003 - 2004
- IV- Marzo 2005

Nota: la zona de muestra II se ubica más al norte que la referencia de este gráfico. La planta corresponde a la situación actual del CRS.

Referencias:

- A- Camino de acceso
- B- Oficinas de Dirección
- C- Salones, oficina y servicios
- D- Galpón de raciones
- E- Galpón de horticultura
- F- Ex-casa AEA; actual obrador
- G- Prototipo Global de Experimentación
- H- Tajamar

Fig. 27: Plano del CRS con indicación de los puntos de extracción de muestras (2002 a 2005).

de carbonato de calcio (CaCO_3) que el informe también identifica en el horizonte Ck a 75 cm de profundidad.

El informe de caracterización geotécnica de la Facultad de Ingeniería, fue realizado en octubre de 2004a pedido del Proyecto para determinar las características mecánicas del suelo. Estos trabajos incluyeron el sondeo con perforación manual tipo pala americana, la extracción de muestras disturbadas conservando la humedad natural y ensayo de penetración normal (SPT).

Los puntos de análisis se ubicaron en la zona donde se implantaría el Prototipo. En los cateos realizados se determina que existe un primer estrato de suelo vegetal natural orgánico en los primeros 80 cm y luego comienza una transición a suelos limo arcillosos de color pardo grisáceo típicos de formación Libertad. También se determina en este informe que "...se presentó desde una profundidad de 1.50 m aproximadamente relativa dificultad al avance de la perforación...". El tenor de humedad natural en las muestras estudiadas presentan un tenor de entre 24 y 27%. Se recomienda ver los resultados completos de los ensayos realizados por la Facultad de Ingeniería en el anexo siguiente.

El lugar definitivo de extracción de tierra se definió en marzo de 2005, cercano al tajamar principal y corresponde a la unidad de mapeo N° 3. Esta unidad esta asociada a los desagües de tierras altas de las unidades N° 1 y N° 2. Los suelos son argisoles éutricos melánicos y planosoles éutricos melánicos¹⁰. También se encuentran concreciones de hierro (Fe) y de magnesio (Mg) en el horizonte Bt en el entorno de 22 a 60 cm de profundidad y concreciones de CaCO_3 en el horizonte Ck a profundidades mayores de 83 cm. La carta preliminar de suelos define a la unidad N° 3 de la siguiente manera: "...el espesor del horizonte superficial puede variar considerablemente; de 15 a 35 cm, ello se debe a que por la posición que este suelo ocupa en el paisaje, existe erosión positiva. También presenta grados variables de diferenciación textural, cuando la pendiente es muy baja el horizonte Bt es muy desarrollado y el espesor del A disminuye...". La elección de ese punto de extracción se debió a que el impacto de la perforación iba a ser menor en las proximidades del tajamar, donde ya existía un pequeño barranco. La extracción se realizó en forma mecánica con una retroexcavadora y el traslado al obrador se realizó en camión. La distancia desde el tajamar al obrador es de 170 metros.

Ensayos de campo:

Los ensayos de campo son aquellos métodos que permiten conocer las características cuantificables del suelo con que se va a trabajar. Estos ensayos son realizados en el mismo sitio donde se realizará la construcción e implican una infraestructura mínima de material auxiliar.

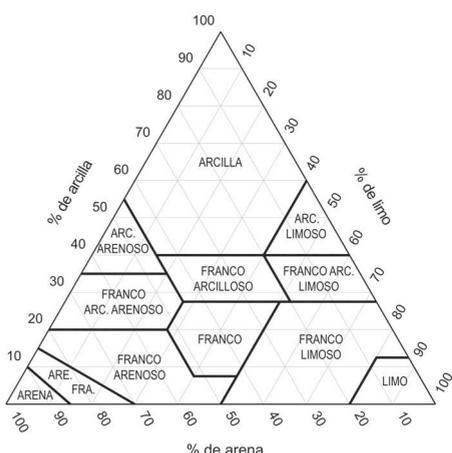


Fig. 28: Diagrama trilineal de distribución granulométrica (Fuente: Cátedra de Edafología, Fagro, UdelaR).

Fig. 29: Suelo del CRS: tierra arcillosa con concreciones de calcio (caliches).

Estos ensayos establecen una clasificación granulométrica, es decir, diferencian los componentes según el diámetro de los granos del suelo: gravas (de 20 a 2 mm), arenas (de 2 a 0.06 mm), limos (de 0.06 a 0.002 mm) y arcillas (con granulometría menor a 0.002 mm). También determinan el contenido de humedad y el grado de retracción que pueden presentar. Los ensayos de campo proporcionan información básica y sumamente necesaria para la selección del suelo con que se va a trabajar. Este tipo de ensayos no presentan una exactitud completa¹¹ pero como indican los arquitectos Mellace y Rotondaro, constituyen "...un primer paso para elaborar criterios técnicos que permitan opinar sobre su aptitud para determinados usos y para posibles formas de estabilización..."¹².

En 1965, el Ing. Cytryn escribía en su libro "Construcción con tierra": "...el uso de la tierra como material de construcción no es sencillo. Su aplicación aún no está basada en un conocimiento exacto de todas sus propiedades, a pesar del hecho de que en muchos países hay edificios de tierra no estabilizada, los cuales han estado en servicio durante más de cien años..."¹³. Lo cierto es que a más de 40 años de esto, aún es siempre necesario conocer la tierra con la que se va a trabajar por el simple hecho de que no posee las mismas propiedades en todos los puntos y zonas geográficas. La tierra no es un material estandarizado por lo tanto la forma de aproximarse a este conocimiento son los ensayos de campo. En la construcción tradicional en tierra, es decir la que era transmitida de padre a hijo, algunos de estos ensayos eran parte del proceso constructivo y el hecho de identificar la tierra apropiada dependía de la experiencia y habilidad del constructor. En la búsqueda actual del conocimiento es necesario sistematizar y tener puntos de comparación a partir de métodos similares pero sin dejar de lado el aporte empírico de quienes aún conservan los conocimientos transmitidos de generación a generación¹⁴.

Se sugiere recolectar muestras de distintos puntos del terreno e identificarlas según el lugar de extracción. Algunos autores¹⁵ recomiendan para que la muestra sea representativa se debe formar un cono con cada muestra individual y dividir ese cono en cuatro partes para luego mezclar dos de las partes opuestas y descartar las otras. Se debe seleccionar una cantidad suficiente para el ensayo que se desea hacer. Para obtener resultados que no sean aleatorios es recomendable también realizar estos ensayos con no menos de cinco muestras representativas para cada caso. Los ensayos que se presentan a continuación son los que se han realizado en Proyecto Hornero, si bien existen algunos otros mencionados en la bibliografía de referencia. Estos ensayos se han clasificado en función de los requerimientos de material auxiliar. Los primeros seis pueden clasificarse también como pruebas sensoriales ya que utilizan alguno de los cinco sentidos para identificar alguna característica particular de la muestra.

Ensayos en sitio sencillos:

1. De olor
2. De la mordedura
3. Ensayo de tacto o textura
4. De color
5. De lavado
6. De brillo y de adherencia
7. Prueba de dureza
8. De consistencia
9. Caída de bola

Ensayos en sitio, con material auxiliar:

9. De sedimentación
10. De contenido de humedad
11. De cohesión
12. De retracción y agrietamiento

1. Ensayo de olor

Objetivo: identificar la presencia de materia orgánica a través del sentido del olfato.

Procedimiento: se debe tomar una muestra de tierra humedecida y olerla.

Resultados: El olor a moho es indicador de presencia de humus o materia orgánica en descomposición, hay que tener en cuenta que las materias inorgánicas son inodoras. Como se indicó anteriormente los suelos orgánicos deben descartarse como material de construcción.

2. Ensayo de mordedura

Objetivo: detectar la presencia de arena y limo en los suelos mordiendo una muestra del material.

Procedimiento: se coloca la muestra en la boca y se procede a morderla.

Resultados: si la muestra produce una sensación desagradable por el rechine de la tierra en los dientes, se está en presencia de un suelo arenoso. Si rechina ligeramente es suelo limoso, en cambio si la sensación es pegajosa o suave, es un suelo arcilloso. Este ensayo se puede complementar con el de lavado.

3. Ensayo de tacto

Objetivo: detectar las partículas contenidas en los suelos a través del sentido del tacto. Este ensayo también es conocido como ensayo de la cinta

Procedimiento: se toma una muestra de tierra humedecida y se amasa ligeramente hasta formar una pasta homogénea. Se toma la muestra entre el dedo índice y el pulgar y se la presiona para hacerla deslizar sobre el dedo pulgar.

Resultados: si la textura es muy áspera y abrasiva y se deshace al realizar el ensayo el suelo contiene una proporción importante de arena; si es poco rugosa y no es pegajosa pero la muestra se mantiene sin deshacerse se esta en presencia de limo; y si es suave, lisa y presenta cohesión entonces este suelo contiene arcilla, eventualmente también puede contener terrones difíciles de romper. También aquí se puede observar el brillo de la muestra. Se puede establecer como criterio aproximado que si la muestra es muy lisa y brillante puede poseer más de un 40 % de arcilla, si la cinta es escamosa puede contener entre un 20% y un 40% de arcilla y si no se puede formar la muestra para realizar el ensayo puede contener menos de un 20% de arcilla

4. Ensayo de color

Objetivo: identificar el tipo de suelo según el color observado.

Procedimiento: se toma el material en estado seco y se identifica el color predominante.

Resultados: los colores claros y brillantes son característicos de suelos inorgánicos. Los colores castaño oscuro, verde oliva o negro son característicos de suelos orgánicos. Si existen colores blancos o grises, se puede presumir que hay presencia de material calcáreo, también indican la



Fig. 30: Ensayos sensoriales para detectar el tipo de partículas de la muestra.

Fig. 31: Mesa de ensayos en el taller práctico de Proyecto Hornero, mayo de 2004.

presencia de limos y carbonato de calcio (caliches). Los colores rojos y castaño oscuro indican la presencia de óxido de hierro y los ocres y amarillos hidratos de carbono.

5. Ensayo de lavado

Objetivo: detectar si el suelo contiene arenas, limos o arcillas.

Procedimiento: se debe frotar en la mano una muestra de tierra húmeda y a continuación proceder a lavarse las manos.

Resultados: si las partículas se sienten claramente y se eliminan sin necesidad de utilizar agua ni de que se sequen las manos éste es un suelo arenoso o gravoso. Si la muestra se pega en las manos pero al frotarlas es fácil de limpiar, este es un suelo limoso. Si la muestra es pegajosa y se necesita agua para limpiar las manos, este suelo es arcilloso. Esta prueba es complementaria a la de la mordedura

6. Ensayo de brillo

Objetivo: detectar la presencia de arcilla mediante el brillo de sus partículas.

Procedimiento: es necesario moldear en forma de bola una muestra de tierra húmeda de 8 o 9 centímetros de diámetro y hacer un corte con un cuchillo.

Resultados: si la parte cortada se presenta brillante la mezcla tiene un alto contenido de arcilla, si es poco brillante es limo y si es opaca es arena. Debe tenerse en cuenta que la muestra de tierra puede contener cuarzos o mica que aumenten el brillo independientemente de la presencia de arcilla. En forma simultánea se puede realizar el ensayo de adherencia, que consiste en observar la posible adherencia de la muestra de tierra en el elemento cortante. Si el corte se realiza con dificultad la muestra tiene presencia de arcilla, si por el contrario se realiza sin dificultad, la muestra es arenosa.

7. Ensayo de dureza:

Objetivo: constatar la resistencia de los suelos.

Procedimiento: se toma una muestra de tierra y se le agrega agua hasta formar una pastilla cilíndrica de 2 a 3 cm de diámetro y 1 cm de altura¹⁶. Se deja secar completamente durante un par de días y luego se intenta romper presionándola con el pulgar.

Resultados: La resistencia se puede clasificar en alta, media y baja. Cuanto más arcilloso sea el suelo, más resistente será la pastilla.

8. Ensayo de consistencia

Objetivo: detectar la presencia y cantidad de arcilla, limo, arena y materia orgánica en el suelo y percibir la plasticidad del mismo, limitando la cantidad de agua agregada.

Procedimiento: se debe hacer una pequeña bola de tierra húmeda de 2 a 3 centímetros de



Fig. 32: Ensayo de caída de bola: la imagen muestra la forma óptica que debe adoptar la bola luego de la caída de modo que se deforme pero que no se desgrane ni se fisure en exceso.

Fig. 33: Ensayo de cohesión: desplazamiento del cilindro de tierra humedecida hasta que éste quiebre.

diámetro y formar un cilindro de 3 mm de diámetro. El cilindro no debe romperse antes de los 3 mm, de ser así debe agregarse más agua hasta que el cilindro pueda ser formado. Cuando rompe con ese valor de diámetro es cuando llega a su contenido de humedad óptimo. Con esa muestra se debe hacer una bola nuevamente y apretarla fuertemente entre los dedos pulgar e índice.

Resultados: de acuerdo a la dificultad para romper dicha bola con los dedos se puede determinar el contenido de arcilla de ese suelo. Si no se rompe o es difícil de romper entonces, hay gran cantidad de arcilla. Si se aplasta fácilmente y se fisura, hay un contenido medio de arena. Si se desmenuza y se fisura, indica que tiene bajo contenido de arcilla ya que no tiene cohesión. Si al tacto se siente esponjosa y suave, es porque la muestra es de tierra orgánica, este tipo de tierra la descartamos como material de construcción.

9. Ensayo de caída de bola:

Objetivo: determinar la capacidad aglutinante que tiene el suelo.

Procedimiento: se toma una muestra de tierra húmeda, se forma una bola de 4 o 5 centímetros de diámetro y se deja caer desde una altura de 1.20 m sobre una superficie plana.

Resultados: si la bola se aplasta levemente y sin fisurarse, esta muestra tiene un alto contenido de arcilla. Si la bola se desgrana y se deshace por completo al caer, es porque posee un bajo contenido de arcilla y carece de un elemento que le otorgue la cohesión necesaria. La situación óptima será cuando la bola se deforme pero que no se desgrane ni se fisure en exceso.

9. Ensayo de sedimentación

Objetivo: detectar los componentes del suelo mediante la decantación de una muestra tomada del sitio.

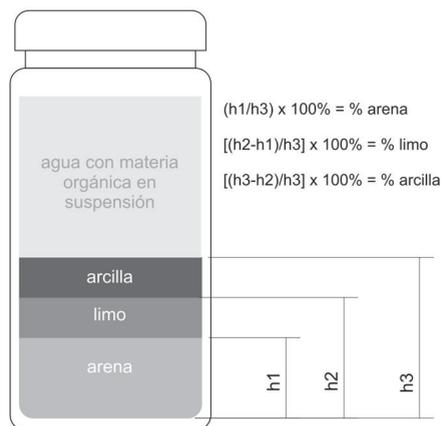
Procedimiento: se coloca una muestra de tierra, con la menor proporción de terrones posible, en un frasco de vidrio transparente y luego se le agrega una cantidad de agua limpia en proporción 3:1 a la cantidad de tierra. Se agita la mezcla y se deja reposar un par de horas. Posteriormente se repite la operación y se deja reposar otra hora más.

Resultados: las partículas mayores se asientan primero en el fondo y las más pequeñas quedarán más arriba. Las arenas se decantan primero por ser las partículas más pesadas, luego los limos y finalmente las arcillas. Se mide la altura de cada una de las capas y se establece una relación porcentual en base a la altura total de todos los componentes. Para agilizar el proceso de decantación se puede agregar una cucharada de sal al agua utilizada. Los resultados obtenidos en este ensayo pueden ser comparados con los de los ensayos sensoriales para verificar los datos recogidos.

Fig. 34: Ensayo de sedimentación. La imagen se corresponde con una muestra del CRS de la zona III de un horizonte Bt.



Fig. 35: Ensayo de sedimentación. Indicaciones sobre el cálculo de cada componente. (Fuente: Seleção de solos, Proterra, 2005).



10. Ensayo de contenido de humedad

Objetivo: determinar el límite líquido (LL) del material.

Procedimiento: se humedece una muestra de tierra hasta que sea lo suficientemente maleable. Se coloca la muestra hasta el ras en un recipiente profundo y se apoya una varilla de hierro de 6 mm por 50 cm de largo sostenida con una mano. Se suelta la varilla y se observa cuanto penetra la misma. La varilla debe tener sus extremos en forma plana.

Resultados: si la varilla penetra 2 cm es que la muestra se encuentra en su estado de límite líquido (LL). En caso que la penetración sea mayor se agregará tierra y en caso que sea menor se agregará agua hasta llegar a los 2 cm. Este ensayo debe ser previo a los ensayos de cohesión y de retracción lineal.

11. Ensayo de cohesión

Objetivo: verificar el grado de plasticidad del material.

Procedimiento: se amasa una muestra de tierra humedecida y se fabrica un cilindro de 20 cm de largo. El mismo se coloca en forma horizontal sobre una hoja de papel al borde de una mesa. Se comienza a desplazar el papel hacia el borde de modo que el cilindro comience a quedar sin apoyo y se continúa deslizando el papel hasta que el cilindro se rompa.

Resultados: si se rompe a una longitud mayor de 15 cm o se deforma sin romper, tiene un alto contenido de arcilla, si rompe entre 5 y 15 cm es un suelo con mediano contenido de arcilla, si rompe antes de 5 cm es suelo arenoso.

12. Ensayo de retracción y agrietamiento

Objetivo: establecer la retracción lineal de la muestra al variar su tenor de humedad.

Procedimiento: construir una caja de madera de 4 cm x 4 cm x 40 cm¹⁷, la cual se llenará con una muestra de tierra húmeda. Se deja secar y se mide su retracción y se observa el agrietamiento que sufre. La humedad de la muestra debe ser determinada por el ensayo de contenido de humedad descrito anteriormente.

Resultados: Los agrietamientos fuertes demuestran la presencia de excesiva arcilla. Si se retrae un 10% del largo, 4 cm en este caso, la tierra tiene un alto contenido de arcilla lo que debilitará las piezas que con ella se confeccionen.

En el caso de los ensayos con suelos del CRS se hicieron moldes con muestras diferentes. El molde 1 presentaba una muestra de tierra sin ningún agregado y el molde 2 tenía el agregado de paja y arena como estabilizantes. Las sumatoria de retracciones transversales para el molde 1 fue de 2.7 cm, la separación de los lados cortos fue de 1.4 cm en total y la separación de los lados largos fue de 0.4 cm. Para cuantificar la retracción lineal consideramos las retracciones de 2.7 cm + 1.4 cm que totalizan 4.1 cm. En el molde 2, la sumatoria de retracciones transversales



Fig. 36: Ensayos de sedimentación con diferente tipo de muestras.

Fig. 37: Molde de madera para el ensayo de retracción y agrietamiento.

fue de menos de 0.1 cm, la separación de los lados cortos fue de 0.6 cm en total y la separación de los lados largos fue de 0.6 cm. La retracción lineal totaliza 0.6 cm ya que despreciamos las fisuras de menos de 1 mm.

Este resultado está reflejando el alto contenido de arcilla del suelo ensayado y su dificultad para utilizarse como material de construcción dada la retracción registrada. También se aprecia la disminución en la retracción lineal y la viabilidad de utilizar la misma tierra con el agregado de paja y arena para alcanzar valores aceptables de retracción.

En 2006 se realizó nuevamente este ensayo con la tierra sin estabilizar y también con la adición de arena y paja de trigo obteniendo resultados similares a los observados anteriormente. Esta última muestra contenía un 50% de tierra arcillosa y un 50% de arena, a lo que se agregó 1/3 del volumen aparente de tierra y arena en paja. Para esta dosificación no se observaron retracciones lineales aunque si retracciones laterales del orden de 1.5 a 2 mm que se consideraron como despreciables. Se ejemplifica a continuación el procedimiento para determinar los porcentajes de retracción y el registro de valores:

Molde 1		Molde 2	
40 cm	100%	40 cm	100%
4.1 cm	X %	0.6 cm	X %
$X = 4.1 \text{ cm} \times 100 / 40 \text{ cm} = 10.25 \%$		$X = 0.6 \text{ cm} \times 100 / 40 \text{ cm} = 1.5 \%$	

Tabla registros de ensayo de retracción - Proyecto Hornero, junio de 2002

Muestra	Retracción lineal [cm]	% de retracción	Observaciones
Molde A	5.3 cm	13.25 %	sin estabilizar
Molde B	6 cm	15 %	sin estabilizar
Molde C	5 cm	12.5 %	sin estabilizar
Molde D	sin retracciones	-	con estabilizantes
Molde E	sin retracciones	-	con estabilizantes
Molde F	sin retracciones	-	con estabilizantes

Tabla registros de ensayo de retracción - Proyecto Hornero, octubre de 2006



Fig. 38: Ensayo de retracción: la muestra de los moldes de la izquierda no contienen arena ni fibras.

Fig. 39: Detalle de la retracción presentada en las muestras con arcilla.

Zona	Prof.	Ensayo	Fecha	Observaciones
Zona I	s/d	Olor	29/06/02	No tiene olor orgánico, pero tampoco es inodoro
Zona I	s/d	Mordedura	29/06/02	La sensación al ser mordida es suave, pegajosa y harinosa. La muestra presenta alto contenido de arcilla.
Zona I	s/d	Lavado	29/06/02	La muestra es pegajosa y se necesita agua para limpiar las manos. Presenta alto contenido de arcilla.
Zona I	s/d	Brillo	29/06/02	La superficie cortada es brillante. Posee alto contenido de arcilla.
Zonas I, II y III	30 a 105 cm	Dureza	30/06/02	Se elaboraron 4 pastillas para cada profundidad. Tiempo de secado: 24 hr. Muestras de zonas I y III: a menos de 30 cm, fueron difíciles de romper. A partir de 30 cm las muestras tienen gran resistencia a la rotura y en profundidades mayores no se lograron romper. Muestras de zona II: resultados irregulares. A menos de 30 cm fueron fáciles de romper, en la profundidad siguiente fue más sencillo pero a partir de los 70 cm no se pudo romper. No se descarta errores de ejecución en dicha muestra. Se concluye que todas las muestras tienen alto contenido de arcilla, dada la alta resistencia y la gran cohesividad y plasticidad observadas.
s/d	s/d	Consistencia	29/06/02	No presentó dificultades para moldeo. La tierra estaba húmeda por lluvia.
Zona I	s/d	Caída de bola	29/06/02	Al caer la bola no presentó fisuras. Presentó alto contenido de arcilla por el poder aglutinante que se observa.
Zona III	30 a 80 cm	Sedimentación	30/06/02	Se notan 2 capas bien diferenciadas, posiblemente la de más abajo es arena y la otra, arcilla y limo, la capa inferior es más angosta.
Zona III	30 a 80 cm	Cohesión	29/06/02	Ensayo 1: 16 cm - Ensayo 2: 17 cm. Se concluye que la tierra utilizada es de alto contenido de arcilla.
Zona III	30 a 80 cm	Retracción	27/07/02	Se utilizaron 3 moldes: en uno de ellos solo se utilizó tierra y en los otros dos se le agregó arena y paja (no se registró dosificación). En el molde sin arena y paja la sumatoria de retracciones es de 4.1 cm (10% del largo total). En uno de los moldes con arena y paja, es de 6 mm (1.5%) y en el otro las fisuras no alcanzan a 1 mm. A pesar de que no se registraron dosificaciones la cantidad de arena utilizada en este último era mayor. Se concluye la necesidad del uso de arena y paja como estabilizantes dado el alto contenido de arcilla del suelo.

Tabla registros de ensayos de campo sobre suelos en el CRS - Proyecto Hornero, junio de 2002

Ensayos de laboratorio:

Si se quieren obtener datos precisos de las características del suelo, los ensayos deben ser realizados en laboratorio mediante distintos tests normalizados y en condiciones controladas. Según la publicación “Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra”¹⁸ estos ensayos al respetar normas estandarizadas permiten obtener resultados cuantitativos que facilitan la comparación con los resultados de otras experiencias. Del mismo modo los análisis de laboratorio permiten reforzar, complementar y comparar los datos que se obtuvieron con los ensayos de campo.

Ensayo granulométrico: tiene por objeto determinar la distribución por tamaño de las partículas y obtener la cantidad en porcentaje que pasan por distintos tamices. El ensayo realizado en el Laboratorio del Instituto de Construcción de la Facultad de Arquitectura (LabIC) se rigió por los métodos establecidos en las normas UNIT 82:51, UNIT NM 46:96 y el método de ensayo desarrollado en laboratorio. El ensayo se compone de tres procedimientos complementarios: ensayo por vía seca, por vía húmeda y de sedimentación.

Para el ensayo por vía seca se utilizaron balanzas de precisión, vibradores mecánicos y un juego de tamices normalizados. Para el ensayo por vía húmeda se utilizaron balanzas de precisión, un tamiz de abertura 0.105 mm y un tamiz de abertura 0.0372 mm. El ensayo de sedimentación es similar al ensayo realizado en campo pero con una serie de procedimientos que reducen la posibilidad de errores. Con los valores obtenidos se elabora una curva granulométrica que relaciona el tamaño de la partícula y el porcentaje retenido acumulado o el porcentaje pasante acumulado. Debido a que el porcentaje retenido es el total menos el pasante, puede graficarse tanto de una forma u otra con la diferencia que las curvas obtenidas serán inversas.

Límites de Atterberg: este ensayo permite analizar los diferentes estados de contenido de humedad de un suelo. Estos estados son el estado líquido, el plástico, el semisólido y el sólido. La determinación de las propiedades conocidas como límite de Atterberg se realizan en las partículas finas que pasan por el tamiz de 0.4 mm. Estos son los elementos sobre los cuales el agua actúa modificando la consistencia. En este ensayo se miden los estados líquido y plástico. El límite líquido (LL) es la transición del límite plástico al líquido y el límite plástico (LP) la transición del límite plástico al sólido. El índice de plasticidad (IP) indica la plasticidad de un suelo dada las diferencias entre el límite líquido y el plástico. Cuanto mayor sea IP mayor será la dilatación y la contracción cuando el suelo se humedece y luego se seca. Estos ensayos se realizaron según las normas IRAM 10501:68, UNIT 143:60 y UNIT 144:60.

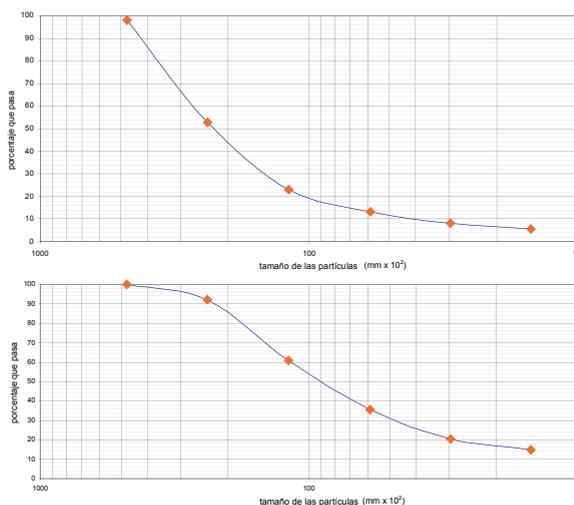


Fig. 40 y 41: Curvas granulométricas para los suelos del CRS. Las dos curvas corresponden a las muestras M2 de extracto B a profundidad de 25 cm en el primer caso y extracto C a profundidad de 60 cm para el segundo caso (LabIC, 2002).

En el LabIC se realizaron varios ensayos de laboratorio en distintos momentos. En el año 2002 se realizaron ensayos granulométricos, de límites de Atterberg y clasificación de suelos, con muestras de distintos lugares y a profundidades de 25 cm a 125 cm (ensayo N° 002/2002). En este ensayo granulométrico los tamices menores utilizados fueron de 0.149 mm o sea que no se pudo separar completamente las arcillas dado el diámetro de éstas (menor a 0.002 mm). A partir de este ensayo se realizó una extrapolación y comparación con los ensayos de campo realizados y se definió una posible dosificación para las distintas técnicas a utilizar, con cierto margen de error. Estas dosificaciones fueron confirmadas o descartadas después de realizar piezas de prueba. La profundidad aproximada del tipo de suelo a utilizar se determinó por medio de la identificación del color grisáceo de la capa de arcilla, característico del lugar. Posteriormente en el año 2005 se realizaron nuevamente ensayos granulométricos, de límites de Atterberg y clasificación de suelos con muestras específicas de la tierra que se estaba utilizando (ensayo N° 018/2005). Esta vez se utilizaron tamices que llegaban a un apertura de 0.0001 mm. Las muestras para este segundo ensayo eran los suelos seleccionados anteriormente y que según sus propiedades obtenidas en ensayos de campo contenían un muy alto porcentaje de arcilla. Estas muestras correspondían a la zona IV en el plano de ubicación, próxima al tajamar principal.

Para el caso del índice de plasticidad se presenta la siguiente tabla genérica para distintos tipos de suelos y a continuación los resultados obtenidos en laboratorios para las muestras ensayadas.

Tipo de suelo	LL (%)	LP (%)	IP
Muy arenoso	10 a 23	5 a 20	< 5
Muy limoso	15 a 35	10 a 25	5 a 15
Muy arcilloso	28 a 150	20 a 50	15 a 95
Bentonita	40	8	32

Tabla de índices de plasticidad de barro según Voth, 1978
(Extraído de "Manual de construcción con tierra")

Muestra	LL (%)	LP (%)	IP
M1 (60 cm)	60.02	43.05	16.97
M1 (125 cm)	73.33	34.31	38.99
M2 (25 cm)	52.45	33.48	18.97
M2 (60 cm)	64.52	32.56	31.96
M3 (60 cm)	77.78	41.94	35.84

Tabla de índices de Límites Líquido y Plástico e Índice de Plasticidad para Proyecto Hornero, LabIC 2002

Muestra	LL (%)	LP (%)	IP
M1	77.7	22	55.7
M2	84.2	34	50.2

Tabla de índices de Límites Líquido y Plástico e Índice de Plasticidad para Proyecto Hornero, LabIC 2005

Se recomienda ver los resultados completos de los ensayos realizados en LabIC en el anexo de este capítulo.

Conclusiones:

Para utilizar un suelo como material constructivo puede ser necesario, según la composición y granulometría presente, mejorar su resistencia mecánica, su cohesión o controlar sus retracciones. Para ello, muchas veces es necesario el agregado de estabilizadores. Estabilizar un suelo implica modificarlo para obtener las propiedades necesarias para el fin que se destina.

Se pueden mencionar tres procedimientos básicos para la estabilización de un suelo: la estabilización mecánica, la estabilización física y la estabilización química. La estabilización mecánica implica "...la compactación del suelo para realizar cambios en su densidad, resistencia mecánica, capacidad de compresión, permeabilidad y porosidad. La estabilización física actúa sobre la textura del suelo con la mezcla controlada de distintas fracciones granulares. En la estabilización química se agregan materiales o productos químicos produciendo una reacción físico química entre los granos y los materiales o agregados..."¹⁹. Los estabilizadores físicos pueden ser minerales o fibras agregados (arenas, paja, estiércol, etc.) y los estabilizadores químicos pueden ser aglomerantes o impermeabilizadores (cemento, cal, bitumen, etc.). En función del análisis y evaluación de los ensayos realizados se deberá establecer que estabilizador es necesario agregar. Una vez definido esto, se deben realizar pruebas para verificar los resultados y eventualmente cambiar de estabilizante o modificar la cantidad de éste hasta llegar al resultado deseado. El hecho de agregar estabilizantes es una práctica milenaria y se ha perfeccionado a través de los años por medio del ensayo y el error.

En el caso de Proyecto Hornero los estabilizantes utilizados fueron del tipo físico. Se agregó arena y paja en todas las técnicas utilizadas para reducir principalmente la retracción natural del suelo del lugar. En cuanto a las dosificaciones empleadas se recomienda consultar el capítulo IV referido a las técnicas utilizadas.

Notas y citas:

¹ Fuente: www.wikipedia.org

² Ídem.

³ Perfil del suelo: sucesión de horizontes genéticos desde la superficie hasta el material generador inalterado o hasta la roca madre. Apuntes del curso de Edafología de la Facultad de Agronomía- UdelaR.

⁴ El estudio del suelo: Apuntes del curso de Edafología, Cátedra de Edafología, Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía.

⁵ Eluviación: fenómeno por el cual se pierden partículas finas (arcillas por ejemplo) generalmente por lavado que produce el escurrimiento del agua.

⁶ "Informe de caracterización geotécnica del terreno de implantación del hogar estudiantil Proyecto Hornero", Departamento de Geotécnica, Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería.

⁷ Las zonas corresponden a las identificadas como 1B, 1C y 3A según la carta preliminar de suelos de Califra, Alvaro; Duran, A.; Reschutzegger, M.; Ruiz, A.; Silva, A.; Julio 1995.

⁸ Los vertisoles son suelos del orden de suelos melánicos. "...Son suelos oscuros, de texturas finas que se agrietan durante períodos de humedad deficiente y tienen una alta capacidad para contraerse y expandirse con los cambios de humedad. Son muy plásticos y pegajosos, de permeabilidad muy lenta y tienen gran retención de agua...". Tienen alto contenido de materia orgánica. Los vertisoles "...pueden presentar un doble perfil: el solum varía entre 20 y 30 cm que corresponde a la parte convexa del microrrelieve (fase superficial)

y entre 90 y 120 cm correspondiente a la parte cóncava (fase profunda). Este carácter de los suelos está asociado a los fenómenos de expansión-contracción y automezclado...". Los vertisoles rúpticos típicos, presentan este doble perfil y están asociados al microrrelieve de ondas y no presentan horizonte argilúvico horizontalmente discontinuo. Los vertisoles rúpticos lúvicos si poseen horizonte argilúvico horizontalmente discontinuo. (Fuente: "Resumen de edafología, carta de reconocimiento de suelos del Uruguay": apuntes del curso de Edafología, Cátedra de Edafología, Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía).

⁹ Es una formación geológica originada hace 1.5 millones de años. "...Esta formación, separada y denominada así en Bossi (1966) se desarrolla principalmente al sur, aunque se ha encontrado en el centro y litoral norte del país. En general marca un paisaje suavemente ondulado, con laderas convexo-cóncavas y suaves rompientes. Litológicamente está integrada casi exclusivamente por lodolitas, o sea rocas limosas mal seleccionadas con arena gruesa y gravilla de hasta 5 mm, dispersa. Ocasionalmente puede llevar a englobar cantos en el contacto con rocas metabólicas o ígneas. Son rocas de cemento arcilloso, siempre masivas, friables u de color pardo. Muy frecuentemente contienen concreciones huecas de carbonato de calcio y no es raro encontrar cristales de yeso. La potencia máxima asignada a esta unidad es del orden de los 20 m. La formación Libertad se considera de edad pleistocénica superior considerando que se apoya discontinuamente sobre la formación Raigón y que ha sido sometida posteriormente a su deposición a procesos erosivos...". (Fuente: Apuntes del curso de Edafología, Cátedra de Edafología, Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía).

¹⁰ Los argisoles y los planosoles pertenecen al orden de suelos saturados lixiviados. Estos suelos tienen como característica fundamental la diferenciación textural resultante de los procesos de lixiviación de arcillas. Los argisoles pueden presentar un horizonte B argilúvico lo suficientemente compacto como para generar una napa colgada. Los planosoles presentan un horizonte argilúvico de máximo desarrollo y muy poco permeables que origina una napa colgada, por esto presentan un horizonte álbico de más de 3 cm de espesor. (Fuente: "Resumen de edafología, carta de reconocimiento de suelos del Uruguay": apuntes del curso de Edafología, Cátedra de Edafología, Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía).

¹¹ Hay algunas diferencias entre algunos autores respecto a la exactitud y confiabilidad de los ensayos de campo. En "Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra" sus autores afirman: "(...) os testes expeditos, como estes aqui apresentados, são perfectamente credenciados para seleccionar solos apropiados e, em conjunto com o conhecimento técnico do especialista, para projetar e acompanhar a obra, garantir o desempenho e durabilidade da "casa de terra". Por su parte en "Manual de construcción con tierra" el arquitecto Minke considera que algunos de estos ensayos presentan porcentajes de error muy grandes como ser el de sedimentación o algunos ensayos de cohesión.

¹² Rodolfo Rotondaro y Rafael Mellace en el artículo "Identificación y selección de suelos", p. 1.

¹³ S. Cytryn en "Construcción con tierra, sus principios y aplicación para viviendas", p. 1.

¹⁴ "...Para avaliar as características da terra disponível e a possibilidade de seu uso na construção de viviendas, os "mestres de construção" procuraram, de alguma forma, desenvolver seus métodos e transmitir sua experiência para as gerações seguintes. Geralmente dirigidos a uma técnica construtiva específica, cada um contava, seguramente, com a perspicácia e a habilidade desenvolvidas durante anos de trabalho na prática da construção. O adobeiro e o taipeiro, por exemplo, sabiam muito bem como encontrar a terra própria para fabricar o adobe e a taipa. Os técnicos, no instante que necessitaram difundir as técnicas de construção com terra de uma região para outra, principalmente através da escrita, sentiram-se obrigados a compreender as receitas passadas de pai para filho, de mestre para aprendiz, e transformá-las em palavras e desenhos que representassem os procedimentos desenvolvidos por estes sábios construtores. De alguma forma, alguns testes foram mais apreciados que outros, provavelmente porque eram facilmente assimilados e transmitidos. Assim, estes aparecem na maioria dos livros e manuais que tratam dos procedimentos para escolha da terra para construção. Os técnicos procuraram também desenvolver métodos expeditos para o controle de execução, como se faz em qualquer construção convencional. Estes também existiam com os "mestres da construção", que eram repassados aos aprendizes na própria prática...". Extraído de "Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra – práticas de campo", p. 28.

¹⁵ C. Martins Neves, O. Borges Faria, R. Rotondaro, P. Cevallos Salas, M. Hoffmann.

¹⁶ Algunos autores indican que las dimensiones deben ser de 5 cm de diámetro y 2 cm de altura.

¹⁷ Algunos autores indican que las dimensiones deben ser de 2 cm x 2 cm x 10 cm.

¹⁸ C. Martins Neves, O. Borges Faria, R. Rotondaro, P. Cevallos Salas, M. Hoffmann.

¹⁹ Material de apoyo del 6º Seminario Taller de Arquitectura en Tierra, p. 3.

ANEXO CAPITULO III

Lista de chequeo para materiales de laboratorio de campo

- | | | |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> Frascos de vidrio con tapa | <input type="checkbox"/> Sal fina de mesa | <input type="checkbox"/> Cuchara de albañil |
| <input type="checkbox"/> Agua limpia | <input type="checkbox"/> Cuchillo | <input type="checkbox"/> SERRUCHO |
| <input type="checkbox"/> Tabla o mesa | <input type="checkbox"/> Espátula | <input type="checkbox"/> Marcadores |
| <input type="checkbox"/> Metro de carpintero | <input type="checkbox"/> Palas | <input type="checkbox"/> Calibre |
| <input type="checkbox"/> Etiquetas autoadhesivas | <input type="checkbox"/> Paño de limpieza | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> Varilla de hierro 6 mm | <input type="checkbox"/> Hojas de papel limpias | <input type="checkbox"/> |

Lista de chequeo de ensayos de campo

- | | | |
|---------------------------------------|--|---|
| <input type="checkbox"/> De olor | <input type="checkbox"/> De brillo | <input type="checkbox"/> De retracción |
| <input type="checkbox"/> De mordedura | <input type="checkbox"/> De dureza | <input type="checkbox"/> De sedimentación |
| <input type="checkbox"/> De tacto | <input type="checkbox"/> De consistencia | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> De color | <input type="checkbox"/> Caída de bola | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> De lavado | <input type="checkbox"/> De cohesión | <input type="checkbox"/> |

Se presenta a continuación material extraído de los informes de ensayos realizados en el Laboratorio del Instituto de Construcción (LabIC) por personal técnico y un cuadro resumen del informe de caracterización geotécnica realizado por la Facultad de Ingeniería.

Ensayo N° 002/2002: ensayo de granulometría de acuerdo al método de ensayo desarrollado en laboratorio, determinación de los límites de Atterberg (Líquido, Plástico e Índice de Plasticidad) según Norma UNIT 142:60, 143:60, 144:60 y clasificación de suelos según AASHTO T88 "Particle size analysis of soils". Se suministraron cinco muestras de muestras provenientes de la zona III (véase Fig. 35) de diferentes sustratos identificados como B-25 cm (M2), B-60 cm (M1), C-60 cm (M2), C-60 cm (M3) y C-125 cm (M1). Para obtener la distribución de tamaños, se emplearon tamices normalizados y numerados (N° 4: 4.76 mm; N° 8: 2.38 mm; N° 16: 1.19 mm; N° 30: 0.59 mm; N° 50: 0.29 mm; N° 100: 0.149 mm) dispuestos en orden decreciente. De cada muestra suministrada se tomaron 80 g y se secaron a estufa hasta mantener un peso constante en dos pesadas sucesivas. Una vez enfriadas se machacaron y pulverizaron utilizando mango de mortero cubierto con goma. Cada muestra obtenida se sometió al agitado mecánico en el juego de tamices durante 90 segundos. Se pesa la muestra retenida en cada tamiz con una precisión de 0.1 g. Con los valores obtenidos se realizó una curva granulométrica que relaciona el porcentaje de partículas retenido en cada tamiz con el diámetro de la partícula. Los equipos utilizados para el ensayo granulométrico fueron: juego de tamices normalizados, balanza digital de precisión CHYO ML 2000B), vibrador mecánico Soiltest CL-305, herramientas y accesorios. Para determinar el límite líquido se utilizó: cuchara de Casagrande (taza de bronce con una masa de 200 ± 20 g montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de caucho), acanalador (mango de calibre de 1 cm. para realizar acanaladura de la muestra y verificación de la altura de caída de la cuchara), espátula de hoja flexible, horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $110^\circ \pm 5^\circ$ C, balanza digital de precisión CHYO ML 2000B, herramientas y accesorios. Para determinar el límite plástico se utilizó: plato de evaporación, espátula de hoja flexible, placa de vidrio esmerilado como superficie de amasado, patrón de comparación de 3 mm de diámetro y horno de secado, balanza digital, herramientas y accesorios con las mismas características que para el límite líquido. La granulometría de las muestras responde a los valores representados en las tablas y gráficas de páginas 3, 4 y 5, los límites de Atterberg en la página 5 y la clasificación de suelos en páginas 6 y 7 de este ensayo.

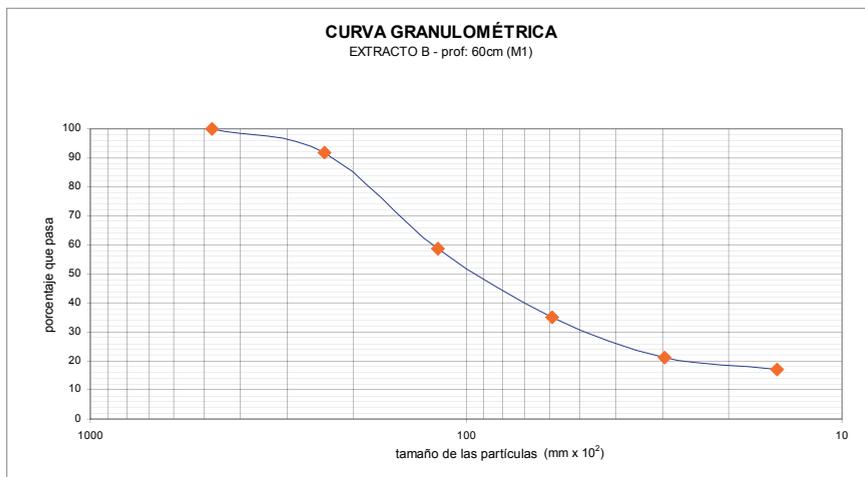
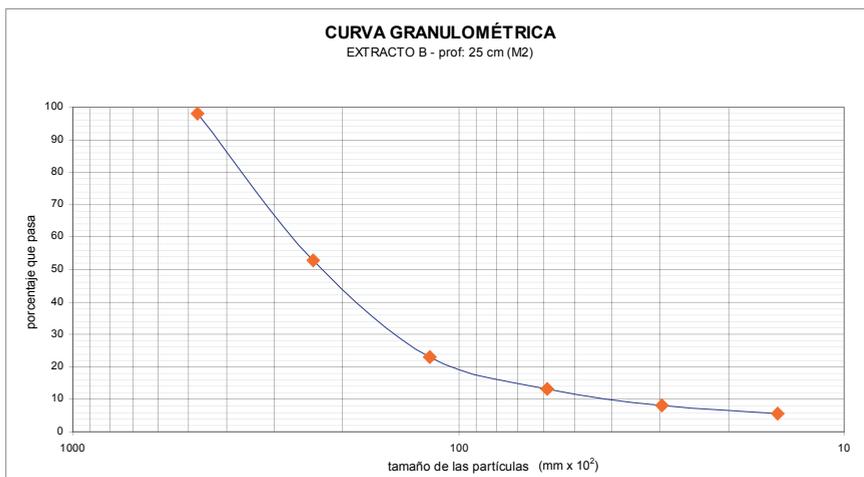
Ensayo N° 018/2005: análisis granulométrico según métodos establecidos en las Normas UNIT 82:51, UNIT NM 46:96 y método de ensayo desarrollado en el laboratorio. Las muestras objeto del ensayo fueron identificadas como Muestras 1 y 2 que habían sido extraídas de la zona IV (véase Fig. 35) y que ya se estaba utilizando para fabricar componentes de tierra. El análisis granulométrico se compone de tres procedimientos de ensayo complementarios: ensayo granulométrico por vía seca (UNIT 82:51), ensayo granulométrico por vía húmeda (UNIT-NM 46:96) y ensayo de sedimentación. El procedimiento de laboratorio desarrollado para éste último ensayo consiste en tomar 50 g de cada muestra seca de diámetro inferior a 0.250 mm, 20 cc de solución floculante y agua necesaria para obtener una consistencia de lechada delgada. Se deja reposar la muestra y se transfiere al cilindro de sedimentación añadiendo agua hasta completar 1000 cc. Se agita vigorosamente durante un minuto y se deja reposar en un ambiente sombrío y sobre una base estable. Transcurrido el tiempo definido para el diámetro de partículas que interesan detectar se extrae una porción de 100 cc del preparado y se lleva a estufa. Se determina el contenido seco de lo extraído que representa el contenido de partículas menores al diámetro estudiado presente en la muestra de suelo seco original. El dispositivo de ensayo utilizado consiste en tubo de sedimentación de 60 cm de largo y diámetro de 5.08 cm y balanza digital de precisión CYHO ML-2000B. La granulometría de las muestras responde a los valores representados en las tablas y gráficas de la página 2 del ensayo N° 018/2005.

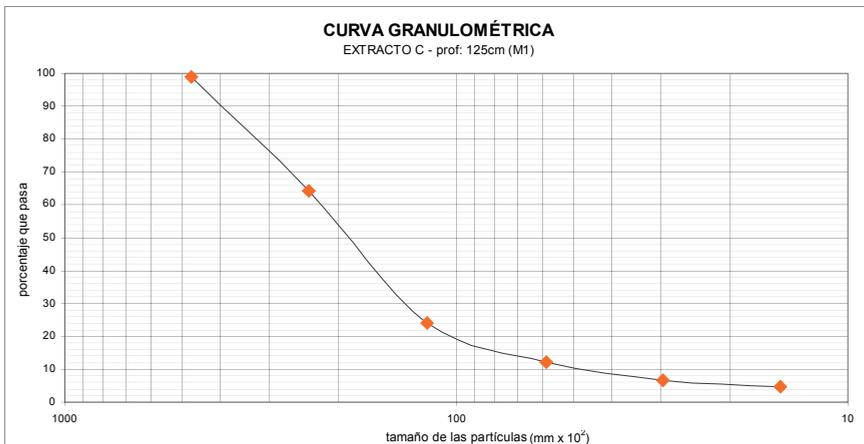
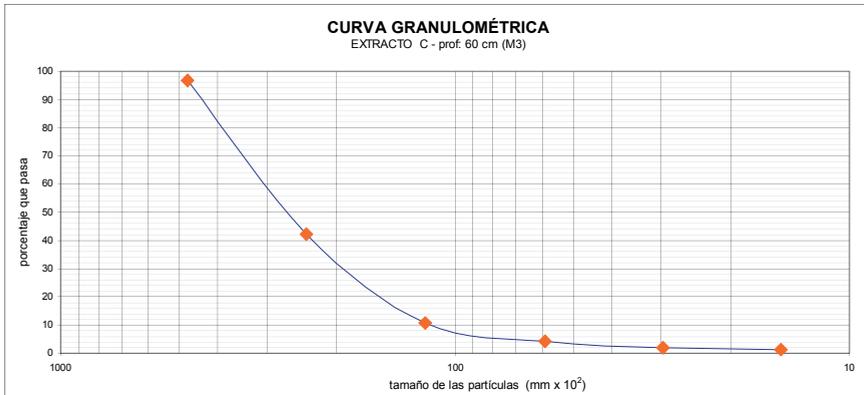
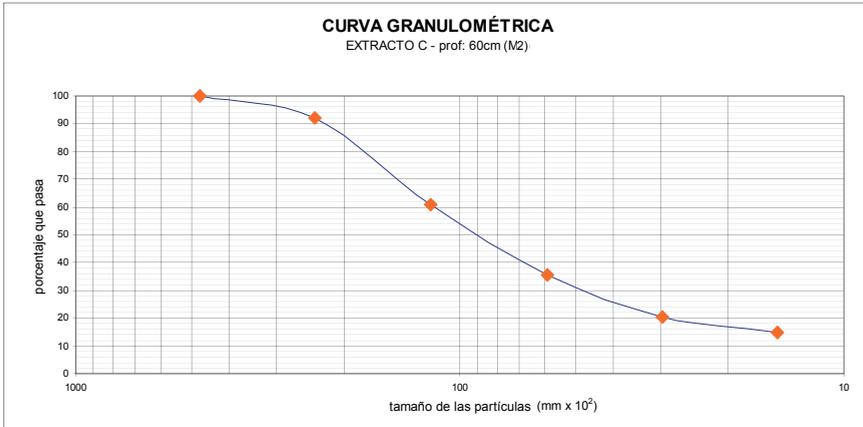
Ensayo N° 019/2005: se determinó el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad y la clasificación del suelo para la misma tierra que el ensayo anterior. Las especificaciones completas de este ensayo se encuentra en la cartilla del informe.

7. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

7.1. GRANULOMETRÍA:

Curvas Granulométricas:





Coefficientes de Uniformidad

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

D10: tamaño donde pasa el 10 % del material

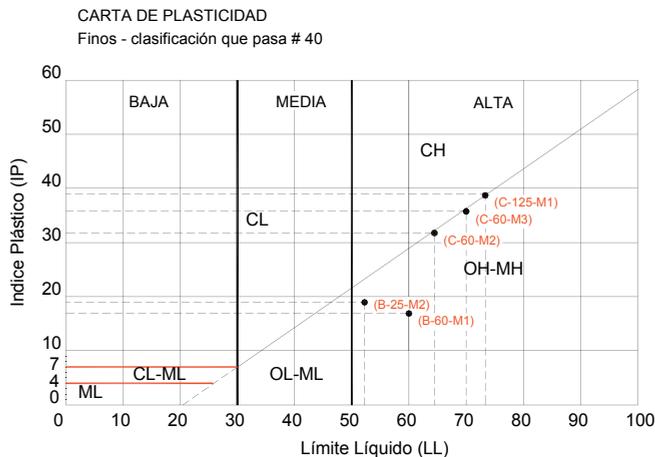
D60: tamaño donde pasa el 60 % del material

Muestra	Cu
Extracto B – 25 cm. – M2	6.90
Extracto B – 60 cm. – M1	8.30
Extracto C – 60 cm. – M2	7.65
Extracto C – 60 cm. – M3	2.66
Extracto C – 125 cm. – M1	4.41

7.2. LÍMITES DE ATTERBERG:

Muestra	LL	LP	IP
Extracto B – 25 cm. – M2	52,45	33,48	18,97
Extracto B – 60 cm. – M1	60,02	43,05	16,97
Extracto C – 60 cm. – M2	64,52	32,56	31,96
Extracto C – 60 cm. – M3	77,78	41,94	35,84
Extracto C – 125 cm. – M1	73,33	34,31	38,99

7.3. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

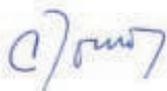


Muestra	Clasificación
Extracto B – 25 cm. – M2	OH – MH
Extracto B – 60 cm. – M1	OH – MH
Extracto C – 60 cm. – M2	OH – MH
Extracto C – 60 cm. – M3	OH – MH
Extracto C – 125 cm. – M1	OH – MH

OH: Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.
MH: Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos.

Se deja constancia que los resultados del ensayo se refieren exclusivamente a las muestras identificadas en el presente informe.

Se expide el presente informe en Montevideo, a los 22 días del mes de noviembre de 2002.



Arq. Carola Romay



Arq. Rosanna Barchiesi

Asistentes de Laboratorio

Nivel [m]	Descripción	Muestra	Nspt (en 30 cm)	Humedad natural [%]	LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	Índice de grupo	Fracción arcilla [%]	Limo [%]	Actividad
0 - 0.80	Suelo vegetal natural - orgánico	PHA1 (M42)		62	25		CH	A-7-6		41	52.8	43.4	0.70
0.80 - 1.00	Transición a arcilla parda. Contenido algo abundante de carbonatos, concreciones y pulverulento												
1.00 - 2.70	Arcilla pardo grisácea SPT 1 (1.50 a 1.95 m)	PHA2	9	27.0									
		PHA3		26.3									
		PHA4 (M43)											
2.70 - 3.45	Arcilla pardo grisácea, abundante carbonato disuelto y pulverulento, se disgrega, difícil penetración SPT 2 (3.00 a 3.45 m)	PHA5	17	26.1	76	33	CH	A-7-5		52	58.5	40.0	0.73
		PHA6		26.0									
0 - 0.80	Suelo vegetal natural - orgánico	PHB1 (M44)		65	30		CH	A-7-5		41	60.8	37.0	0.58
0.80 - 1.00	Transición a arcilla												
1.00 - 1.50	Arcilla pardo grisácea, carbonatos en pequeñas concreciones	PHB2 (M45)		70	29		CH	A-2-7		0	58.5	37.7	0.70
		PHB3		23.9									
1.50 - 2.30	Arcilla pardo grisácea, abundante carbonato disuelto y pulverulento, se disgrega, difícil penetración SPT 3 (1.50)	PHB4	17	23.7									
		PHB5 (M46)											
2.30 - 2.95	Arcilla pardo grisácea con vetas verdosas y presencia de nodulos de manganeso SPT 4 (2.50 a 2.95 m)	PHB6	19	25.9	74	36	MH	A-7-5		47	61.0	38.3	0.62
		PHB7		26.4									

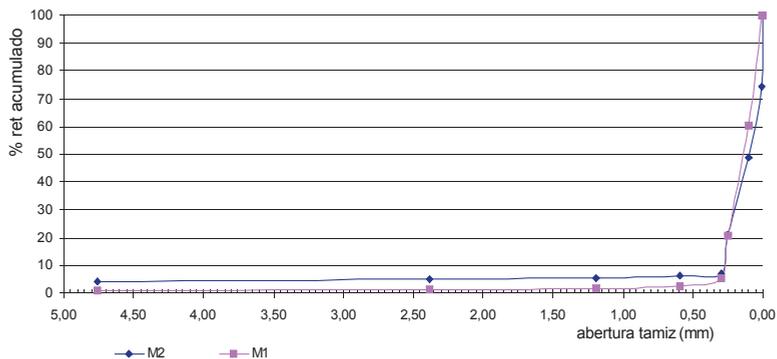
Resumen de resultados de ensayos para las muestras de los sondeos del informe de caracterización geotécnica del Departamento de Geotécnica, Instituto de Estructuras y Transporte - Facultad de Ingeniería (Diciembre de 2004)

TABLA DE DATOS

muestra 1									
peso muestra inicial (g):	339.1								
tamiz	4.76	2.38	1.19	0.59	0.297	0.25	0.105	0.005	0.0001
peso retenido (g):	2.4	1.9	1.0	3.8	9.6	50.7	135	134.7	0
% retenido parcial	0.71	0.56	0.29	1.12	2.83	14.95	39.81	39.72	0
% retenido acumulado	0.71	1.27	1.56	2.68	5.51	20.47	60.28	100	100
muestra 2									
peso muestra inicial (g):	434								
tamiz	4.76	2.38	1.19	0.59	0.297	0.25	0.105	0.005	0.0001
peso retenido (g):	17.5	4.6	1.9	2.5	4.4	60.47	120.9	110.47	111.26
% retenido parcial	4.03	1.06	0.44	0.58	1.01	13.93	27.86	25.45	25.64
% retenido acumulado	4.03	5.09	5.53	6.11	7.12	21.05	48.91	74.36	100

GRAFICO DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA

Curva granulométrica



Se deja constancia que este informe refiere exclusivamente a las muestras identificadas en el mismo.

Se expide el presente informe en Montevideo, a los 11 días de noviembre de 2005.

Arq. Gabriela Díaz Arnesto
Laboratorio del IC.

1. SOLICITANTE: Bach. Leticia Mato, Proyecto Hornero

2. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO: En respuesta a la solicitud presentada el 25 de setiembre de 2005, se realizó la determinación del Límite líquido según la Norma IRAM 10501:68, el límite plástico según la Norma UNIT 143:60, el índice de plasticidad según la Norma UNIT 144:60 y la clasificación del suelo de las muestras.

3. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: Las muestras objeto del ensayo fueron extraídas del material suministrado por el solicitante. Se identificaron las mismas como Muestras 1 y 2.

4. REALIZACIÓN DEL ENSAYO: La determinación de los límites líquido y plástico, así como del índice de plasticidad se ajustan a los métodos de ensayo descritos en las normas anteriormente citadas. El instrumental empleado consiste en balanza digital de precisión CYHO, Modelo ML-2000B; horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable y aparato de Casagrande.

5. RESULTADOS DE ENSAYO

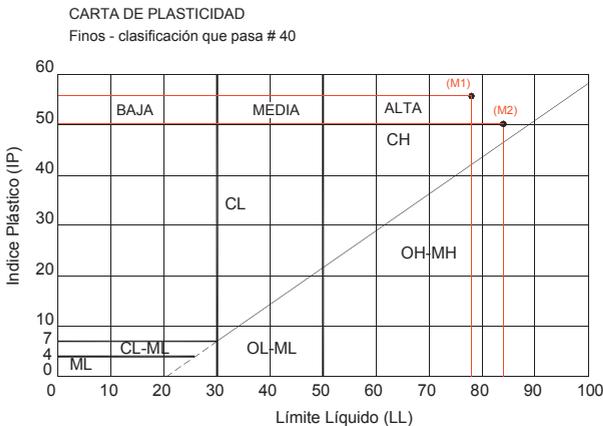
5.1 Límite líquido (LL) y Límite plástico (LP): Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

muestra	Límite líquido LL	Límite plástico LP
M 1	77.7	22
M 2	84.2	34

5.2 Índice plástico: Para La muestra 1 (M1) el índice plástico es 55.7, para la muestra 2 (M2) el índice plástico es 50.2 .

5.3 Clasificación del suelo: De acuerdo a la carta de plasticidad la clasificación de las Muestras 1 y 2 corresponde a lo indicado en la gráfica que sigue:

CARTA DE PLASTICIDAD



Las muestras M1 y M2 pertenecen a la clasificación **CH**.
CH: Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.

Se deja constancia que este informe refiere exclusivamente a las muestras identificadas en el mismo. Se expide el presente informe en Montevideo, a los 11 días de noviembre de 2005.

Arq. Gabriela Díaz Arnesto
Laboratorio del IC.

CAPITULO IV: TÉCNICAS

Introducción

La casa de estudiantes en el CRS fue concebida como un Prototipo Global de Experimentación (PGE) donde se combinan distintas técnicas de construcción con tierra. Este prototipo también busca la optimización del uso activo y pasivo de la energía solar e incorporar materiales vivos como el techo verde y el sistema natural de tratamiento de agua. Para la realización del anteproyecto se manejaron condicionantes que provenían de aspectos operativos y económicos. El uso de materiales del lugar¹, la construcción con mano de obra no calificada, la poca incidencia visual del edificio en el entorno y la dificultad para obtener fondos marcaron las decisiones en todas las etapas del proyecto.

El PGE tiene una superficie cubierta de 275 m² distribuidos en planta baja y entrepiso que incluyen alojamiento para treinta personas, un salón de reuniones, una sala de lectura, un espacio para la muestra permanente del proceso del proyecto, servicios higiénicos y cocina. El anteproyecto también incluye el tratamiento de las aguas negras antes mencionado, un plan de forestación con árboles nativos, el uso paisajístico del tajamar existente y la posibilidad de utilizar energías alternativas como la solar o eólica. A fines del 2005 y a consecuencia de varios obstáculos administrativos, financieros y operativos² se decidió dividir el prototipo en dos etapas constructivas: la primera que incluye la zona de alojamientos y la segunda etapa que completa el proyecto en su totalidad, agregando el salón y la zona de servicios.

La concepción general de un edificio en tierra tiene que tener en cuenta evitar el contacto directo con el agua de lluvia y con la humedad natural del terreno. La protección contra el agua de lluvia se materializa diseñando aleros o pavimentos o con protecciones a base de impermeabilizantes naturales cuando no es posible colocar aleros. La protección contra el agua del terreno que asciende por capilaridad se resuelve con el uso de hidrófugos convencionales en las primeras hiladas del muro.

En el PGE las protecciones están aseguradas con dos generosos aleros en las fachadas Sur y Norte que fueron previstos desde un primer momento en el anteproyecto. En la fachada Este la solución de aleros era más comprometida ya que un alero importante generaba problemas de asoleamiento en los dormitorios. Se diseñó un alero más grande con ciertos recortes pero se reducía el ingreso de radiación solar en el interior de los locales y se presentaban problemas constructivos respecto a los desagües. Finalmente se optó por reducir los aleros para evitar problemas de asoleamiento y realizar un revestimiento de tablas de madera, con una cámara de

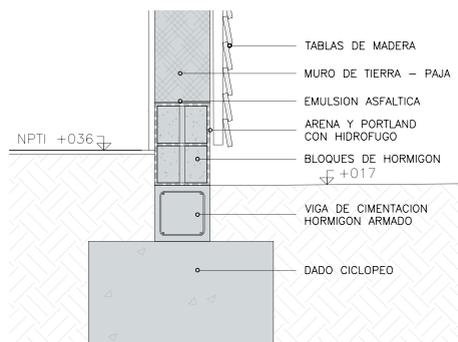


Fig. 42: Estudio de asoleamiento del proyecto original de techo verde. Se pueden apreciar los recortes que posteriormente fueron eliminados.

Fig. 43: Detalle constructivo de los muros con revestimiento de tablas en la fachada Este.

aire abierta, para la protección contra la lluvia. Para proteger los muros de la humedad del terreno se colocaron dos hiladas de bloques de hormigón sobre las vigas de cimentación, levantadas y revestidas con arena y cemento con hidrófugo. En la cara superior de estas hiladas se aplicó una mano de emulsión asfáltica previa a la primera hilada del muro de tierra según se muestra en el detalle constructivo.

Los muros exteriores del edificio son de 30 cm de espesor y se realizaron en adobe y en tierra alivianada apisonada. El planteo original del proyecto era realizar todos los muros exteriores en adobe³ pero ante los obstáculos ya mencionados, se sustituyeron parcialmente por tierra alivianada, técnica cuya velocidad de ejecución es sensiblemente mayor y no requiere el área de moldeado y secado que se necesita para elaborar adobes. Los muros interiores son de 15 cm de espesor y se utilizaron varias técnicas: tierra alivianada apisonada, en bloques y en paneles; fajina o bahareque y bloques de tierra con viruta.

El PGE tiene dos propuestas de cubiertas sobre estructura de madera, una de techo verde y otra de chapa metálica con aislación de tierra alivianada con paja. Se decidió investigar sobre techos verdes porque parecía una solución muy interesante desde el punto de vista del confort térmico, del ahorro de energía y de la no generación de escombros. La cubierta de chapa, que se realizará en la segunda etapa, contará con una aislación de tierra alivianada como protección térmica y generará mayor peso frente a la acción del viento.

A nivel de acondicionamientos, se investigó el uso de plantas emergentes para el tratamiento sanitario. Estas plantas, en su mayoría autóctonas del Uruguay, se siembran en canales y son responsables de la depuración de los efluentes de baños y cocina. Cuando la materia orgánica que contiene el agua entra al sistema se transforma en biomasa vegetal y cuando el agua es devuelta al medio está en condiciones de ser utilizada con otros destinos (riego, llenado de cisternas de inodoros, etc.). Los sistemas naturales que se están analizando para este proyecto son del tipo de sistema de flujo subterráneo en los que todo el flujo se canaliza bajo la superficie⁴. Este sistema será puesto a funcionar en la segunda etapa del Proyecto.

Madera⁵

Toda la estructura portante del Proyecto fue realizada en madera. La elección de ésta como material estructural tiene la intención de demostrar que en nuestro país es viable construir con madera, ya que es una materia prima disponible en abundancia y apta para la bioconstrucción.

Cuando se trabaja con madera nacional, pinos y eucaliptos, se deben tener en cuenta que las



Fig. 44: Selección de rolos en Planta de Tratamiento de UTE en Rincón del Bonete.

Fig. 45: Flejado de madera escuadrada en la Estación Bañado Medina (Cerro Largo).

maderas que cumplen función estructural siempre deben ser tratadas⁶ para protegerlas de la acción de hongos e insectos. Puede usarse madera sin tratar en ubicaciones no estructurales y fácilmente accesibles aunque no existe una gran diferencia económica ya que las operaciones de desmontaje y recambio pueden resultar muy costosas en operativa y mano de obra. La estructura principal de Proyecto Hornero fue realizada con rolos de madera de eucaliptos tratado con óxidos de cromo-cobre-arsénico (CCA) procedentes de UTE. Estos postes era utilizados para cableado y ya habían cumplido su vida útil pero podían ser reutilizados para la construcción luego de un proceso de selección. Para la estructura secundaria se utilizó madera de eucalipto aserrada proveniente de la Estación Bañado Medina de la Facultad de Agronomía. En este caso la protección frente a los hongos y los insectos fue realizada con tratamientos superficiales⁷.

Uso	Tipo	Sección [cm]	Largo [m]	Cantidad	Madera	Tratamiento
Estructura principal	Rolos	20	7	250	Euc. Grandis	CCA
Correas	Escuadrías	12 x 7.5	3.30	220	Euc. Grandis	Superficial
Entablonados	Tablas	15 x 2.5	3.30	931	Euc. Grandis	Superficial
Techo verde	Escuadrías	22 x 14	3.30	63	Euc. Grandis	Superficial
Revestimientos	Tablas	10 x 2.5	3.30	280	Euc. Grandis	Superficial
Bastidores	Escuadrías	7.5 x 5	3.30	294	Euc. Grandis	Superficial
Bastidores	Escuadrías	10 x 7.5	3.30	68	Euc. Grandis	Superficial
Entramados	Escuadrías	3.75 x 2.5	3.30	565	Euc. Grandis	Superficial

Tabla de piezas de madera utilizadas para Proyecto Hornero. Las medidas de escuadrías no son estándar ya que fueron aserradas especialmente para el Proyecto en la Estación de Bañado Medina.

Al igual que en el caso de la tierra, con la aparición del acero y el hormigón armado a comienzos de siglo la madera fue considerada como un material de segunda, con características desfavorables como el ser inflamable y atacable por agentes xilófagos. Los siglos de experiencia en la construcción de casas con estructura de madera han demostrado que las ventajas sobrepasan ampliamente a los inconvenientes. Su uso en la construcción de la mayoría de las viviendas actuales de Estados Unidos, Australia, Canadá o los países escandinavos es la prueba más concluyente de que la madera es un buen material de construcción tanto en zonas desérticas como en zonas muy húmedas y frías. Entre las ventajas que presenta la madera se destaca su bajo costo debido a su ligereza de peso y al escaso consumo energético necesario para su producción, transporte y elaboración; es un recurso natural renovable porque la producción de madera depende de la energía solar; presenta un buen comportamiento estructural y la posibilidad de ser utilizada en zonas sísmicas por su gran capacidad para absorber esfuerzos y resistir cargas de impacto;



Fig. 46: Detalle de encuentros a media madera en la estructura principal.

Fig. 47: Apoyo de pilares exteriores con piezas metálicas ancladas en la cimentación.

es fácil de trabajar con herramientas y máquinas sencillas y tiene excelentes cualidades como aislante acústico, térmico y eléctrico.

Como desventaja, las maderas de eucalipto y pino nacional⁸ figuran entre las maderas atacables por insectos xilófagos y tienen una menor resistencia mecánica que las maderas duras importadas pero tienen la posibilidad de ser total o parcialmente impregnadas con productos que las convierten en inatacables y les confieren una larga duración. Por ello es necesario que se usen maderas impregnadas por vacío-presión, lo que asegura que mantengan no solo los aspectos estéticos sino también sus condiciones de resistencia estructural, no presentando colapsos por desintegración del tejido leñoso. El producto más utilizado es el CCA (óxidos de cromo-cobre-arsénico) que tiene una ligazón química con la celulosa y la lignina que impiden su lixiviación, no contaminando el medio ambiente. El proceso de impregnación se realiza en autoclaves en momentos en que la madera está por debajo del 30% de humedad.

No es conveniente quemar en obra la madera impregnada porque entonces sí, los productos tóxicos se liberan al ambiente. La ventaja de la madera de *eucalyptus grandis* con respecto al *pinus* está dada por los mayores valores de resistencia mecánica, si bien no existe a la fecha un estudio estadístico, existen estudios preliminares que junto con la bibliografía internacional nos permiten tener valores de diseños aproximados.

Madera	Tensión de diseño a flexión - f_{ds} [kg/cm ²]	Tensión de diseño al corte - f_v [kg/cm ²]	Módulo de elasticidad - E_{dis} [kg/cm ²]
Pinus	58	6	53000
Eucalyptus grandis	80	8	82000

Valores de cálculo para diseño de estructuras de madera

En Proyecto Hornero se prestó especial atención a la resolución de los apoyos de la estructura y se consideraron dos situaciones: pilares interiores y pilares que quedan expuestos. Para el primero de los casos, los postes se dejaron anclados en los dados de cimentación donde no corren mayores riesgos de contacto con el agua. En el segundo caso, se buscó separar la base de los pilares del plano de apoyo mediante un elemento intermedio entre ambos materiales para evitar salpicaduras y humedad accidental. La solución consistió en utilizar piezas metálicas, fabricadas en acero galvanizado por inmersión en caliente, ancladas a los dados que elevan los pilares 15 cm del pavimento exterior. Las diferencias de humedad, o humedad accidental, en una pieza de madera afecta su durabilidad y son observables, por ejemplo, en los pilares de muelles de madera.

Los encuentros de vigas y pilares de madera fueron resueltos con uniones carpinteras a media madera y aseguradas mediante varillas roscadas, tuercas y arandelas. Para los casos donde constructivamente se hacía imposible esta solución se recurrió a uniones mecánicas, realizadas en ángulos metálicos atornillados y protegidos con pintura antióxido. Estas piezas se ubican principalmente en espacios interiores donde pueden ser sustituidas en caso de deterioro al contrario de las piezas galvanizadas mencionadas anteriormente. Se recomienda consultar la sección de Gráficos donde se explicitan dimensiones, materiales y detalles constructivos.

Técnicas de construcción con tierra

Las técnicas de construcción con tierra pueden clasificarse según el estado de la tierra que se emplea sea sólido, líquido, plástico o seco y dependerán del tipo de suelo identificado en el lugar mediante ensayos de campo o laboratorio. A modo de guía se toma la clasificación planteada por CRATerre y una tabla de referencia de las técnicas dependiendo del tipo de tierra según Proterra.

Tierra	Estado	Forma de uso	Ejemplo
No procesada	Sólido	Tierra excavada	Hábitat troglodita
		Terrones de césped	Terrón
		Tierra cortada	Bloques cortados de cantera
Procesada	Líquido (Vaciado)	Tierra vaciada (Muro monolítico)	Tapial en encofrado
		Vaciada en molde (Ladrillos)	Adobes
	Plástico (Amasado)	Tierra moldeada (Ladrillos)	Adobes
		Moldeado directo (Ladrillos)	Adobes
		Moldeado directo (Muro monolítico)	Moldeado directo en sitio
		Tierra apilada (Muro monolítico)	Bauge ⁹ en el sitio
	Seco (Compactado)	Tierra moldeada (Muro compuesto)	Torchis ¹⁰ o bahareque
		Tierra compactada (Muro monolítico)	Tapial pisado en encofrado
		Tierra compactada (Bloques)	Bloques compactados dentro de un molde
		Tierra prensada (Bloques)	Bloques prensados

Tabla de clasificación de técnicas según CRATerre; P. Doat, A. Hays, H. Houben, S. Matuk y F. Vitoux, 1979

Tipo de suelo	Técnica posible	Estabilizante
Limoso y limo-arcilloso	Apto para cualquier tipo de técnica especialmente para bloques de tierra comprimida (BTC)	Cemento pórtland, puede ser afectado por temperaturas bajas
Limoso	Uso más difícil que las tierras anteriores, se recomienda el uso de aglomerantes	Cemento pórtland o emulsión asfáltica de baja viscosidad
Arcillosa con roca arcillo-arenosa y arcillo-limosa	Tierra compactada o BTC con uso de aglomerantes	Corregir granulometría y utilizar impermeabilizantes
Arcilloso	Adobe con la adición de fibras y para técnicas mixtas	Paja de trigo u otro tipo de fibra vegetal
Limoso orgánico y arcillo-limoso orgánico	No se recomienda utilizar	-
Arcilloso orgánica	No se recomienda usar	-
Arenoso-limoso	Apto para cualquier tipo de técnica especialmente para BTC	Cemento pórtland o cal, o ambos combinados y corregir granulometría si es necesario
Arenoso-arcilloso	Apto para cualquier tipo de técnica especialmente para BTC	Cemento pórtland o cal, o ambos combinados y corregir granulometría si es necesario
Arenoso	No es apto	-
Rocoso limoso, mezcla de roca, arena y limo	Adobe y monolíticos, sólo si la roca esta disgregada	Cemento pórtland, utilizar cal como impermeabilizante
Rocoso arcilloso, mezcla de roca, arena y limo	Adobe y monolíticos	Cal, utilizar emulsión asfáltica como impermeabilizante
Rocoso	No es apto	-

Técnicas según el tipo de suelo identificado en el lugar. Basado en CRATerre (1979) y Ceped (1984) adaptado por C. Neves, O. Faria, R. Rotondaro, P. Cevallos y M. Hoffmann, Proterra (2005).

Desde este Proyecto se ha insistido constantemente que las técnicas a utilizar dependerán de la tierra disponible y en función de esta, la dosificación. No es recomendable repetir recetas para dos proyectos diferentes ya que se pueden cometer errores que afecten de forma incierta el resultado final. Lo que se recomienda es conocer y analizar la tierra, realizar piezas de prueba, verificarlas y luego tomar decisiones para cada caso en particular. Las dosificaciones de las técnicas que se presentarán más adelante corresponden al tipo de tierra disponible en el CRS, seleccionada mediante ensayos de campo y laboratorio y deben ser consideradas solo a modo de ejemplo. Según la técnica utilizada para construir con tierra, las propiedades de aislación térmica y acústica tendrán sus variaciones pero siempre presentarán un desempeño muy aceptable pero como indica Graciela Viñuales en “Arquitecturas de tierra en Iberoamérica”, “...para ello hay que tener en cuenta que es de rigor hacer un mantenimiento constante, algo a lo que la cultura urbana no es muy afecta...”

Las técnicas que se describen a continuación corresponden a adobe, tierra alivianada y fajina que fueron utilizadas en el Prototipo de Proyecto Hornero. Las demás técnicas como el tapial, el terrón, el cob o los bloques de tierra comprimida (BTC) no fueron utilizados dado el tipo de tierra del lugar, la infraestructura necesaria o los materiales disponibles. Existe una amplia bibliografía¹¹ donde se puede obtener más información sobre estas técnicas.

Muros exteriores:	Espesor [cm]	Volumen total [m2]
Adobe	30	25
Apisonado de tierra-paja	30	25
Muros interiores:	Espesor [cm]	Volumen total [m2]
Apisonado de tierra-paja	15	33
Paneles tierra-paja	15	4.5
Bloques tierra-paja	15	4.5
Rollos tierra-paja	15	4.5
Bloques tierra-viruta	15	4.5
Fajina	15	4.5
Cubierta superior	Espesor [cm]	Área [m2]
Techo verde	28	130

Metrajes de muros y cubiertas según técnicas para la primera etapa de Proyecto Hornero.

Técnica	Peso [kg]	Dimensiones [cm]	Densidad [kg/m3]	Observaciones
Adobe	6	30 x 15 x 10	1500	-
Paneles tierra alivianada	12	45 x 45 x 15	600	Paja de trigo
Bloques tierra alivianada	9	50 x 20 x 15	600	Paja de trigo
Bloques tierra alivianada	7	50 x 20 x 15	500	Viruta

Registros primarios de piezas en base a cinco muestras seleccionadas de cada componente - Proyecto Hornero, 2005.

1- Adobe

Se denominan adobes a los bloques de tierra sin cocer producidos a mano, rellenando moldes y secando las piezas al aire libre. La palabra adobe deriva del árabe “at-tob” que significa “ladrillo seco al sol” y varios etimólogos sostienen que “tob” proviene del verbo “taaba” que significa “ser de buena calidad”¹². Para asegurar esta calidad y dependiendo del tipo de tierra utilizada, ésta debe ser estabilizada para mejorar su desempeño y evitar, por ejemplo, la aparición de fisuras o retracciones de importancia. Existen registros de construcciones con adobes que datan del año 8000 al 6000 AC y desde mediados del siglo XVIII se elaboraban manuales para construir con esta técnica¹³. En muchas ciudades y pueblos de Centro y Sur de América la construcción con adobes se mantiene viva aunque amenazada por las imposiciones del mercado formal o por la mala fama que le han hecho los sismos y el mal de Chagas¹⁴. En nuestro país, el adobe es una

de las técnicas tradicionales de construcción¹⁵ que poco a poco fue dejada de lado aunque en los últimos 20 años se han realizado experiencias tanto en Montevideo como en el interior del país¹⁶.

Procedimiento

Los ensayos preliminares para fabricar adobes son similares a algunos de los descritos en el capítulo anterior y serán la herramienta de control más importante para determinar que la mezcla de tierra esté en condiciones aptas y se asegure la calidad de las piezas.

Orden	Ensayo	Objetivo
1	De contenido de humedad	Determinar el límite líquido (LL)
	De caída de bola	Determinar el límite líquido (LL)
2	De cohesión	Verificar el grado de plasticidad
3	De retracción lineal	Establecer la retracción lineal

Ensayos para determinar la dosificación en la fabricación de adobes.

En el ensayo de caída de bola, si al caer la muestra se dispersa en partículas pequeñas significa que tiene poca agua, si se aplasta pero sigue junta, tiene exceso de agua, y si se aplasta y deforma poco el material está apto. En el caso del ensayo de cohesión se considera que la mezcla es apta para fabricar adobes cuando el cilindro rompa entre 5 y 15 cm. Para reducir la presencia de retracciones y fisuras que se observen en el ensayo de retracción, se deben agregar estabilizadores físicos del tipo mineral o vegetal como arenas, paja o estiércol entre otros¹⁷. Una vez determinadas las dosificaciones posibles se elaborarán algunas piezas para verificar resultados y tener elementos para otros ensayos posteriores al secado. Es conveniente fabricar entre cinco y diez piezas de prueba para reducir la posibilidad de resultados aleatorios.

Algunos autores recomiendan que la tierra utilizada para fabricar adobes debe contener 50% de arena y 50% de arcilla en peso, o 50% de arena y 40% de arcilla en volumen (Etchebarne, 1997) aunque los porcentajes varían según el tipo de tierra con que se cuenta y para ello es necesario realizar los ensayos correspondientes. En Proyecto Hornero se realizaron varias dosificaciones hasta obtener un adobe de buena calidad. La dosificación final fue de 50% de arena, 50% de tierra arcillosa con el agregado de un 25% del volumen total de tierra y arena en paja de trigo como estabilizador. Para cada canchada se utilizaron 18 baldes de tierra, 18 baldes de arena y 9 baldes de paja. La paja agregada fue cortada de modo que no superara el lado mínimo de los moldes utilizados para evitar que la misma quedara fuera de las piezas. La paja de trigo ofrece

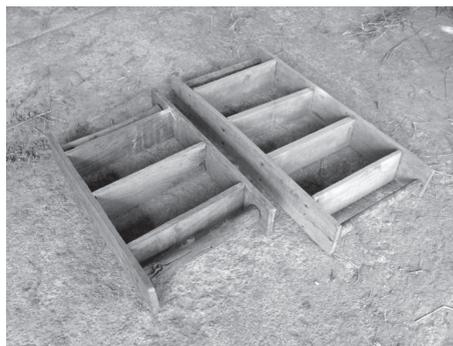
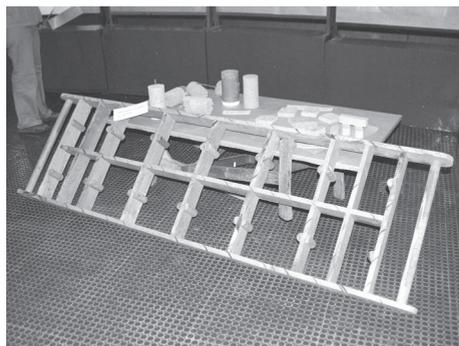


Fig. 48: Moldes para fabricar adobes de distintas dimensiones simultaneamente.

Fig. 49: Moldes dobles y triples utilizados en Proyecto Hornero para adobes de 30 x 15 x 10 cm.

algunas ventajas frente a otro tipo de fibras como su rigidez y su estructura hueca que contienen aire, el cual una vez dentro de las piezas, quedará ocluido contribuyendo a la aislación térmica del local.

Al utilizar la tierra en estado plástico es necesario un molde para darle forma a las piezas. El tamaño de los adobes puede variar según el proyecto, al igual que el tipo de molde utilizado y la cantidad de piezas que cada uno de estos puede producir. Las dimensiones deben estar en relación a las dimensiones de los muros pero también deben respetar cierta relación de largo, ancho y alto del propio adobe. Se recomienda que el largo de cada pieza sea igual o menor a dos veces el ancho y que la altura no supere los 10 cm. En el caso de Proyecto Hornero se utilizaron moldes dobles de madera y el tamaño de los huecos fue de 30 cm x 15 cm x 10 cm¹⁸. Un molde doble puede ser manipulado fácilmente por una sola persona pero para utilizar un molde de tres o cuatro adobes es necesario contar con dos operarios a causa de las dimensiones y el peso de los adobes (Cytryn, 1965).

El proceso de producción lleva por lo menos tres días en la preparación del barro y otros 15 días de secado. Tradicionalmente el primer día se extrae la tierra, se la humedece y se la pisa para que no contenga terrones. Esta tarea puede realizarse con una azada y pisando con los pies o utilizando animales. Al segundo día se le agregan los estabilizadores en estado seco (arena, paja de trigo, estiércol, etc.) aunque hay autores que recomiendan agregar las fibras en estado húmedo. En "Diseño y construcción con tierra" se indica que "...obteniendo el barro se agregará la paja mojada (dejarla en agua durante 5 días antes de comenzar para que esté blanda)...". Para el caso de Proyecto Hornero, el tiempo entre la preparación del barro y la confección de los adobes era de una semana por lo que la paja de trigo estaba completamente húmeda al momento de comenzar la producción. En caso de contar con tiempos más reducidos es preferible agregar la paja mojada tal como se indicó anteriormente.

Todos los componentes deben ser mezclados y pisados con la ayuda de pala y azada hasta lograr una pasta uniforme. Se deja reposar entre 48 y 72 horas antes de comenzar a fabricar los adobes. Este tiempo de reposo hace que la arcilla cumpla plenamente su función cohesiva debido a la atracción electroquímica entre los diferentes minerales arcillosos que los fuerza a adoptar una estructura más compacta y ordenada. En Proyecto Hornero, las condiciones particulares hicieron que el procedimiento tuviera sus variantes ya que al estar trabajando a un ritmo semanal era imposible considerar tres días para preparar la tierra. De este modo, las tareas de preparado y mezclado se realizaron en un solo día pero la mezcla permanecía en reposo durante siete días, humedeciéndola en caso de que perdiera agua¹⁹. A la semana siguiente se elaboraban los adobes y se preparaba una nueva canchada para la siguiente semana.



Fig. 50 y 51: Mezclado y pisado del barro en un pisadero de 5 m². El mezclado se realiza a pala y el pisado se hace a tracción humana con la ayuda de palas y azadas o tracción animal en pisaderos de mayores dimensiones.

Previo al llenado de los moldes se debe verificar el contenido de humedad mediante los ensayos descritos anteriormente. Si la mezcla se dejó varios días en reposo sin hidratarse puede tener una apariencia reseca, por lo que se recomienda mezclarla nuevamente antes de agregar agua ya que en su interior puede contener aún cierto grado de humedad que puede ser aprovechado. En caso de estar trabajando con un barro demasiado líquido o demasiado seco la tarea de llenado será dificultosa y el desmolde aún más, teniendo como resultado la disgregación o el aplastamiento de la pieza elaborada. También es necesario mojar los moldes con agua o con aceite quemado previo al llenado para evitar que al desmoldarse el barro se pegue al molde.

El llenado se realiza a mano, compactando suavemente con los dedos y prestando especial atención a las esquinas del molde: en esta zona es conveniente arrojar el barro con fuerza para asegurar el llenado completo. La cara superior se puede emparejar con una regla de madera o alambre o simplemente con la mano. La operación de llenado se realiza sobre una superficie limpia y horizontal, de no ser así se puede colocar una cama de arena debajo de los moldes. Inmediatamente después se procede al desmolde, tomando el molde por las agarraderas, moviéndolo suavemente y retirándolo en forma vertical para evitar que se deforme el adobe. Si la cantidad de humedad que contiene el barro es el adecuado este procedimiento no presenta mayores dificultades. En caso que se pegue el barro a las paredes del molde, se puede utilizar una tabla de madera para ejercer presión en toda la superficie del adobe o también se puede utilizar un cuchillo para separarlo y facilitar el desmolde, aunque enlentecerá el procedimiento.

Una vez desmoldados, los adobes se dejan secar en la misma posición durante 48 o 72 horas, dependiendo de las condiciones de humedad y temperatura, hasta que se puedan colocar de canto sin deformarlos. Es necesario tener en cuenta el espacio disponible para trabajar, en función de la cantidad de personas que estén realizando las tareas, para evitar deformar las piezas a causa de tropiezos o golpes con baldes y herramientas. No es recomendable secarlos al sol ya que se corre el riesgo de aumentar las retracciones y se deben proteger bajo una superficie cubierta para evitar que los afecte la lluvia. En caso de no contar con una superficie techada y si se está trabajando en períodos calurosos, se los puede proteger con paja húmeda a fin de evitar agrietamientos por pérdida excesiva de humedad. Después de otras 48 o 72 horas los adobes se pueden acopiar dejando espacios entre ellos por donde circule al aire para que el secado sea completo²⁰. Los adobes demoran unos 15 días en secar completamente, tanto en el exterior como en el interior, contando desde el primer día de producción. Una forma de verificar esto, es cortar un par de ellos con serrucho para verificar que el color sea parejo en el interior.

En Proyecto Hornero los primeros adobes fueron elaborados en junio de 2002 para obtener resultados preliminares. La tierra utilizada contenía poca arcilla, se mezcló con arena en una



Fig. 52 y 53: El moldeado de adobes consiste en llenar manualmente los moldes con el barro producido. Al retirar el molde en forma vertical se debe evitar que se deforme el adobe.

proporción de 4:3 y la fibra vegetal que se utilizó no era paja de trigo. Posterior al secado los adobes presentaban un color marrón debido a la presencia de tierra orgánica, tenían aristas irregulares, grietas y fisuras y se desgranaban con facilidad.

A continuación se presentan las dosificaciones ensayadas para Proyecto Hornero y los registros obtenidos para cada caso. Las dimensiones indicadas en las tablas corresponden al tamaño del molde utilizado, la dosificación de arena y tierra está expresada en volumen aparente y la dosificación de paja corresponde al porcentaje respecto del volumen total de arena y tierra, excepto para mayo 2004. En las pruebas de mayo y julio de 2004, las piezas fueron mezcladas y/o destruidas por desconocidos en el obrador y no se pudieron ensayar a compresión, ni tener registros fotográficos, ni verificar medidas o densidades. Para los adobes de febrero, mayo y julio de 2004 la tierra fue extraída de la zona III (véase Fig. 27) a profundidades de 60 a 125 cm y para los adobes de octubre de 2005 la tierra fue extraída la zona IV próxima al tajamar. En algunos casos excepcionales los adobes producidos estuvieron secos en una semana a pesar de que las condiciones del tiempo no eran las más favorables.



Identificación: AD-030215

Fecha	Dimensiones [cm]	Densidad [kg/m ³]
Feb. 2003	29 x 14 x 7.5	1500

Dosificación

Tierra	Arena	Paja
2	1	1/3

Observaciones:

La dosificación se basó en el ensayo de granulometría LabIC N° 002/2002. Se realizaron ensayos de campo de cohesión durante la preparación de la mezcla que determinaron que estaba en condiciones para su uso en adobes. La paja de trigo se embebió en agua previamente a su incorporación con la arena y la tierra. La mezcla se dejó en reposo durante tres días. La compactación en el molde se realizó manualmente sobre una superficie horizontal con una cama de arena. Los moldes fueron mojados con aceite quemado para facilitar el desmolde y se utilizó una tabla de madera para desmoldar en forma uniforme. Las piezas quedaron tres días en su posición original y luego se colocaron de canto. Los adobes producidos quedaron del color grisáceo característico de la tierra arcillosa del lugar. Las piezas presentan aristas irregulares y pequeñas fisuras. Se ensayaron a compresión algunos adobes secos en laboratorio (LabIC N° 003/2003).



Identificación: AD-040522

Fecha	Dimensiones [cm]	Densidad [kg/m ³]
Mayo 2004	30 x 15 x 10	1300

Dosificación

Tierra	Arena	Paja
6	3	4

Observaciones:

Se realizaron ensayos de cohesión durante la preparación de la mezcla y de retracción y agrietamiento. El llenado se produjo en forma inmediata y los moldes no se mojaron. Al momento del desmolde se producía un descenso importante de la mezcla en el centro del molde ya que se pegaba en las paredes del molde. Los adobes producidos estuvieron dos meses en la misma posición de secado, presentaban aristas irregulares y deformaciones diversas con caras superiores curvadas, laterales con huecos y bases que excedían la dimensión original de la pieza. Los adobes no mostraban fisuras destacables. Se cortaron dos muestras y se observó que ambas estaban completamente secas aunque en una de ellas el interior presentaba un estado homogéneo sin presencia destacable de fibras vegetales y en la otra se presentaba un estado más heterogéneo con presencia de fibras vegetales.

Sin registros fotográficos

Identificación: AD-040724

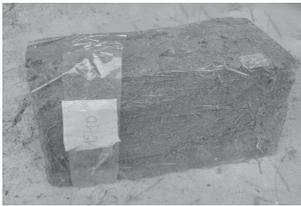
Fecha	Dimensiones [cm]	Densidad [kg/m3]
Julio 2004	30 x 15 x 10	Sin registro

Dosificación

Tierra	Arena	Paja
6	3	4

Observaciones:

Se realizaron tres tipos de adobes (A, B y C). El llenado de los adobes A se produjo luego de la preparación de la mezcla y para los B y C se dejó en reposo durante una semana sin hidratar. Se realizaron ensayos de plasticidad, cohesión y retracción y agrietamiento. La mezcla para los adobes A presentaban un aspecto más arenoso que la mezcla del adobe AD-040522 a pesar de que los ensayos de campo no demostraban que se necesitara más cantidad de tierra. Para el desmolde, se utilizó una tabla de madera para que la pieza descendiera en forma homogénea. Una semana después fueron cambiados de posición y se constató que fueron afectados por la lluvia. Algunas de las piezas se desarmaron al momento de trasladarlas. Para los adobes B y C algunos moldes fueron embebidos en aceite quemado y en agua: el mojado con agua demostraba ser más efectivo que el aceite quemado.



Identificación: AD-051015

Fecha	Dimensiones [cm]	Densidad [kg/m3]
Oct. 2005	30 x 15 x 10	1500

Dosificación

Tierra	Arena	Paja
1	1	¼

Observaciones:

La mezcla permaneció en reposo durante una semana. Se hicieron ensayos de plasticidad, cohesión y retracción y agrietamiento. La tierra utilizada fue ensayada en laboratorio (LabIC N° 018/2005 y 019/2005). Los moldes fueron embebidos en agua para facilitar el desmolde y se utilizó una tabla de madera para que la pieza saliera en forma uniforme en los casos que era necesario. Se dejaron en la misma posición durante una semana y luego fueron cambiados de lugar y colocados de canto para continuar el secado. Las piezas presentan aristas bien definidas, con pocas esquinas rotas y pocas fisuras. Se ensayaron a compresión adobes secos en laboratorio (LabIC N° 029/2006).



Fig. 54 y 55: Ensayos de campo para determinar la resistencia a la compresión de los adobes secos.

Una vez secos se debe evaluar el resultado teniendo en cuenta la presencia y tamaño de grietas o fisuras, las variaciones de tamaño respecto al molde original, la deformación de las superficies con presencia de caras curvadas y la posibilidad de manipularlos sin que se quiebren ni se desgranen. También se pueden realizar ensayos para determinar la permeabilidad al agua en estado líquido y la resistencia a la compresión. Estos ensayos son de campo (Van Lengen, 2004) y nos darán una aproximación. Los ensayos de compresión deberían ser complementados en laboratorio en caso de utilizar los adobes como elemento portante.

Para verificar la permeabilidad al agua en estado líquido se debe colocar un adobe en una batea grande en contacto con una superficie mínima de agua durante 4 horas, luego de esto se debe partir a la mitad y observar cuantos centímetros penetra el agua en la pieza. La penetración no debe ser mayor a 1 cm.

La resistencia a compresión de los adobes depende en gran parte, de la naturaleza de la tierra, del método de producción, del tamaño de las muestras ensayadas y de la cantidad de humedad que contienen las muestras (Cytryn, 1965). Respecto a la naturaleza de la tierra y a la dosificación utilizada ya se hizo referencia anteriormente. La influencia del método de producción depende de la cantidad de humedad de la mezcla durante la producción, ya que la resistencia aumenta cuanto menor sea el contenido de humedad y para ello es necesario el control mediante los ensayos adecuados. También influye la uniformidad de la mezcla, el tiempo que se la deja reposar y la compactación adecuada para las piezas ya que, cuanto mayor sea la compactación, más resistentes son los productos obtenidos.

Para verificar la resistencia a la compresión hay dos procedimientos posibles. Uno de ellos indica que se debe colocar un adobe sobre otros dos, dejando por lo menos 2/3 del adobe sin apoyo y se debe pisar con fuerza pero sin dar un golpe. La pieza debe resistir sin romperse. Otro de los ensayos requiere que se deje un adobe en contacto con el agua, del mismo modo que para el ensayo de permeabilidad, y se lo coloca sobre otros dos dejando por lo menos 2/3 del adobe sin apoyo. Luego se le coloca encima 6 adobes y deberá resistir por lo menos un minuto antes de que se rompa. En Proyecto Hornero, la permeabilidad al agua dio resultados que excedían el centímetro indicado en el ensayo. De todos modos, está previsto en el proyecto proteger en todo momento los muros de adobe tanto del agua de lluvia como del agua del terreno. Para el caso del primer ensayo a compresión, verificaron todas las piezas ensayadas y para el caso del segundo ensayo a compresión la mayoría de las piezas resistieron más de un minuto sin quebrarse.

	Adobe 1	Adobe 2	Adobe 3	Adobe 4	Adobe 5	Obs.
Permeabilidad	1.5 cm	1.5 cm	1.5 cm	2 cm	1.5 cm	-
Compresión I	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Carga 75 kg
Compresión II	No verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Carga 35 kg

Registro de resistencia a la permeabilidad y a la compresión – Proyecto Hornero, 2006.

Si bien los resultados de estos ensayos y las características de las piezas en cuanto a su densidad y su relativa dificultad para ser cortadas avalarían el uso de estos adobes para su uso portante, en los ensayos de laboratorio los adobes no alcanzaron la resistencia exigida para ello en otros proyectos en Uruguay que debe ser superior a 2 N/mm² (Etchebarne, 2005). Sin embargo alcanza el valor mínimo de 1.2 N/mm² manejado por las “Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe y tapial” (Cyted / Habitierra, 1995) aunque no llega a verificar en el 80% de las piezas. La cantidad de paja de trigo utilizada es uno de los factores que puede influir ya que cuanto menor sea la cantidad de paja más resistente podría ser el material pero también estaría más propenso a tener fisuras. En ninguno de los muros del Proyecto, los adobes tienen función estructural por lo que no representa un problema en este caso²¹. Existen otras experiencias donde los adobes superan el mínimo exigido y pueden ser utilizados en muros portantes.

Probeta	Longitud [mm]	Ancho [mm]	Carga máxima [N]	Resistencia a compresión [N/mm ²]
1	297.5	155	53359.1	1.2
2	290	145	54803	1.3
3	298	148	53359.1	1.2
4	294	145	34431.8	0.8
5	300.5	152.5	53359.1	1.2
6	299.5	152	51467.5	1.1
7	300	149	53359.1	1.2
8	299	151	53359.1	1.2
9	293	149	49574.7	1.1
10	287.5	141.5	47682	1.2

Registro de resistencia a compresión de adobes – LabIC N° 029/2006.

Ejecución de muros:

La elevación de muros de adobe es similar al modo de trabajo con ladrillo cocido. Si bien la tarea es relativamente sencilla, requiere el asesoramiento de un oficial albañil para asegurar la horizontalidad de las hiladas, la verticalidad del muro y tomar las medidas de seguridad necesarias para evitar accidentes²². La primera hilada de adobes se coloca sobre un sobrecimiento de dos hiladas de bloques de hormigón o piedra hasta alcanzar unos 40 cm por encima del nivel de piso exterior. Este sobrecimiento debe protegerse del agua mediante un revoque convencional de arena y pórtland con hidrófugo y sobre este se aplica una mano de emulsión asfáltica.

Los muros de adobe de Proyecto Hornero tienen un espesor de 30 cm y los mampuestos fueron colocados alternadamente a soga y tizón. Para los extremos del muro era necesario cortar algunas de las piezas para lo cual se utilizó una sierra pequeña. También se probó realizar un pequeño corte con serrucho y luego golpearlos con un cincel y un martillo lo que resultó más sencillo.

Para unir los adobes entre si se utiliza como mortero la misma mezcla de tierra, arena y paja que se utilizó para elaborarlos²³. Se puede agregar un poco más de agua para hacer que el mortero sea más trabajable, controlando el estado plástico mediante los ensayos de contenido de humedad. Algunos autores indican que es posible prescindir del mortero si los adobes se sumergen en agua unos minutos antes de su colocación para ablandarlos pero el método requiere destreza en la colocación y exige a los adobes igualdad de tamaños y superficies (Minke, 1994). También existen experiencias en Uruguay de uso de mortero convencional de cemento en proporción de 8:1 utilizando arena de cava que es una tierra arcillosa (Etchebarne, 1997). El alto de la junta



Fig. 56: Ejecución de un muro de adobes de 30 cm de espesor. Colocación de la primera hilada de adobes con el mortero de tierra.



Fig. 57: Detalle del listón de madera fijado a los pilares como vínculo entre el muro y la estructura.

estará en función de la superficie de las piezas pero en general no serán menores a 1.5 o 2 cm. Todos los muros se levantan a la vez y hasta un metro de altura por jornada para asegurar el asentamiento de los mampuestos. Cada 80 cm se coloca en la junta un listón de madera de 20 cm o 25 cm de largo fijado a los pilares de madera como bigote para vincular el muro a la estructura de modo que trabajen en forma solidaria. Al llegar al nivel de viga se acuñará con otros pedazos de adobe que hayan sido cortados.

Mientras dure el proceso de ejecución se debe proteger el muro con polietileno para que la lluvia no lo afecte y para reducir la evaporación del agua de amasado en los períodos calurosos. En los casos de muros portantes la altura máxima que se puede alcanzar depende de la esbeltez del muro, es decir la relación entre su altura y su espesor²⁴. Esta relación no debe ser superior a 10, por lo tanto si el muro tiene 3 m de altura, el espesor debe ser de 30 cm como mínimo. La longitud máxima recomendada también depende de su espesor ya que cada 12 espesores debe existir un pilar o un contrafuerte. (Cytryn, 1965 y Etchebarne, 1997).

Los dinteles y antepechos de aberturas deben preverse durante la ejecución. Los dinteles pueden hacerse colocando rolos o escuadrías de madera que cubran el ancho del muro y que estén apoyando por lo menos 40 cm a cada lado de la abertura (Etchebarne, 1997). También se puede utilizar para los dinteles y carreras, adobes curvos a los que se le colocan varillas de hierro y se llena con hormigón a modo de encofrado perdido.

Tiempos y requerimientos

A continuación se describen los tiempos registrados en la fabricación de adobes y en la ejecución de muros del PGE. El ritmo de trabajo era de un día a la semana durante 6 horas, en forma distendida, con mano de obra no calificada. Los participantes no eran siempre los mismos por lo que muchas veces era necesaria una orientación previa por parte del equipo del Proyecto. Se considera que este esquema de trabajo puede ser asimilable a otros proyectos que se basen en la autoconstrucción. Como complemento, se indican los tiempos teóricos considerados al momento de la planificación y los tiempos de otras experiencias en la región. Estas mismas consideraciones valen para el resto de las técnicas que se describen.

Para preparar las canchadas de barro es necesario contar con un pisadero que tenga una superficie lisa, impermeable y cerrada lateralmente para evitar que el agua se pierda. El pisadero debe estar protegido del sol y la lluvia para que la mezcla no se seque o se humedezca en forma descontrolada y es conveniente dividirlo en dos zonas independientes para realizar tareas paralelas. En Proyecto Hornero, se aprovechó la platea que existía de la casa de la AEA para



Fig. 58: Dintel de madera en la Estancia Jesuítica de La Banda (Tucumán).

Fig. 59: Adobes curvos para utilizarse en carreras y dinteles (Taller del 6° Seminario de Arquitectura en Tierra; Montevideo, 2003).

su uso como pisadero y área de secado. Esta platea se dividió en una zona de 10 m² con dos pisaderos iguales de 2.1 m x 2.3 m y otra de 18 m² para elaboración y secado. En cada canchada, por pisadero, se utilizaron 18 baldes de tierra arcillosa, 18 baldes de arena y 9 baldes de paja cortada²⁵. El tiempo de traslado, mezclado y pisado era de aproximadamente una hora con cuatro personas trasladando los componentes de la mezcla²⁶ y considerando el cortado de paja. Se estima que para mezclar manualmente 1 m³ de barro se requieren dos horas con dos personas trabajando (Hays y Matuk, 2003). Por cada una de estas canchadas se producían entre 60 y 70 adobes de 30 cm x 15 cm x 10 cm, utilizando moldes dobles con dos personas trabajando durante dos horas²⁷. La producción de adobes estaba condicionada por el área de acopiado y por el volumen de barro que se dejaba en reposo durante la semana. Se estima que la producción de una jornada completa de 6 horas en estas condiciones, con el barro ya preparado puede llegar a los 150 adobes. Estas cifras se pueden superar dependiendo de la organización de la obra y la experiencia de los adoberos.

En la bibliografía consultada no hay datos precisos sobre los tiempos de producción ya que no siempre se indica las condiciones ni el tiempo de trabajo, las dimensiones del adobe o la cantidad de piezas por molde. En este contexto, las cifras pueden ir desde 500 adobes por día por persona en la India (Minke, 1994) a 600 adobes por día en equipos de tres o cuatro personas en la región de Valles Calchaquíes en Argentina (Sosa, 2006)²⁸. Según el arquitecto Rodolfo Rotondaro²⁹, la producción de adobes en la región del altiplano argentino puede llegar a 250 o 270 adobes de 40 cm x 25 cm x 11 cm utilizando un molde doble con dos adoberos trabajando durante 9 horas, sin considerar la preparación del barro.

En cuanto a la ejecución del muro, el rendimiento depende de la experiencia en tareas de albañilería. Los tiempos estimados en Proyecto Hornero consideraban un rendimiento para mano de obra no calificada de 1 m² por persona por jornada para muro de 20 cm. Los tiempos registrados en obra para muros de 30 cm de espesor incluyen la participación de dos personas colocando adobes y una persona trasladando el mortero de barro y los adobes. En estas condiciones, en una jornada promedio de 4 horas se levantaron 2 m² de muro aunque también se registraron rendimientos menores para la zona donde la estructura de madera triangula el muro. En este caso el rendimiento se redujo a la mitad debido a la necesidad de recortes en los adobes. Como referencia en cuanto a tiempos, se toma la sistematización del proyecto "Diseño y transferencia de técnicas de tierra cruda"³⁰ de la Universidad Nacional de Tucumán. En el mismo se indica que la construcción de un muro de 1.92 m² con 18 cm de espesor, utilizando adobes rectangulares de 18 cm x 38 cm x 10 cm, insumió un tiempo de 1 hora/hombre para la preparación y 2 horas/hombre para la ejecución.

Ventajas y desventajas

La construcción con adobes presenta la ventaja de su similitud formal, constructiva y estética con el ladrillo de campo cocido. En caso de disponer de mucha mano de obra, especializada o no, esta técnica es muy adecuada en función de los procesos de fabricación que permiten la integración de gran cantidad de personas durante el pisado y moldeado. Al igual que el ladrillo, el adobe puede ser utilizado como estructura portante en una construcción dependiendo de la calidad alcanzada. Un elemento a tener en cuenta aquí es el control durante la producción para minimizar la variación de las dimensiones y la forma irregular de las piezas. Los muros de adobes presentan muy buenas condiciones de aislación acústica y térmica debido a la densidad del material y los espesores utilizados³¹. Tienen una alta capacidad térmica y almacenan calor evitando que éste ingrese al interior de local en forma inmediata. Las desventajas de esta técnica están en función del propio proceso de fabricación que puede resultar lento ya que se requieren dos o tres semanas para poder utilizar las piezas. El proceso también depende de las áreas de pisado, secado y acopio, que comandarán la continuidad de producción mientras se espera por el secado de las piezas anteriores. Por lo tanto, esta técnica requiere cierta previsión de infraestructura para contar con superficies horizontales y limpias, y zonas protegidas para evitar

que el agua de lluvia afecte a la producción. El hecho de que en Proyecto Hornero el área de moldeado fuera pequeña no representó una dificultad ya que la producción se realizaba una vez a la semana y durante los días intermedios se utilizaba como zona de secado. Las fallas comunes en las construcciones con adobes pueden ser reducidas mediante los controles de la tierra y los estabilizantes utilizados, el dimensionado adecuado de las piezas y los muros, el dimensionado adecuado de la estructura, tanto de la cimentación como del muro portante, o las vigas y pilares y la protección frente a la lluvia y a la humedad natural del terreno.

Las ventajas o desventajas se deben tener en cuenta como datos de la realidad pero las condicionantes propias de la obra serán las que determinen la viabilidad o no de los procesos.

2- Tierra alivianada:

La tierra puede ser alivianada con distintos materiales para reducir las cargas que recibe la estructura y para mejorar sus características de aislación térmica. Queda limitada la capacidad portante y se debe contar con asesoramiento técnico para definir la estructura resistente de la construcción. Los agregados para alivianarla pueden ser paja de trigo o residuos de procesos de trabajo con la madera como ser la viruta o el aserrín. También puede ser alivianado con corcho, cáscara de arroz o agregados minerales. El sistema fue desarrollado en Alemania a comienzos del siglo XX denominado como *leichtlehm* (tierra aligerada)³² y consiste en rellenar una estructura con un material a base de arcilla con gran cantidad de fibras. Las densidades obtenidas están entre 500 y 800 kg/m³, lo que significa casi tres veces menos que el caso de los adobes. Esta técnica permite construir muros monolíticos pero también prefabricar bloques o paneles para luego levantar muros. En Proyecto Hornero se utilizó la tierra alivianada con paja de trigo y con viruta para ser utilizada de distintas maneras: apisonado, en paneles, en bloques y en rollos.

Procedimiento

La tierra utilizada debe tener un alto contenido de arcilla para que las fibras de paja se unan entre sí. Esta arcilla se mezcla con agua en forma manual o mecánica, hasta obtener un barro líquido, llamado *barbotina*, de consistencia viscosa y sin presencia de grumos. Para verificar el estado de la barbotina se debe sumergir una mano y el barro debe cubrirla de modo que forme una especie de guante uniforme que no permita ver la piel. Como la preparación manual puede resultar un poco trabajosa, en Proyecto Hornero se utilizó un equipo de mezclado con motor eléctrico y un eje vertical con una paleta de mezclado en su extremo. La preparación se realizó en tanques metálicos de 200 litros con una proporción de 50% de agua y 50% de tierra arcillosa.



Fig. 60: Prueba del guante para verificar el estado de la barbotina.



Fig. 61: Mezclado de tierra alivianada en una bañera y preparación de barbotina en forma mecánica.

La paja puede ser de trigo por la rigidez de sus fibras y por los interiores huecos que favorecen la aislación térmica por el contenido de aire³³. Las fibras se cortan en largos menores al espesor de las piezas a construir y se agrega a la barbotina en gran cantidad hasta que ésta se sature y no quede más líquido. Esta tarea puede realizarse en un tanque o en una bañera, mezclando con una pala de dientes y con los pies para asegurar que la paja quede totalmente embebida. Se deja en reposo durante un par de horas para luego ser acopiada en otro lugar durante 24 horas. Se continúa mezclando una nueva cantidad de paja y barbotina hasta llegar a la cantidad necesaria para un día de trabajo. La proporción final de barbotina y paja utilizada en Proyecto Hornero fue de 8 a 10 baldes de paja compactada por cada 100 litros de barbotina. La tierra alivianada no debe utilizarse en forma inmediata para que la arcilla pueda cumplir efectivamente la función de vincular las fibras de paja. Para el caso de los bloques de tierra alivianada, si se utiliza la mezcla en forma inmediata se presentarán dificultades al momento de desmoldar. Las técnicas que no requieren desmolde inmediato, como el apisonado o los paneles, pueden llegar a prescindir del reposo de la tierra alivianada pero se obtendrán mejores resultados cuando se la utiliza luego de 24 horas de espera.

Fabricación de componentes y ejecución de muros

Luego de preparada la tierra alivianada, puede utilizarse de varias maneras pero siempre se colocará por encima de un sobrecimiento de bloques de hormigón revocado con arena y cemento con hidrófugo con una mano de emulsión asfáltica, para evitar que la humedad del terreno afecte los muros.

A- Apisonado

La tierra alivianada apisonada requiere encofrados que moldean el muro en el sitio formando un elemento monolítico vinculado a la estructura portante. Los encofrados consisten en dos tableros de madera de 60 cm de alto en función de la altura máxima de llenado por jornada. Es necesario utilizar sunchos o algún recurso similar para que ambos tableros no se separen debido a la fuerza de apisonado. Además se colocará una estructura secundaria de montantes de madera cada 80 cm para reducir la longitud de los tramos de tierra alivianada y minimizar las retracciones que se producen al secarse. Esta técnica puede ser clasificada dentro de la familia de técnicas mixtas por estar integrada por tierra y madera integrada al muro, según se describirá más adelante.

La ejecución del muro se realiza colocando capas horizontales de tierra alivianada y compactando con pisones de madera o de hormigón en forma homogénea. El encofrado se retira 24 o 48 horas después del llenado y se posicionan los tableros por encima de la altura que ya se llenó. Entre



Fig. 62: Ejecución de un muro de tierra alivianda apisonada de 15 cm de espesor.

Fig. 63: Posicionado del encofrado de madera por encima del tramo de muro que ya fue llenado.

capa y capa de apisonado, es decir cada 60 cm, se coloca una tabla de madera en horizontal del mismo ancho que el muro clavada a la estructura para absorber los asentamientos que sufre el material durante el secado. Al llegar a la parte superior se hará imposible apisonar debido al poco espacio que queda entre el encofrado y la viga superior por lo que se completa con una hilada de bloques de tierra alivianada pegados con una mezcla de arena, tierra y paja similar a la utilizada para los adobes. Una vez terminado el muro se debe aplicar una embarrada superficial para cubrir la paja y reducir el riesgo de que se descomponga en caso que se humedezca por accidente. Esta embarrada de tierra, arena y paja debe fisurar para que las sucesivas capas de revoque tengan un vínculo más efectivo con el muro y no se desprenda. También se puede mejorar esta adherencia mediante la impresión de huellas y estrías hechas con los dedos sobre el barro húmedo. En caso que la superficie se encuentre muy seca se puede mojar con una pinceleta para evitar la fisuración excesiva por pérdida de humedad. Debe tenerse en cuenta que el secado del muro puede llevar varias semanas y algunos autores indican que para densidades menores a 600 kg/m³ y espesores mayores a 25 cm, la paja puede descomponerse en el interior del muro (Minke, 2001) por lo que es recomendable realizar muestras y pruebas para confirmar las densidades logradas y verificar tiempos de secado.

B- Paneles

Esta forma de utilizar la tierra alivianada consiste en rellenar moldes de madera con dimensiones moduladas que son utilizados en la ejecución del muro a modo de elementos prefabricados. Los paneles utilizados en Proyecto Hornero son de 45 cm x 45 cm x 15 cm y llevan una triangulación interior para evitar que se deformen. Los moldes se llenan sobre una superficie horizontal y se dejan en la misma posición sin desmoldar durante 48 o 72 horas para luego colocarse de canto para continuar el secado durante una semana. Se deben tomar las mismas previsiones que para los adobes respecto a la protección frente a la lluvia y el sol directo y que el área de trabajo permita la continuidad de la producción. Para la ejecución del muro, los paneles se clavan entre sí a una estructura auxiliar de tablas verticales y horizontales. Como se está trabajando en seco, es decir no hay ningún elemento en estado húmedo, el muro puede ser ejecutado en toda su altura en un solo día ya que no existirá asentamiento a consecuencia del secado. Al igual que para el caso del apisonado, se puede aplicar una embarrada superficial una vez terminado.

Las planillas siguientes corresponden a algunos de los paneles fabricados para el PGE Las dimensiones corresponden al tamaño interior del molde utilizado y las densidades son promedio de las muestras registradas. Para los paneles de diciembre de 2004 la tierra fue extraída de la zona III a profundidades de 80 cm y para los paneles de noviembre de 2005 de la zona IV próxima al tajamar.



Fig. 64: Llenado de moldes de madera con tierra alivianada para fabricar paneles. Se puede apreciar la triangulación interior para evitar que se deforme el molde.

Fig. 65: Ejecución de muro de paneles de tierra alivianada de 15 cm de espesor.



Identificación: PA-041218

Fecha	Dimensiones [cm]	Densidad [kg/m ³]
Dic. 2004	50 x 50 x 15	610

Dosificación

Barbotina		Tierra alivianada	
Agua [l]	Tierra [l]	Barbotina [l]	Paja [baldes]
80	100	100	8

Observaciones:

La mezcla se preparó con máquina en un tanque metálico de 200 litros. Se hace notar que quedaron restos de tierra en el fondo del tanque donde se preparó la barbotina, se agregó a la mezcla de agua y tierra un balde más de tierra en sustitución de este resto. La barbotina presenta grumos o partículas sin disolver aunque queda formado el guante en la mano. La mezcla se compactó manualmente en los moldes de madera. Dos meses después de preparados se observó que los cuatro paneles elaborados presentaban importantes retracciones y fisuras en toda la superficie. Se destacaban la retracciones laterales de 3 a 5 cm y variaciones en el ancho de 3.5 a 4 cm



Identificación: PA-051112

Fecha	Dimensiones [cm]	Densidad [kg/m ³]
Noviembre 2005	45 x 45 x 15	790

Dosificación

Barbotina		Tierra alivianada	
Agua [l]	Tierra [l]	Barbotina [l]	Paja [baldes]
100	100	100	10

Observaciones:

La mezcla se preparó con máquina en un tanque metálico de 200 litros y se compactó manualmente en los moldes de madera. Cinco meses después de elaborados no presentaban fisuras superficiales importantes aunque algunos paneles presentaban retracciones laterales. A diferencia de los paneles PA-041218, éstos no presentaron retracciones en el espesor. La cantidad de paja utilizada es visiblemente mayor que los elaborados en diciembre de 2005. Los paneles 3 y 4 tienen 10 cm de espesor y los 5, 6 y 7 presentaron densidades menores a 600 kg/m³. Se presentan retracciones laterales solamente en dos paneles.

C- Bloques

Para fabricar bloques de tierra alivianada se compacta la mezcla dentro de un molde de madera o de metal cuyas dimensiones se deben prever en función de la modulación y los detalles constructivos de la obra. Previo al llenado, los moldes se deben mojar y luego de la compactación el desmolde es inmediato. Para facilitar el trabajo se puede utilizar una tabla similar a la utilizada para desmoldar adobes que evita la deformación del bloque. Luego del desmolde, las piezas quedan en la misma posición durante 24 horas. El tiempo de secado es de una semana dependiendo de las condiciones climáticas.

La ejecución del muro consiste en pegar los bloques uno con otros con una mezcla de tierra, arena y paja similar a la utilizada para los adobes. Los muros de bloques de tierra alivianada de Proyecto Hornero tienen un espesor de 15 cm con piezas de 50 cm x 25 cm x 13 cm colocadas a soga y junta trabada de 2 cm. Todos los muros se levantan a la vez y hasta un metro de altura por jornada para asegurar el asentamiento de los mampuestos. Al igual que en el caso de la tierra alivianada apisonada, se necesita una estructura secundaria de montantes de madera cada 80 o 100 cm, modulada según el largo de los bloques para evitar cortarlos. En caso de ser necesario, pueden ser cortados con una sierra o serrucho sin mayores problemas. Por cada metro levantado se coloca una tabla de madera del ancho del muro clavada a la estructura para absorber los asentamientos que sufre el material durante el secado. Al llegar al nivel de viga se

acuñará con otros pedazos de bloques que hayan sido cortados y se rellenará con una mezcla de tierra, arena y paja. Mientras dure el proceso de ejecución se debe proteger el muro con polietileno al finalizar cada jornada para que la lluvia no lo afecte y para reducir la evaporación del agua de amasado en los períodos calurosos. Una vez terminado el muro, se debe aplicar una embarrada superficial para cubrir la paja y evitar que se descomponga, teniendo en cuenta las mismas consideraciones indicadas para los muros de tierra alivianada apisonada.

D- Rollos

Los rollos de tierra alivianada consisten en rolos de madera de 5 cm de diámetro y 60 cm de largo que se recubren de tierra y paja. Ésta técnica es de origen europeo, denominada en Alemania como *wickelstaken* y en Chile se la denomina *lulo*. Según Hays y Matuk, esta técnica puede clasificarse dentro de las técnicas mixtas cuya estructura auxiliar es pre-llenada antes de ser colocado en la estructura principal. Los rollos requieren una estructura secundaria que consiste en una doble guía vertical de tablas o listones donde se coloca el alma del rollo en forma axial al la estructura principal. Para elaborar los rollos se coloca sobre una superficie lisa una cama de arena y se esparce sobre ella una capa delgada de tierra alivianada. Se utilizará el rolo como alma para enrollar la paja a su alrededor hasta alcanzar un diámetro de 10 cm o 15 cm. Una vez armado se le puede verter barbotina para emparejar la superficie. Para diámetros mayores puede llegar a dificultarse el armado y el traslado del mismo.

A medida que se elaboran los rollos se comienzan a colocar en la estructura secundaria, ubicando uno encima de otro, hasta llegar a un metro de altura por jornada. Por cada metro de altura se coloca en horizontal otra tabla de madera clavada a la estructura para absorber los asentamientos que sufre el material durante el secado. Una vez terminado el muro, se rellenan los intersticios con tierra alivianada alisando con barbotina para uniformizar la superficie.

En Proyecto Hornero se hicieron algunas pruebas de rollos de tierra alivianada pero hasta el momento no se ejecutó ningún muro con esta técnica. Las muestras fueron realizadas en junio de 2002 con tierra de la zona III pero al estar muy compactada no se logró disolver para obtener la consistencia de la barbotina. El muro de prueba tenía 0.5 m² y se utilizaron un total de 10 rollos. Las observaciones registradas treinta días después señalan que los rollos que habían quedado con un contenido de arena mayor no presentaron fisuras y el resto presentó fisuras de 2 mm. También se observaron algunos rollos que se deformaron por el peso y aquellos que quedaron en la cara más expuesta a la acción de la lluvia, presentaron señales de lavado y fisuras excesivas. Algunos meses más tarde, en el marco del taller de construcción del curso Construcción II de Facultad de Arquitectura, algunos estudiantes integrantes de Proyecto Hornero trabajaron en el



Fig. 66: Llenado y compactado de moldes metálicos para fabricar bloques de tierra alivianada.

Fig. 67: Ejecución de un muro de bloques de tierra alivianada de 15 cm de espesor utilizando un mortero de tierra.

CRS construyendo un prototipo que incluía algunos muros de rollos de tierra alivianada³⁴. En este caso se ejecutaron dos muros de 1.2 m² cada uno y se utilizaron 60 rollos con un diámetro de 8 cm a 10 cm. La tierra utilizada fue extraída de la zona III, la barbotina fue preparada en forma manual y la fibra utilizada fue paja de trigo en gran cantidad. Una vez seco, el muro presentó menos deformaciones y fisuras que la muestra del mes de junio.

Tiempos y requerimientos:

La velocidad de trabajo con estas técnicas depende de la preparación de la barbotina. Para tener mejores resultados se puede utilizar una paleta doble helicoidal accionada por un motor de eje vertical e instalado sobre un tanque metálico similar al utilizado en Proyecto Hornero o equipos de mano tipo taladro, también con paletas helicoidales. La producción de 200 litros de barbotina y elaborar tierra alivianada en una bañera de 0.4 m³ de capacidad puede insumir cerca de una hora considerando a dos personas trabajando. La cantidad producida alcanzaría para llenar 10 paneles de 45 cm x 45 cm x 15 cm o 20 bloques de 50 cm x 25 cm x 13 cm. Se estima que la producción diaria de piezas puede llegar a 45 paneles o a 75 bloques por día con un equipo de tres personas trabajando y considerando que la tierra alivianada se hubiera preparado previamente. El tiempo estimado de ejecución de un muro de paneles se estima en 0.75 m² por hora con dos personas trabajando. Para el caso de los bloques de tierra alivianada se estima en 0.5 m² por hora con la misma cantidad de trabajadores. En este último caso hay que tener en cuenta que el corte de los bloques para los extremos del muro puede reducir el rendimiento de la mano de obra.

La técnica de apisonar la tierra alivianada es más rápida que el resto en términos relativos ya que el tiempo de secado es el mismo pero se produce una vez que el muro ya fue levantado. No requiere la producción de bloques o paneles ni el tiempo de secado de los mismos. Se estima que los tiempos de producción de componentes y ejecución requiere la mitad de tiempo que para un muro de bloques o paneles y casi tres veces menos que para un muro de adobes. En Proyecto Hornero, la ejecución de muros apisonados con mano de obra no calificada fue estimada en 4 m² por jornada por persona para muros de 20 cm. Los tiempos reales en obra fueron sensiblemente menores ya que la ejecución de 1 m² muro con un espesor de 15 cm insumió aproximadamente una hora considerando a dos personas apisonando y una persona transportando los materiales necesarios. La velocidad de ejecución se reduce en el momento de realizar los revoques ya que el secado de muro apisonado puede llevar algunos meses dependiendo de las condiciones climáticas. Se debe prestar mucha atención al proceso de secado para evitar que la paja entre en estado de descomposición.



Fig. 68 y 69: Elaboración de rollos de tierra y paja y montaje en las guías verticales para construir un muro de 15 cm de espesor.

Para los rollos de tierra alivianada se estiman tiempos sensiblemente menores a los del apisonado y tiene la similitud de no requerir el tiempo de secado de las piezas previo a la construcción del muro. Se puede considerar que la ejecución de 0.6 m² de muro de 15 cm de espesor insueme una hora considerando un equipo de trabajo de dos personas produciendo los rollos y una persona transportando los materiales y asistiendo para colocar los componentes en la estructura. El embarrado de las superficies es una tarea rápida, estimando para ello de 1.5 a 2 m² por hora por persona y será necesario para cualquiera de las técnicas de tierra alivianada.

Ventajas y desventajas:

Los tiempos de ejecución son menores a los que se necesitan para trabajar con adobes y esto se presenta como una gran ventaja. Por otro lado, la cantidad de paja utilizada en el material le aporta al local una aislación térmica no menos importante. Como señala el arquitecto chileno Pereira Gigogne en “Técnicas mixtas de construcción con tierra”, el uso de la tierra alivianada “... es muy apropiado en lotes urbanos y suburbanos donde no exista abundancia del recurso suelo, sea por la relativa escasa área de terreno como por la poca profundidad de la capa vegetal...”.

La principal desventaja radica en no poder utilizar la tierra alivianada como estructura portante a consecuencia del aire y los huecos que contiene. Por lo tanto, los muros no serán aptos para fijar clavos o tacos y se deberán colocar escuadrías de madera previendo los lugares donde existan estantes, placares o cualquier otro elemento que vaya fijado al muro. Las construcciones en tierra alivianada requieren gran cantidad de madera que se utiliza como encofrado reutilizable o como encofrado perdido y como estructura secundaria. A pesar de que la técnica es originaria de países europeos, a diferencia del adobe o la fajina que se utilizan en nuestro país desde la época colonial, es una forma de construir que se puede transferir sin mayores problemas ya que no requiere de procesos complejos para su ejecución.

Tierra alivianada con viruta

La madera es uno de los materiales que pueden agregarse para alivianar una mezcla de tierra. La madera puede ser utilizada en chips, aserrín o viruta. En Uruguay existen algunas experiencias recientes de construcción con tierra alivianada con viruta y en algunos lugares se fabrican bloques para su venta como un material más de construcción, también llamados “ecobloques”. Las densidades que se alcanzan con este material están en el entorno de los 600 kg/m³ y la densidad mínima cerca de los 500 kg/m³ pero una mezcla de esta densidad no posee una rigidez suficiente (Minke, 2001).



Fig. 70 y 71: Mezclado de tierra y agua para elaborar barbotina en forma mecánica y detalle de las paletas.

La forma de fabricación es similar a la técnica de tierra alivianada con paja: se debe colocar la mezcla de tierra alivianada con viruta en un molde y se apisona suavemente hasta completar el volumen del mismo. El desmolde se realiza en forma inmediata y requiere un tiempo de secado previo a su utilización en un muro.

Procedimiento:

Los materiales que componen el bloque de viruta son agua, tierra arcillosa y viruta. Al igual que los casos de tierra alivianada no se utiliza arena para su confección. La tierra utilizada debe tener un contenido alto de arcilla y se mezclará con agua para formar la barbotina, tal como se indicó para la tierra alivianada con paja. La mezcla de barbotina y viruta se realiza a mano o en una hormigonera mecánica hasta que adquiera una consistencia homogénea y seca. Como forma de verificar el estado óptimo se debe apretar suavemente con la mano una muestra y observar que no escurra agua, en caso contrario se debe agregar más viruta. Llegar a esta consistencia depende de la barbotina y del tipo de viruta utilizado. En caso de utilizar una mezcla demasiado líquida, la fabricación de los bloques será muy difícil: el desmolde no dará buenos resultados y obligará a cambiar la dosificación para tener una mezcla más seca. En Proyecto Hornero las dosificaciones utilizadas estuvieron en 4:1 y en 3:1 de viruta y barbotina. Se comenzó utilizando dos partes de viruta y una parte de barbotina pero la mezcla quedaba muy líquida y se comenzó a agregar viruta hasta llegar a la dosificación indicada.

La fabricación de los bloques se hace compactando la mezcla dentro de un molde de madera o metal con un pisón liviano en forma homogénea. Los moldes utilizados en Proyecto Hornero fueron metálicos de 50 cm x 25 cm x 13 cm iguales a los utilizados para los bloques de tierra alivianada. Existe otro tipo de moldes que incorpora en los lados cortos una pequeña triangulación para dejar una ranura en los bloques terminados y utilizarla en función de la estructura según se describirá más adelante. Los moldes se mojan previo al llenado y el desmolde es inmediato. Esta tarea puede ser realizada por una sola persona utilizando una tabla en la boca del molde para colocar el pie mientras se retira el molde con las manos. Luego del desmolde los bloques se dejan en la misma posición durante 24 horas. El tiempo de secado es de dos semanas dependiendo de las condiciones climáticas. Para la elevación de los bloques con ranura lateral, se necesita colocar montantes de madera a una distancia igual al largo del bloque y sobre estos se clavan listones verticales a modo de guías donde se encastran las piezas. Los bloques se pegan entre si con una mezcla de tierra, arena y paja similar a la utilizada para los adobes. Al llegar a la parte superior del muro se rellena con una mezcla de barro y paja. En Proyecto Hornero los muros de bloques de viruta se ejecutaron a junta trabada, colocando por cada metro levantado una tabla de madera en horizontal clavada a la estructura secundaria para absorber



Fig. 72: Molde metálico para bloques de tierra alivianada con viruta. Se puede apreciar la triangulación para las ranuras laterales de las piezas.

Fig. 73: Llenado y compactado de moldes con la mezcla de tierra y viruta.

los asentamientos que se producen durante el secado del mortero. Esta forma de ejecutar el muro no da tan buenos resultados como la descrita anteriormente. Los bloques de viruta en general se desgranar un poco lo que sumado a las retracciones del mortero por secado puede provocar algunos movimientos de los mampuestos.

La forma de ejecución entre listones le otorga más estabilidad a cada parte y en consecuencia al muro completo. Es conveniente que el largo de los muros esté modulado según el largo de los bloques para evitar cortarlos aunque de ser necesario pueden hacerse sin mayores problemas.

Tiempos y requerimientos

A pesar de que se necesita un tiempo de secado importante, al igual que con los adobes o los bloques de tierra y paja, está técnica no requiere el tiempo de espera para el preparado de la mezcla de tierra y viruta ya que una vez preparada se puede utilizar para llenar los moldes. En forma paralela al secado se puede construir la estructura de guías donde se colocarán los bloques. El rendimiento de la mano de obra no calificada puede ser alto, ya que se puede contar con una persona en cada tarea específica sin demasiadas exigencias físicas. Estas tareas consisten en preparar la barbotina, mezclarla con la viruta y llenar los moldes. Se considera que la producción puede ser de 10 bloques por hora y que puede ser sensiblemente mayor en función de la repetición de tareas y la organización del trabajo. La ejecución de los muros es de una velocidad mayor a los de otras técnicas que utilizan mampuestos a consecuencia del sistema de guías que permite el trabajo simultáneo de varias personas. Experiencias recientes en nuestro medio indican un rendimiento de entre 3 y 4 m²/hora. No se dispone de datos de rendimientos para este caso ya que en Proyecto Hornero se utilizaron los bloques a junta trabada. Para este caso los tiempos fueron similares al los indicados en los bloques de tierra alivianada con paja.

Ventajas y desventajas:

Una de las ventajas que presenta es el uso de un material de descarte como la viruta que no tiene un costo importante e incluso se puede obtener gratuitamente. La velocidad de ejecución del muro es otra de las ventajas en comparación al resto de las técnicas de mampostería, aunque para ello se requiere de una correcta ejecución de las guías laterales donde se colocan los bloques. Una de las desventajas que presenta es el desgrane de los bloques, por lo que se recomienda prestar especial atención en la dosificación para minimizar el problema. También es probable que al momento de realizar los revoques se necesite algún elemento intermedio, como por ejemplo una tela de arpillera, entre el bloque y el revoque, para facilitar que la mezcla se adhiera fácilmente a la superficie.



Fig. 74: Desmolde de bloques de tierra alivianada con viruta.



Fig. 75: Modelo de la estructura de montantes y listones verticales para encastrar los bloques.

Fajina:

La fajina puede clasificarse como una técnica mixta de construcción con tierra ya que incorpora madera como componente de los muros, más allá de los elementos estructurales. Consiste en tener un entramado en horizontal, vertical o diagonal, que se rellena a mano con una mezcla de barro y paja en estado plástico. Esta técnica tiene presencia histórica tanto en países de Europa como de América, África y Asia, donde el entramado puede ser de ramas, madera escuadrada o cañas pero mantiene el mismo criterio constructivo³⁵. Del mismo modo, el término fajina tiene variaciones de denominación según la región de Iberoamérica: en América Central, Colombia y Bolivia se denomina bahareque, en el Río de la Plata se denomina fajina, en Perú, Ecuador y Chile se puede denominar quincha, pared francesa, taquesal o telar y en Brasil es denominado taipa-de-mão, taipa o pau-a-pique. En alguna bibliografía también puede figurar como trama repellada o aparecer escrito como fagina o bajareque. El término bahareque es de origen centroamericano y su sinónimo más antiguo es quincha, que deriva de la voz quechua *quinza* y significa seto de varas de madera (Cevallos, 2003). Se considera que estas técnicas son más antiguas que las de tapial y bloques de tierra (Minke, 2001). Según Mario Flores "...la influencia hispana agrega evidentemente variadas tecnologías a las de entramado, y al incidir en el cambio de las tipologías arquitectónicas indígenas incorpora a su vez nuevos materiales, utilizando sistemas y formas que sustituyeron a las autóctonas o se fundieron con ellas utilizando mano de obra nativa..."³⁶.

Sin embargo, el grupo de las técnicas mixtas "...tienen la particularidad de ser mucho más complejo en su clasificación que los dos grupos anteriores [técnicas de construcción con tierra no procesada y procesada] por lo que es necesario ubicar con precisión las tecnologías que abarca para llegar a recomendaciones acertadas en la elaboración de normas constructivas (...) Bajo los nombres populares [de bahareque y quincha] no se designan siempre las mismas tecnologías en los diversos países latinoamericanos"³⁷.

Subgrupo		Ejemplo
Estructura portante diversa y muros de tierra	De transición	Estructuras de madera u hormigón con cerramientos en adobe, tapial o BTC
	Estructuras portantes y rellenos de fibras con barro	Tierra alivianada
Estructura portante de diversos elementos rellenos o recubiertos con tierra	Varios	Apilamiento de bolsas rellenas de tierra estabilizada
Estructura portante diversa con osamentas para sostener rellenos de tierra	Estructuras maestras con estructuras auxiliares rellenas o recubiertas	Fajina

Tabla de técnicas mixtas basado en la clasificación de A. Hays y S. Matuk, Proterra 2003

Procedimiento:

El entramado puede ser realizado en el sitio o prefabricado en taller, utilizando madera escuadrada³⁸ que posibilita mayor rapidez y el mejor aprovechamiento de la madera. En Proyecto Hornero los entramados se construyeron en sitio con madera aserrada, clavados en el lado interior de la estructura principal, sobre los dos lados en forma diagonal³⁹. Las construcciones con técnicas mixtas, a pesar de no ser adecuadas para muros portantes, son estructuras que pueden reaccionar adecuadamente a los movimientos sísmicos debido a la gran cantidad de elementos de madera que disipan energía rápidamente⁴⁰.

El tipo de tierra que se utiliza debe tener contenidos importantes de arcilla y el agregado de

fibras reducirá la aparición de fisuras, a causa tanto del propio material de relleno como de las dilataciones y contracciones naturales de la madera. El relleno de barro debe tener una consistencia plástica y ésta se puede determinar mediante los ensayos descritos para adobes, tal como el de caída de bola, aunque también se puede rellenar con tierra alivianada con paja como se ejecutó en el PGE. En todos los casos se debe dejar la mezcla en reposo durante 24 horas para que la arcilla cumpla su función cohesiva tanto del relleno en si mismo como para permitir que este se adhiera al entramado. El embarrado se realiza a mano arrojando el barro con fuerza, colocándolo a horcajadas (o en bollos) dentro del entramado o trenzándolo en caso de estar utilizando fibras largas (Hays y Matuk, 2003). Al momento de diseñar el entramado debe tenerse en cuenta la separación entre los lados del mismo para permitir el paso de la mano para los casos de colocarlo a horcajadas (de 7 a 8 cm) o trenzado (de 10 a 20 cm). En el caso de arrojar el barro sobre el entramado, la ejecución del muro se realiza desde abajo hacia arriba y desde ambos lados a la vez. En Proyecto Hornero, dada la separación de la madera y el uso de tierra alivianada con paja, se procedió a rellenar sin arrojarlo ya que la gran cantidad de fibras evitaba que el barro se escurriera por el entramado.

Para este tipo de técnicas se hace indispensable un revestimiento que los proteja de la acción de la lluvia, ya sea como revoques o como forros. Los primeros consisten en capas sucesivas de tierra, las primeras rústicas y las siguientes de terminación, que se van adheriendo a las anteriores. El segundo caso consiste en elementos sólidos que se fijan a una estructura y son independiente del relleno. Para el caso de los forros, se debe asegurar la ventilación de la cara interna del mismo separando el revestimiento del relleno a modo de fachada ventilada. Los revestimientos de relleno son indispensables para sellar todos los huecos que pueden quedar en la superficie.

Tiempos y requerimientos

El armado dependerá de la experiencia de trabajar con madera pero se estima que una sola persona puede llegar a construir 2 m² de entramado en una jornada. Los tiempos de mezclado del relleno son similares a los registrados para el caso de los adobes o para la tierra alivianada según sea el caso. El relleno del entramado deberá hacerse una vez que exista una cubierta para protección de la lluvia y el sol directo. No se requiere tiempos de espera de secado mientras se está ejecutando el muro, excepto para cuando se realicen los revestimientos. Al igual que para el caso de la tierra alivianada apisonada, los tiempos de producción de componentes y ejecución de muros de fajina son muy rápidos y se puede estimar que insume un tiempo tres veces menor que para un muro de adobes. La ejecución de muros de fajina para el PGE con mano de obra no calificada fue estimada en 2 m² por jornada. Los tiempos reales en obra fueron similares a



Fig. 76: Detalle del entramado para muros de fajina en Proyecto Hornero.
Fig. 77: Ejecución de muro de fajina con tierra alivianada.

los previstos dando un promedio de 0.6 m² por hora con un equipo de trabajo de dos personas rellenando el entramado y otra persona trasladando los materiales. Como referencia en otras publicaciones, se considera que una sola persona puede rellenar a horcajadas 1 m² en solo 35 minutos (Hays y Matuk, 2003).

Ventajas y desventajas:

Como ventaja se puede mencionar su fácil asimilación y su ejecución rápida y simple, que no requiere el uso de encofrados ni presenta las exigencias de la albañilería convencional como en el caso de los muros de adobe o de paneles de tierra alivianada. La mayor exigencia en cuanto a mano de obra es el armado correcto del entramado que recibirá el relleno. El uso de gran cantidad de madera puede verse como una desventaja, pero como se vio anteriormente, pueden utilizarse materiales locales disponibles. Es una técnica muy utilizada en el medio rural, que junto al adobe y al terrón forman parte de los modos de construcción transmitidos de generación en generación en nuestro país. En la actualidad es utilizada principalmente como tabiquería interna y no para muros exteriores, ya que uno de los problemas que presenta la fajina al exterior es debido a la poca protección frente al agua. Al ser una técnica que utiliza un entramado sobre el que se proyecta el barro, el agua de lluvia puede lavar el revoque y luego el relleno provocando su desprendimiento. Existen algunos ensayos normalizados para verificar la estanqueidad al agua y la penetración al agua de lluvia que utilizan baterías de rociadores de agua y equipos digitales para determinar valores exactos⁴¹.

Techos verdes

Construir un techo convencional que asegure un buen comportamiento térmico puede tener altos costos y los materiales que se utilizan contribuyen a generar desechos de demolición. Una opción utilizada desde hace mucho tiempo en Europa y Estados Unidos es un techo compuesto por distintas capas de tierra, sustratos o drenajes cuya terminación superficial es un manto vegetal de pasto y hierbas. A este tipo de solución se lo conoce con el nombre de cubierta vegetal, techo verde o cubierta viva y pueden clasificarse en intensivos y en extensivos (Minke, 2004). Los primeros utilizan capas de sustrato de más de 30 cm bajo la superficie verde, utilizan especies vegetales que solo crecen en superficie horizontal y requieren cuidados especiales. Los extensivos utilizan especies que crecen fácilmente, necesitan menos de 15 cm para desarrollarse y el mantenimiento es mínimo.

Los techos verdes inclinados pueden tener una pendiente de 5% a 40% y no requerir de precauciones especiales. Si las pendientes superan ese límite se debe impedir el deslizamiento



Fig. 78: Construcción típica de rancho con muros de fajina y techo de paja (Paysandú)

Fig. 79: Ejemplos de techos verdes en el norte de Europa.

del sustrato mediante elementos intermedios que retengan las distintas capas.

En el caso particular de Proyecto Hornero, el techo verde adapta la construcción al entorno generando un plano continuo de verde y minimizando el impacto visual ya que una de las exigencias planteadas por el CRS era la de no incidir en las visuales hacia el tajamar. La idea de contar con este tipo de techos surge desde el inicio mismo del Proyecto en el año 2002 cuando aún no existían experiencias en nuestro país de techos verde sobre estructura de madera. En marzo de 2003 se elaboró a modo de prototipo un techo verde extensivo de aproximadamente 2 m² orientado hacia el Este con la misma ubicación que el techo real del PGE y sirvió como referencia para detectar problemas de ejecución y detalles constructivos. A modo de testeo se utilizó el pasto del lugar como terminación verde que fue colocado en panes y en estolones. El prototipo estuvo funcionando durante 7 meses y la cubierta verde se mantuvo en buenas condiciones de crecimiento a pesar de que no tuvo mantenimiento alguno. La pendiente del techo es de 35% por lo que se está trabajando casi al límite de lo recomendado para no tomar precauciones especiales aunque durante su construcción el grado de inclinación dificultó algunas de las tareas.

Procedimientos

Un techo verde requiere principalmente de un contenedor, es decir de una estructura que permita confinar las distintas capas que se necesitan. El otro requisito indispensable es que ese contenedor sea impermeable para que el agua de lluvia no ingrese al interior de los locales y que además asegure su correcta evacuación. El contenedor consistirá en una estructura de madera sobre la que se colocarán planos de soporte horizontal y vertical de tablas de madera o tableros de OSB a modo de cajón. Los componentes básicos de un techo verde inclinado son la membrana impermeable, el sustrato y la vegetación.

La capa impermeable se debe resolver con materiales que sean resistentes a la perforación de las raíces de los vegetales y evitar materiales bituminosos ya que algunos microorganismos los pueden disolver⁴². Los materiales recomendados son membranas polímero-bituminosas, membranas con mallas geotextiles o terminación geomíneral aunque éstas son más costosas que las membranas asfálticas estándar. Otra solución son las membranas de PVC con alma de poliéster, similar a las lonas utilizadas para camiones pero el soldado de los solapes debe ser realizado por empresas especializadas en estos materiales. Debe preverse que la impermeabilización cubra los laterales del techo y que tenga un excedente para resolver las esquinas, los puntos de desagüe y envolver todo el pretil.



Fig. 80 y 81: Llenado del cajón para el prototipo de techo verde extensivo de Proyecto Hornero y estado de la vegetación sin mantenimiento, marzo y octubre 2003.

Para el techo verde del Proyecto se optó por una membrana de PVC de 1 mm de espesor para resolver la impermeabilización. Por una cuestión de seguridad adicional, se agregó previo a la impermeabilización una capa de polietileno de 80 micrones y una capa de cartón corrugado de 4 mm a modo de barrera de vapor. Esta previsión se debió a que las tablas de la base del techo no fueron machimbradas y presentaban pequeñas diferencias de nivel entre ellas y la colocación del cartón evita el contacto de las aristas de las tablas con el PVC.

Sobre la capa impermeable se coloca el sustrato de 15 a 20 cm dividido en dos partes de igual espesor. Si el sustrato es mayor se puede correr el riesgo de que la vegetación no sobreviva a las condiciones de viento y sequía. La parte inferior actuará como drenaje para el agua de lluvia y llevará una mezcla de tierra negra con gran cantidad de material poroso de granulometría gruesa, como ladrillo partido, arcilla expandida o piedras porosas. La capa siguiente tendrá los mismos componentes pero se prioriza a la tierra negra, ya que funciona como base para el desarrollo de la vegetación del techo. Una dosificación posible es de 1:3 (tierra negra y granulometría gruesa) para la capa inferior y 3:1 para la capa superior, es decir la misma cantidad de ambos componentes pero mezclados en forma inversa en cada caso. Otra dosificación puede ser de 1:2 y 2:1 de tierra y granulometría gruesa para la capa inferior y superior respectivamente (Minke, 2004). En techos con poca inclinación se necesita colocar una tela o fieltro geotextil que separe el sustrato de la capa de drenaje para evitar que la tierra mojada de la capa superior se mueva a la capa inferior y obstruya los drenajes. En Uruguay, otras experiencias han utilizado malla de sombra. La aislación térmica queda resuelta con las propias capas de tierra sin la necesidad de utilizar otros materiales.

La vegetación utilizada tiene que ser resistente a las condiciones del microclima local en cuanto a sequías, vientos, lluvias, heladas o calores intensos. Se debe tener en cuenta la orientación del techo verde para asegurar el correcto asoleamiento durante todo el año: en el caso de Uruguay debe descartarse la orientación Sur ya que ese plano no recibe radiación directa del sol y se corre el riesgo de perder la capa vegetal. El resto de las orientaciones son adecuadas aunque el Norte y el Oeste presentan algunos problemas durante el verano debido a la excesiva exposición y a las altas temperaturas. En estos casos se puede incorporar al techo algún sistema de riego por goteo para evitar que se sequen los vegetales. En todo el perímetro del techo se colocará canto rodado con un ancho de 25 a 50 cm que funcionará como protección contra salpicaduras y como desvío para el agua de lluvia (Minke, 2004). Este canal de canto rodado se ubicará también en la zona de desagüe.



Fig. 82 y 83: Construcción del techo verde del PGE: colocación de topes inferiores de madera y colocación de la membrana de PVC como barrera impermeable.

Ventajas y desventajas

Los techos verdes constituyen una excelente solución estética pero además presentan otras ventajas como colaborar en la reducción de polución ambiental, ahorrar energía de calefacción y refrigeración a nivel individual y ser más económicos que el techado común cuando se tiene en cuenta su vida útil. A nivel colectivo y urbano previenen islas de calor, reducen nubes de polvo filtrando partículas y parte de la suciedad del aire y producen oxígeno y absorben dióxido de carbono. También reducen y retrasan la cantidad de agua de pluviales que ingresa al sistema de saneamiento⁴³.

Los requerimientos de ejecución del techo no necesitan de mano de obra especializada en todas las etapas como puede ocurrir con una losa de hormigón armado. Las tareas de montaje de la base de madera y la impermeabilización son las que requieren más cuidado pero el llenado posterior puede ser realizado por personas que no tengan experiencia en la construcción. Se debe tener en cuenta la forma de colocación del sustrato del techo ya que para grandes volúmenes se puede dificultar el llenado manual y se necesiten equipos o máquinas adecuadas.

No presentan los problemas de succión del viento de los techos livianos pero al tener un peso propio mayor exigen una estructura más fuerte que debe ser calculada por un técnico⁴⁴. En cuanto al mantenimiento, no requieren mucha más atención que otros tipos de techo.

Revoques y comportamiento térmico

Al momento de terminar este libro aún no había concluido la primera etapa de Proyecto Hornero y por lo tanto no se habían realizado los revoques de los muros ni estudios de comportamiento térmico en los locales. Por este motivo no se presentan aquí datos sobre estos temas referidos al PGE y quedarían para una segunda etapa de ejecución y monitoreo⁴⁵. De todos modos se presentan algunas consideraciones generales con datos primarios elaborados por el Proyecto y otras recomendaciones tomadas de la bibliografía de consulta.

Revoques

Los revoques pueden ser realizados con cal o cemento e hidrófugo convencional o con revoques que utilizan tierra como aglomerante e hidrófugos naturales. Cabe indicar también que la ejecución de revoques con tierra es una tarea que requiere mucho conocimiento y experiencia real pues se le exigirá una alta calidad a las terminaciones, especialmente las exteriores.

Los revoques de cal o cemento pueden presentar problemas de adherencia con las superficies de tierra. En estos casos se recomienda colocar una malla plástica o de alambre fijada a la pared y revocar sobre ella⁴⁶. Cuando se utilizan morteros de tierra la superficie del muro debe ser lo suficientemente rugosa como para asegurar la adherencia. Para los revoques de tierra de más de 15 mm se utilizan varias capas en las cuales se producirán inevitablemente fisuras y microfisuras que ayudan para la adherencia de una capa con otra y se prestará especial atención a la última capa para reducirlas al máximo. Las zonas críticas de los revoques son los puntos de encuentro con la estructura de madera o en antepechos, mochetas y dinteles de aberturas donde se producen fisuras a causa de las retracciones y dilataciones propias de cada material pero que pueden minimizarse con el uso de telas de arpillera o fieltros geotextiles. Estos tejidos se fijan al muro y se revoca por encima de ellos de modo que la malla de las fibras sirva para repartir las retracciones en las zonas más comprometidas. Para todos los casos se recomienda que las superficies hayan secado completamente y que se haya producido el asentamiento del muro para evitar que se produzcan problemas. Este período de secado puede llevar dos meses o más dependiendo de la técnica utilizada y de las condiciones del tiempo. La aplicación del revoque de tierra no difiere de la manera en que se aplica un revoque convencional y se utilizan las mismas herramientas. La principal diferencia es que puede llegar a ser moldeado con las manos para

lograr superficies trabajadas a modo de esculturas. Previo a la ejecución del revoque se debe humedecer la superficie para mejorar la adherencia.

Los revoques de tierra utilizan gran cantidad de arena y el contenido de arcilla es el mínimo necesario para lograr la adherencia y la cohesividad. Las dosificaciones dependen del tipo de tierra, de la granulometría de la arena, del contenido de agua, de la forma de preparación y los aditivos que se agreguen (Minke, 2001). Al igual que para la ejecución de muros o componentes se recomienda realizar pruebas con distintas dosificaciones hasta determinar la más adecuada⁴⁷. Un ensayo sencillo consiste en probar una capa de 2 cm del mortero sobre la superficie de un ladrillo liso y dejarlo secar completamente (aproximadamente 72 horas). Si el revoque se desprende de una sola pieza es porque contiene demasiada arcilla, si se desprende en pedazos se le debe agregar arcilla debido a su baja cohesividad, si no se desprende y presenta pocas o pequeñas fisuras la mezcla es adecuada para las primeras capas del revoque (Cytryn, 1965 y Minke, 2001). Esta misma dosificación debe ser probada luego en una superficie más grande para tener una aproximación a su comportamiento real.

Los revoques exteriores requieren más atención que los interiores debido al frío, el calor, la lluvia o las heladas. Los revoques de barro no son recomendables para climas fríos a no ser que se cuente con un alero importante, protecciones a nivel de zócalo y pintura impermeable (Minke, 2001). Se pueden agregar distintos aditivos para obtener comportamientos específicos: caseína o jugo de tuna para mejorar la resistencia al agua y la adherencia, aceite de linaza para la resistencia al agua y a la abrasión, papel periódico para reducir las retracciones, etc. El arquitecto Johan Van Lengen del Instituto de Tecnología Intuitiva y Bioarquitectura (Tibá) recomienda la utilización de tunas *Opuntia Sp.* pero debido a su magro desarrollo en determinadas condiciones se ha sustituido por la tuna *Cereus* con buen resultado y además está adaptada a las condiciones hostiles de nuestro medio. En cuanto a los revoques interiores lo que interesa es su comportamiento a la abrasión y a los impactos mecánicos para evitar desprendimientos. En este sentido también se deben evitar las aristas vivas mediante esquinas redondeadas o con madera vista. Para el PGE está prevista la aplicación de una primera capa de barro compuesta por la misma tierra que fue utilizada en el muro para asegurar la adherencia de las capas siguientes y posteriormente dos tipos de revoque análogos a la construcción convencional: el grueso y el fino. En los casos de tierra alivianada, la composición básica será con mezclas dosificadas de tierra y arena donde el componente principal en el revoque grueso será la arena gruesa y en el revoque fino, la arena fina siendo la tierra arcillosa el material aglomerante en ambos casos. En los revoques exteriores se experimentará el uso de materiales naturales que se adicionan a la mezcla última para conferirle una buena aislación húmedica.



Fig. 84 y 85: Murete de tierra alivianada revocado con arena y tierra, noviembre 2005.

Durante el taller realizado en noviembre de 2005, se construyó un murete de tierra alivianada al que se le aplicó un revoque grueso con arena y tierra. Una de las caras quedó expuesta al exterior con un alero provisorio muy pequeño y se puede observar la forma en que la capa de revoque fue erosionada luego de un año. Respecto a las previsiones frente al agua de lluvia se debe considerar su acción combinada con el viento: en diciembre de 2006 los registros de lluvias en el CRS llegaron a los 67 mm con vientos de casi 70 km/h⁴⁸ y a pesar de que los muros estaban protegidos por grandes aleros la lluvia llegó a golpear contra ellos.

Comportamiento higrotérmico

Los estudios térmicos realizados en otras experiencias con tierra demostraron condiciones superiores a los sistemas convencionales. Para determinar el confort higrotérmico no se considera los componentes aislados sino funcionando en conjunto con revoques y revestimientos, teniendo en cuenta condiciones del medio local como la temperatura exterior, los vientos o las orientaciones. En el concepto de confort higrotérmico de un local están incluidos la temperatura y velocidad del aire, la humedad relativa y la temperatura media radiante de todas las superficies del local incluidos pavimentos y techos. Se debe considerar además los riesgos de condensación intersticial y superficial, el retraso térmico y la amortiguación térmica de los cerramientos.

La capacidad que tiene de un muro para oponerse al pasaje de calor por conducción, o sea la resistencia térmica, es uno de los datos que debe tenerse en cuenta. "...La resistencia térmica total de superficie a superficie es la suma de las resistencias que el flujo térmico deberá atravesar desde una superficie a otra del cerramiento. La resistencia térmica total de ambiente a ambiente [Rt] es la suma de las resistencias superficiales interior y exterior a la resistencia de superficie a superficie..."⁴⁹ En la Rt están incluidas además de las propiedades de cada parte (espesor, densidad y conductividad térmica) las resistencias térmicas superficiales interior y exterior. Para comparar el comportamiento de distintos muros se puede tomar como referencia la transmitancia térmica (U) que es el valor inverso de la resistencia total de ambiente a ambiente, que se expresa como $U=1/Rt$.

Uno de los valores necesarios para realizar los cálculos de resistencia térmica es el de la conductividad térmica (λ) de cada material. Es muy difícil tener valores exactos de conductividades térmicas para materiales no estandarizados ya que las condiciones en que se fabrica el material y los componentes varían mucho según los sistemas de fabricación, el tipo de tierra y las condiciones propias de la obra. En la tabla siguiente se presentan a modo de aproximación algunos datos de densidades y conductividades tomados de "Manual de construcción en tierra" y "Manual de construcción con fardos" (G. Minke), "Manual de arquitectura bioclimática" (G.



Fig. 86: Estado de la cara exterior del murete (Fig. 84 y 85) sin protección frente a la lluvia, octubre 2006.

Fig. 87: Cara interior del mismo murete, diciembre 2006.

E. Gonzalo), “Construcción con tierra, sus principios y aplicación para viviendas” (S. Cytryn), “Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificación con técnicas mixtas de construcción con tierra” (A. Hays y S. Matuk) y de la Cátedra de Acondicionamiento Térmico (Facultad de Arquitectura).

Material	Densidad [kg/m ³]	Conductividad térmica (λ) [W/mK]	Calor específico [kJ/kgK]
Adobe	1600	0.45	0.80
Tierra alivianada (paja)	750	0.20	s/d
Tierra alivianada (viruta)	500	0.5	s/d
Fajina	1600	0.73	1
Fardos de paja	100	0.045 – 0.060	s/d
Bloques de suelo - cemento	1500	0.32	0.85
Ladrillo de campo	1300-1600	0.79	0.92
Maderas naturales	200-800	0.064 – 0.19	1.34
Tierra de humedad natural	1700-1800	1.05 - 2.10	0.85
Pasto	s/d	0.17	s/d

Tabla de conductividades térmicas de referencia para distintos materiales

A modo de ejemplo se indican algunos valores comparativos de U para muros de tierra y mampostería convencional. Los datos del muro de ticholos fueron extraídos de “Propiedades térmicas de materiales y componentes de construcción corrientes en Uruguay” de J. M. Aroztegui y G. Negrín.

Tipo de muro	Espesor [cm]	U [W/m ² K]	U max. recomendada [W/m ² K]
<i>Muros de tierra</i>			
Adobes revocados con tierra	34	0.94	0.85
Adobes con revestimiento exterior de madera (cámara de aire ventilada de 5 cm)	40	0.79	0.85
Tierra alivianada con paja revocado con tierra	34	0.53	0.85
Tierra alivianada con paja con revestimiento exterior de madera (cámara de aire ventilada de 5 cm)	42	0.47	0.85
<i>Muros convencionales</i>			
Bloques de hormigón revocados	15	2.82	0.85
Ticholos con revestimiento exterior de ladrillos (cámara de aire de 5 cm)	32	1.31	0.85

Tablas de transmitancias térmicas⁵⁰ (U) para distintos tipo de muros.

Los valores para muros de tierra son teóricos y no fueron verificados en los locales.

En cuanto a los techos verdes los valores teóricos son más difíciles de manejar ya que aparecen elementos vivos que no se consideran en los cálculos y que favorece notablemente el desempeño. Por lo tanto no alcanza con calcular el valor de transmitancia térmica sino que se debería verificar los valores en el lugar. Según indica Gernot Minke en “Techos verdes”, “...en un techo de pasto en Kassel (Alemania) con un sustrato de 16 cm de espesor para una temperatura exterior al mediodía de 30° C había bajo la vegetación 23° C y bajo la capa de sustrato solamente 17.5° C...”. Respecto a los riesgos de condensación en muros de adobes, se puede indicar que son mucho más permeables al vapor de agua que los de ladrillo de campo y esto lo hace un material apropiado para no tener condensación ya que respira (Gonzalo, 2006)⁵¹. Además el riesgo se presenta para valores de U mayores a 1.20 W/m²K y según la tabla anterior se está lejos de ese valor. Un aspecto a tener en cuenta es el tipo de revoque que se va a realizar tanto en el interior como en el exterior ya que influirá mucho en los resultados finales cuando se considere al muro

completo y no a una de sus partes. Los revoques y la pintura que se aplique como terminación, especialmente al exterior, no deben bloquear la difusión de vapor de los muros para eliminar fácilmente las posibles condensaciones internas.

En el artículo “Evaluación del confort higrotérmico en una vivienda rural de adobe aplicando un software de simulación”⁵² de la Facultad de Ingeniería de San Juan (Argentina), se registraron valores de transmitancia térmica de 0.548 W/m²K para muros de 50 cm de adobes al exterior. También se indica en el mismo estudio que “...la vivienda tradicional, con muros de ladrillón de 20 cm de espesor y losa de hormigón armado con aislación típica, consume anualmente un 28.2 % más de energía que la vivienda de adobe con techo de caña y barro...”. En otro artículo llamado “Estudio térmico en taller construido en quincha tradicional”⁵³ del Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda de Mendoza se indica que “...las condiciones térmicas indican [para un muro de fajina] una transmitancia térmica de 2.7 W/m²C, para un espesor de 7.5 cm...” y que “...los valores resultantes de las mediciones de temperatura indican la posibilidad de mantener condiciones interiores superiores a las alternativas utilizadas por estas personas de muy bajos recursos, tales como son la chapa o las láminas de polietileno...”. Se detalla en el artículo que “...el sistema de quincha [fajina] contiene una cantidad de masa térmica interesante, que permite disminuir los picos de amplitud térmica exterior y contar con cierto retardo...”⁵⁴.

Notas y citas:

¹ El PGE está siendo construido con materiales disponibles en el medio local, requiriendo por lo tanto un mínimo de energía para su extracción y traslado, aunque no en todas las situaciones fue posible mantener esta postura. En el caso de la madera estructural y de madera aserrada fue necesario su traslado desde distintas zonas del país. Véase el capítulo de Transferencia.

² Véase el capítulo I - Transferencia de tecnología.

³ Las razones para la elección de la técnica de adobe habían sido la disponibilidad de tierra apta para esta técnica y la facilidad de elaboración de las piezas que pueden realizarse en serie y con mano de obra no especializada.

⁴ “(...) Se considera que entre las plantas posibles de ser utilizadas, la más adecuada para el caso que nos ocupa es la totora (...) Los sistemas de flujo subterráneo, que son la alternativa ambientalmente más adecuada para la depuración de efluentes en el área rural del Uruguay (...)”. Extraído de “Sistemas naturales de depuración de aguas”, p. 7 y 9.

⁵ El apartado dedicado a la madera fue elaborado en base a material cedido por la Arq. María Calone.

⁶ Los pinos se impregnan totalmente y los eucaliptos admiten impregnación solamente en la parte más blanda, llamada albura.

⁷ Clorpirifos al 1% como protección contra insectos y Lusol Cristal como protección frente a la acción del sol y el agua.

⁸ En Uruguay la ley de desarrollo forestal N° 15939 de 1987 impulsó la forestación con especies exóticas de rápido crecimiento. La diferencia más significativa con respecto a la ley anterior de 1968 es que en este caso se prevé un financiamiento concreto, exoneraciones impositivas, reinversión de impuestos, créditos blandos y subsidios entre otros. Uruguay en la década de los 80 se caracterizaba por la predominancia de una vegetación de pradera natural y sólo el 4.9% de su superficie se encontraba cubierta por bosques de los cuales el 3.8% eran naturales y 1.1% artificiales. Los bosques naturales cumplían funciones de reguladores de cuencas hídricas, refugio de la fauna y abrigo del ganado, proveedor de leña y madera rústicas, paisajístico y turístico. Del total forestado bajo proyectos declarados en la Dirección Forestal, el 73% corresponden a los eucaliptos y el 26 % a los pinos, siendo marginal las superficies forestadas con salicáceas u otras especies. Los géneros recomendados al amparo del marco promocional de 1987 se orientaron principalmente hacia los eucaliptos (*grandis*, *saligna* y *globulus*) y pinos (*elliottii* y *taeda*) por su velocidad de crecimiento, con incrementos medios anuales (IMA), definidos por la Dirección Forestal del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca de 23 m³/ha/año para el género eucalipto y de 20 m³/ha/año para el pino. Estos valores situaron a Uruguay dentro de los productores de madera con mejores índices de crecimiento, que permiten obtener

importantes volúmenes de madera (Sorrentino, 1992). Con respecto al género eucalipto la tendencia de plantación es hacia el *Eucalyptus grandis* (53%) frente al *Eucalyptus globulus* (37%). En cuanto al pino prevalece el *Pinus elliottii* (45%) frente al *Pinus taeda* (39%) (Torres, 2004).

⁹ Designación francesa para mezclas de tierra y paja usada para construir muros sin el uso de encofrados.

¹⁰ Designación francesa para mezclas de tierra, agua y fibras sobre estructuras de madera.

¹¹ Consultar la bibliografía que se presenta en este libro.

¹² Cytryn en “Construcción con tierra, sus principios y aplicación para viviendas”, p. 25.

¹³ “Manual de construcción con tierra”, p. 72 y 73. Por más datos sobre datos históricos de construcción con tierra se recomienda el capítulo III de “Construcción con tierra, sus principios y aplicación para viviendas”.

¹⁴ Respecto a construcciones de adobe sismo-resistentes se recomienda consultar las memorias de los Seminarios Iberoamericanos de Construcción con Tierra - II SIACOT (Salvador), III SIACOT (Tucumán), IV SIACOT (Monsaraz) y V SIACOT (Mendoza).

¹⁵ “...Juan Giuria escribe en su libro “La arquitectura del Uruguay”, refiriéndose al Montevideo incipiente de la primera mitad del siglo XVIII: “...los materiales empleados en nuestras primitivas construcciones debieron ser piedras en bruto o adobes para los muros y troncos y ramas de sauce y otros árboles traídos desde los montes de la barra del Santa Lucía para confeccionar la armadura del techo, que sería a dos aguas con paja brava para la cubierta...”. Es interesante destacar que esta técnica constructiva con gran arraigo en nuestras tradiciones (muros de adobe de barro sin cocer y techos de quinchá) se ha desarrollado alejada de estudios teóricos y basándose en conocimientos prácticos transmitidos por los quinchadores, logrando a través de su práctica e intuición resultados notables (...) Aquí no tenemos sismos, no tenemos grandes tornados, es un suelo levemente ondulado. Quiero decir que no dejamos de usar la tierra por eso. Fue la mal entendida modernidad que cambió nuestros muros de 40 o 50 cm por esbeltas tabiques de hormigón de 10 cm...”. Rosario Etchebarne en el artículo “Diseño y construcción con tierra en el Uruguay” publicado en “Ponencias del seminario de capacitación del arquitecto en la construcción”, p. 123 y 124. “...Hay una secreta afinidad entre la texturera del rancho y la fisonomía geográfica de nuestro territorio. La humilde vivienda rural de los campos uruguayos traduce el encuentro y la fusión de dos mundos, el natural que impone los materiales, y el humano que impone las formas (...) El criollo oriental prefirió el terrón, la paja y la madera. Era como los pájaros, volaba de horizonte en horizonte, de estancia en estancia, de pago en pago. Y aprendió de los pájaros, del hornero y del boyero, las artes de una vivienda efímera, superpuesta al paisaje como la tienda del nómada...”. Daniel Vidart en “La vida rural uruguaya”, p. 141 y 142.

¹⁶ La Arq. Cecilia Alderton construye con tierra desde el año 1987. En el estudio Alderton – Rehermann construido en el año 1991, se utilizó como sistema constructivo el adobe combinado con el terrón y la fajina. La Arq. Rosario Etchebarne realizó su primera experiencia en adobe con las viviendas Cueto en el departamento de Salto en 1994. Véase “Diseño y construcción con tierra”.

¹⁷ En la región de los Valles Calchaquíes en el noroeste argentino, según la tradición y según el contenido de arcilla que presente la tierra, se incorpora en estado seco fibras vegetales como el trigo, avena, cebada, aserrín, cáscara de arroz, espinillas de la hoja de pino o guano, con el fin de reducir la retracción por el secado, la cantidad puede variar hasta un 30% del volumen de tierra. Fuente: Arq. Mirta Sosa – CRIATIC, Tucumán.

¹⁸ En el caso de las viviendas de la Cooperativa Guyunusa los muros tienen un espesor de 40 cm y las dimensiones de los adobes eran de 40 cm x 17 cm x 10 cm (Fuente: Proyecto Terra Uruguay - Arq. Etchebarne). En algunas regiones del altiplano argentino las dimensiones de los adobes pueden ser de 40 cm x 25 cm x 11 cm (Fuente: Arq. Rodolfo Rotondaro). En otros países y regiones puede variar hasta dimensiones de 15 cm x 30 cm x 50 cm. También existen ejemplos de adobes que no presentan formas paralelepípedas y son utilizados como piezas cónicas, trapezoidales o cilíndricas. Para más información a nivel internacional se recomienda consultar “Construire en terre”.

¹⁹ Si bien las jornadas de trabajo con tierra tenían un ritmo semanal, durante la semana se realizaban otras tareas con un equipo de trabajo formado por el capataz de Proyecto Hornero y personal de la Intendencia Municipal de Canelones (IMC).

²⁰ “...Para construcción ordinaria [no portantes] no es necesario probar la fuerza del adobe. Si estos son suficientemente firmes para ser apilados, acarreados y manipulados sin pérdidas apreciables debido a rompimiento, serán suficientemente fuertes para construir simples paredes...”, extraído de “Construcción con tierra, sus principios y aplicación para viviendas”.

²¹ Ensayo de laboratorio del ICE para ladrillo de adobe publicado en “Diseño y construcción con tierra”, p. 26:

- “...Rotura, el manómetro indicó una presión de 34 k/cm² equivalente a una carga de 5990 Kg. Tensión en la pieza 20.2837 K/cm²”, agosto 1994.
- ²² Se recomienda consultar el decreto N° 89/995 sobre seguridad e higiene en la construcción en especial los artículos referidos a andamios, escaleras, trabajos con herramientas manuales y eléctricas (decreto N° 179/001) y protección personal.
- ²³ “...Los adobes se unen con mortero de barro, de cal hidráulica o altamente hidráulica (...) Es un placer trabajar con mortero de barro ya que este no es abrasivo a la piel. En cambio, el mortero de cal daña la piel y puede provocar alergias...”, extraído de Manual de construcción con tierra, p. 77.
- ²⁴ Para más datos se recomienda consultar las normas peruanas y mexicanas junto a criterios manejados en Chile y Ecuador, en el artículo “Normas para diseño y construcción con tierra” de Patricio Cevallo Salas en la publicación del I Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra (SIACOT).
- ²⁵ En algunos casos se duplicaron estas cantidades, ya que la capacidad del pisadero era adecuada, pero se dificultó el trabajo de mezclado y pisado.
- ²⁶ La distancia del pisadero al lugar de acopio de tierra era de 10 m y en algunos casos la distancia al lugar de acopio de arena era de 50 m.
- ²⁷ Se considera dentro de esta tarea además del moldeado y desmolde, el llenado y traslado de baldes desde el pisadero y el lavado de moldes entre cada llenado.
- ²⁸ Consulta realizada por Proyecto Hornero a la Arq. Mirta Sosa de la Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Arquitectura, CRIATIC.
- ²⁹ Arquitecto, investigador y consultor en tecnología y arquitectura de tierra, Profesor de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Buenos Aires.
- ³⁰ Proyecto “Diseño y transferencia de técnicas de tierra cruda” CIUNT 26-B/107, del Laboratorio de Materiales y Elementos de Edificios (LEME), Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Tucumán. R. Mellace, R. Rotondaro, M. Sosa, S. Latina, L. Arias y C. Alderete. Publicado en “Ponencias del seminario de capacitación del arquitecto en la construcción”, p. 107.
- ³¹ Para el caso de Proyecto Hornero las densidades registradas están entre 1300 kg/m³ y 1500 kg/m³ con muros exteriores de 30 cm de espesor.
- ³² Pereira Gigogne en “Uso de la técnica mixta, tierra aligerada (leichtlehbau) en Chile” en “Técnicas mixtas de construcción con tierra”, p. 52.
- ³³ Las medidas de los fardos medianos están en los 50 cm x 80 cm x 70 cm
- ³⁴ Curso controlado Construcción II 2002, Estudiantes: Imaz, M.; Insausti, P.; Jaurena, M.; Katz, I.; Kauffman, C.; Lanza, J.; Lapitz, M.; López, R.; Martínez, S.; Martínez, M.; ?, Omar; Rissotto, F.
- ³⁵ Para más datos históricos se recomienda consultar “Técnicas mixtas de construcción con tierra”; Cyted – Habyted, Proyecto Proterra. “...La versatilidad de la fajina puede ser comprobada a través de su adaptación a las condiciones locales ya que en su ejecución son utilizados materiales naturales de la zona, aprovechando aquello que se tienen al alcance de la mano...”. Fuente: Wilza Gomes Reis y Akemi Ino en el artículo “Aspectos construtivos da taipa de mão” publicado en “Técnicas mixtas de construcción con tierra”.
- ³⁶ Mario Flores en “Técnica de entramados” publicado en “Arquitecturas de tierra en Iberoamérica”, p. 38.
- ³⁷ Hays, A. y Matuk, S. en “Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificación con técnicas mixtas de construcción con tierra” en “Técnicas mixtas de construcción con tierra”; Cyted – Habyted, Proyecto Proterra.
- ³⁸ “...La técnica del uso de la tierra como “entramado” o “bahareque” es clasificada por lo general como un sistema constructivo artesanal, ya que tradicionalmente ha sido utilizada en base a materiales naturales no procesados (la mayor parte de ellos), utilizados individualmente o combinados. En la actualidad se encuentran sin embargo muchos y muy buenos ejemplos de producción de elementos de soporte semi-industrializados, que facilitan su colocación en obra, y que aseguran una mayor calidad constructiva de los cerramientos...”. Mario Flores en “Técnica de entramados” publicado en “Arquitecturas de tierra en Iberoamérica”, p. 37.
- ³⁹ Esta forma de disponer la estructura auxiliar se puede clasificar según Hays y Matuk dentro de las osamentas estrechas dobles con listonería diagonal. En las mismas los listones se colocan paralelos entre sí sobre los dos lados de la estructura maestra, tanto al exterior como al interior.
- ⁴⁰ Se recomienda consultar “El bahareque en las zonas sísmicas” en “Técnicas mixtas de construcción con

tierra”; Cytel – Habyted, Proyecto Proterra.

⁴¹ Estos ensayos son citados en “Montaje de prototipos de vivienda...” de Etchebarne. Ensayo de determinación de estanqueidad al agua de paredes externas (Ensayo N° 15 del Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT); San Pablo, Brasil). Ensayo de penetración de agua de lluvia (Ensayo N° 1 del Laboratorio de Ensayo de Aberturas y Cerramientos). Ensayo de choque por cuerpo blando y pesado (método de ensayo ISO 7892 “Vertical building elements – Impact resistente test – Impact bodies and general test procedures” y Desempenho Estrutural Realtorio Técnico N° 33800 – Impactos de corpo mole” IPT.

⁴² Penningsfeld citado en “Techos verdes”, p. 37.

⁴³ Se recomienda consultar el proyecto “Cubiertas verdes para Buenos Aires” de H. Gilardi, J. Rautenstrauch, R. Halac y A. Libovich. Proyecto ganador del Primer Premio para América Latina del concurso Holcim Awards 2005 en www.holcimfoundation.org. “...El proyecto conceptual tiene el objetivo de mejorar la política urbana y es totalmente innovador al proponer jardines en los tejados por toda la ciudad. (...) Los beneficios para los edificios incluyen una mejora significativa de la eficiencia energética de las viviendas de dos plantas, así como el aumento del confort debido a la mejora del aislamiento térmico. Los beneficios para la ciudad incluyen la mitigación de las inundaciones urbanas como resultado de la retención de agua, así como la reducción de las islas de calor, debido a la transpiración vegetal. En escala mundial, tales medidas tendrán una influencia positiva porque ayudarán a reducir el efecto invernadero, minimizando el consumo de energía fósil para la calefacción y proporcionando el control del CO2 debido al crecimiento de la vegetación...”. Texto extraído del fallo del jurado para dicho proyecto.

⁴⁴ “...Para el dimensionado de la construcción del techo hay que tomar en cuenta, como carga permanente, el peso total del techo, el sustrato en estado de saturación de agua y también la carga de la vegetación...”. G Minke en “Techos verdes”, p. 28. Sin dejar de considerar una carga eventual por mantenimiento.

⁴⁵ En la propuesta original de Proyecto Hornero estaba prevista la fase 4 que implicaba el monitoreo durante un año de las técnicas aplicadas y la valoración de procesos y resultados a través de su desempeño según los estándares de confort.

⁴⁶ El PGE tiene un alto porcentaje de tecnología experimental, por lo tanto no se ejecutarán terminaciones tradicionales, aunque esta previsto adaptar un cerramiento de tierra a la posibilidad de terminarlo con revestimientos comunes, aunque no sea ejecutado.

⁴⁷ En “Diseño y construcción con tierra” se especifican tres tipos de revoques: revoque de tres capas (arena y cemento con hidrófugo; arena de cava y cemento; mezcla fina con cal y terminación de pintura), revoque de dos capas (pintura PVA; tierra arenosa y cal) y revoque de dos capas (tierra arenosa y estiércol de caballo; estiércol de vaca y cal).

⁴⁸ Datos de la estación meteorológica del CRS (Joanicó, Canelones; Lat.: 34° 36' 46" S, Long.: 56° 13' 04" W) para el día 17 de diciembre de 2006: promedio de temperatura 20.3 °C, lluvias 67.6 mm, velocidad máxima de vientos 67.6 km/h NNW (hora 2:30 am).

⁴⁹ En “Propiedades térmicas de materiales y componentes de construcción corrientes en Uruguay”, p. 3.

⁵⁰ Las normas de construcción exigidas por el Banco Hipotecario del Uruguay (BHU) indican que para muros exteriores y cerramientos superiores, el coeficiente de transmitancia térmica (U) máximo admisible será de 0,85 W/m2K en locales habitables. El Departamento de Clima y Confort en Arquitectura (DECCA), maneja el mismo criterio para cerramientos verticales y horizontales pesados pero para construcción liviana considera una valor U máximo de 0.40 W/m2K para techos y de 0.68 W/m2K para muros. En el caso de las normas argentinas IRAM 11605 se pueden considerar valores U máximos de 0.83 W/m2K y 0.48 W/m2K para techos en invierno y verano respectivamente y 1.00 W/m2K y 1.25 W/m2K para muros en invierno y verano respectivamente.

⁵¹ Consulta realizada por Proyecto Hornero al Arq. Guillermo Gonzalo de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Tucumán.

⁵² Autores: Héctor R. Girini, Raúl F. Navas y Ricardo R. Romarión, en el V SIACOT, Mendoza 2006.

⁵³ Autores: Alfredo Estévez*, Esteban Fernández y María Victoria Mercado. Quincha en este caso significa fajina. Presentado en el V SIACOT, Mendoza 2006.

⁵⁴ “...La amplitud térmica queda reducida en el orden de la mitad, es decir, cuando en el exterior tenemos 10°C de amplitud térmica, en el interior tenemos 5°C. Esto es particularmente importante en climas con elevada amplitud térmica como los del Oeste de Argentina, semidesérticos y de elevada amplitud...”.

ANEXO CAPITULO IV

Estimación de tiempos para muros en local de 3 m x 3 m x 2.4 m y espesor de 15 cm. Comparación entre muros de adobes, tierra alivianada apisonada, tierra alivianada en paneles y fajina.

Muro de adobes		
Tarea	Jornadas	Observaciones
Preparación de tierra	3	Se considera aquí el tiempo de mezclado, pisado y reposo. No se considera el tiempo de extracción de tierra. Área de pisado no menor a 20 m2.
Producción	5	Producción de 200 adobes diarios.
Secado y acopio	15	Área de secado no menor a 20 m2.
Ejecución de muros	8	Se levanta 1 m por jornada en todos los muros.
Tiempo estimado	31 días	

Dimensiones de los adobes: 30 cm x 15 cm x 10 cm. Cantidad estimada de adobes: 960. La preparación de la tierra se realiza en forma paralela a la producción de adobes. Equipo de trabajo de 3 personas con capacitación media, en jornadas de 6 horas. Se considera un tiempo de secado de 15 días pero puede variar en función de las condiciones climáticas. No se considera el tiempo de ejecución de la cimentación ni la estructura portante.

Muro de tierra alivianada apisonada		
Tarea	Jornadas	Observaciones
Preparación de tierra	1	Se considera la producción para el trabajo del día siguiente. No se considera el tiempo de extracción de tierra.
Ejecución de muros	1	Se levanta 60 cm por jornada en todos los muros.
Preparación de tierra	1	Se considera el tiempo de secado previo a retirar el encofrado.
Ejecución de muros	1	-
Preparación de tierra	1	-
Ejecución de muros	1	-
Preparación de tierra	1	-
Ejecución de muros	1	Para la zona superior de muro se debe considerar la producción aproximada de 30 bloques de tierra alivianada.
Embarrado de superficies	3	Se debe considerar la producción de mezcla de tierra, arena y paja para el embarrado.
Tiempo estimado	11 días	

Volumen estimado de tierra alivianada 4.5 m3. La preparación de la tierra se realiza en forma paralela al tiempo de secado. Se consideran dos tableros de encofrado por cada muro para realizar la ejecución de los cuatro muros en forma paralela. Equipo de trabajo de 3 personas con capacitación media, en jornadas de 6 horas. No se considera el tiempo de ejecución de la cimentación ni la estructura portante.

Muro de bloques de tierra alivianada		
Tarea	Jornadas	Observaciones
Preparación de tierra	2	Se considera la producción total para la cantidad de bloques necesaria. No se considera el tiempo de extracción de tierra.
Producción	4	Producción de 70 bloques diarios.
Secado y acopio	15	Área de secado no menor a 20 m ² .
Ejecución de muros	5	Se levanta 1 m por jornada en todos los muros. Se debe considerar la producción de tierra arena y paja para el mortero.
Embarrado de superficies	3	Se debe considerar la producción de mezcla de tierra, arena y paja para el embarrado.
Tiempo estimado	29 días	

Dimensiones de los bloques: 50 cm x 14 cm x 20 cm. Cantidad estimada de adobes: 290. Equipo de trabajo de 3 personas con capacitación media, en jornadas de 6 horas. Se considera un tiempo de secado de 15 días pero puede variar en función de las condiciones climáticas. No se considera el tiempo de ejecución de la cimentación ni la estructura portante.

Muro de paneles de tierra alivianada		
Tarea	Jornadas	Observaciones
Preparación de tierra	2	Se considera la producción total para la cantidad de paneles necesaria. No se considera el tiempo de extracción de tierra.
Producción	3	Producción de 50 paneles diarios
Secado y acopio	15	Área de secado no menor a 20 m ² .
Ejecución de muros	4	Se considera la ejecución de un muro por día.
Embarrado de superficies	3	Se debe considerar la producción de mezcla de tierra, arena y paja para el embarrado.
Tiempo estimado	22 días	

Dimensiones de paneles: 45 cm x 45 cm x 15 cm. Cantidad estimada de paneles: 145. Equipo de trabajo de 3 personas con capacitación media, en jornadas de 6 horas. Se considera un tiempo de secado de 15 días pero puede variar en función de las condiciones climáticas. No se considera el tiempo de ejecución de la cimentación ni la estructura portante.

Muro de fajina		
Tarea	Jornadas	Observaciones
Preparación de tierra	3	Se considera aquí el tiempo de mezclado, pisado y reposo. No se considera el tiempo de extracción de tierra.
Ejecución de muros	6	Se considera 2 m ² por jornada por persona
Embarrado de superficies	3	-
Tiempo estimado	12 días	

Equipo de trabajo de 3 personas con capacitación media, en jornadas de 6 horas. La estructura de la fajina se realiza en forma paralela a la preparación de la tierra. No se considera el tiempo de ejecución de la cimentación ni la estructura portante.

CAPITULO V: COSTOS

Cuando se piensa en una vivienda que utiliza la tierra como componente fundamental, siempre se asocia a un bajo costo económico. Es más: esa es una de las principales razones por la que muchas personas consideran viable construir con tierra, sin conocer las ventajas que se presentan a nivel higrotérmico, que entre otras cosas redundará en un importante ahorro de energía en calefacción y refrigeración¹.

Cuanto es lo que se ahorra de dinero depende en gran medida de las condicionantes particulares de la obra. Por ejemplo qué tipo de técnica se va a utilizar en función de la tierra disponible, si hay tierra disponible o se necesita trasladar desde otro lugar, qué tipo de mano de obra va a participar y qué materiales están disponibles en el lugar (cañas, maderas, etc). Otro factor que influye es que las tareas que se requieren para ejecutar una construcción con tierra implican una baja inversión inicial y no se necesitan máquinas o equipos especiales en la mayoría de los casos

A modo muy general, se puede estimar que con todos los factores a favor se puede ahorrar hasta un 40% respecto a una construcción convencional, considerando la misma calidad de terminaciones. Ruy Arini en su artículo "Tecnología de construção ecológica em arquitetura de terra", indica que existen algunas tareas y componentes de la obra que tendrán el mismo valor sea cual sea la manera de construir. Por ejemplo, a igual calidad de aberturas o de artefactos sanitarios, el costo de los mismos será igual para una obra tradicional o una convencional. De igual modo los costos de desmontes, rellenos y replanteos dependerán del lugar y no de la técnica a utilizar. Las tareas que presentan mayor ahorro son las de estructura, muros, revoques, pavimentos y techos y ese ahorro depende de las condicionantes antes mencionadas.

Este breve capítulo se referirá a estimativos generales en base a lo registrado durante la obra de Proyecto Hornero y debe considerarse en relación a los modos de producción y recursos disponibles para este caso en particular. El trabajo de sistematización sobre los costos estará finalizado una vez que la primera etapa haya finalizado, pero se presenta aquí algunas tablas indicativas en cuanto a la incidencia de cada uno de los rubros considerados en las etapas de estructura y albañilería rústica.

Techo verde sobre madera		Techo de hormigón	
Rubro	Incidencia [%]	Rubro	Incidencia [%]
Madera	41.7	Hormigón armado	58.1
Piezas metálicas	1.7	Rellenos y alisados	12.9
Impermeabilización	27.9	Impermeabilización	13.4
Sustrato	26.3	Terminación	6.9
Desagües	2.5	Desagües	1.8
100 %		100 %	

Tabla comparativa entre rubros para un techo verde sobre madera y un techo de hormigón armado. Se considera que el costo del techo verde no alcanza el 70 % del valor del techo de hormigón.

En la tabla siguiente se considera la incidencia de cada rubro para el Prototipo Global de Experimentación de Proyecto Hornero a diciembre de 2006, considerando las etapas de estructura y albañilería rústica. No se considera mano de obra ni impuestos, así como tampoco se consideran herramientas, máquinas, accesorios y equipos de protección personal. Tampoco están considerados los costos de gestión, organización de obra, limpieza de terreno, construcciones provisionales, replanteo, cercado, transportes ni movimientos de tierra. Los rubros indicados con (*) están expresando que los costos totales son estimativos ya que se recibió un aporte importante de materiales donados por ANCAP en el caso del cemento pórtland, por UTE en el caso de la

madera estructural y por la Facultad de Agronomía para la madera aserrada y la paja de trigo. Toda la tierra utilizada fue extraída del Centro Regional Sur.

Rubros	Incidencia [%]
1.0- Estructura	
1.1- Dados (*)	10.4
1.2- Vigas cimentación (*)	11.3
1.3- Estructura de madera (*)	16.1
1.4- Piezas metálicas	5.9
2.0- Albañilería	
2.1- Sobrecimiento	1.6
2.2- Contrapiso armado (*)	4.0
2.3- Muros (*)	7.6
2.4- Entrepiso (*)	5.0
2.5- Otros	0.4
3.0- Techo	
3.1- Madera (*)	14.7
3.2- Piezas metálicas	0.2
3.3- Impermeabilización	12.5
3.4- Sustrato (*)	8.9
3.5- Desagües	0.9
3.6- Otros	0.4
Total	100 %

Tabla de incidencia de cada rubro para el Prototipo Global de Experimentación de Proyecto Hornero a diciembre de 2006.

Notas: Estructura de madera: estructura de pilares, vigas y riostras de rolos de eucaliptos tratados con CCA. Sobrecimiento: se consideran bloques con impermeabilización de A+P con la aplicación de emulsión asfáltica en la cara superior Muros: se considera la arena, la paja y la madera utilizada, la tierra se obtiene del lugar. Para los muros exteriores se considera un forro de tablas de madera. Madera: escuadrías y tablas de eucalipto con tratamiento superficial para todos los casos en que no queda cubierta de tierra.

Notas y citas:

¹ "...Sucede frecuentemente que un material convencional de bajo costo para la construcción se utiliza para paredes, a través de las cuales se filtra la humedad, haciéndose después necesario gastar sumas considerables para impermeabilizarlas. De donde resulta que al final el bajo costo del material resulta más caro que su economía inicial...". S. Cytryn en "Construcción con tierra", p. 56.

CAPITULO VI: ACONDICIONAMIENTOS

El sistema de acondicionamiento sanitario, las instalaciones y las terminaciones del Prototipo Global de Experimentación (PGE) serán ejecutadas en la segunda etapa del Proyecto. Se indican a continuación las principales características de la depuración de agua con humedales, las previsiones necesarias para las instalaciones eléctricas y sanitarias y otros sistemas de energía alternativa que pueden ser incorporados al PGE.

Sistemas de Depuración de Aguas

Humedales naturales y construidos

Los humedales naturales o bañados son los ambientes encargados de filtrar y depurar las aguas de todo el planeta asegurando la buena calidad de las mismas a lo largo del tiempo. Que el agua se renueve y esté disponible depende en gran medida de la existencia de los humedales. El ciclo del agua tiene en los humedales sus lugares naturales de purificación. Las aguas residuales domésticas pueden ser fácilmente tratadas mediante la utilización un sistema compuesto por cámara séptica más humedales construidos.

Los elementos funcionales de los humedales construidos son la cámara séptica, el humedal y una charca poco profunda como postratamiento.

La cámara séptica es un pozo excavado en el suelo, revestido de bloques, ladrillos, cemento o inclusive plástico, impermeabilizado y tapado para dejarlo aislado completamente del ambiente. En esta cámara es donde se juntarán las aguas cloacales de las viviendas. Antes de que el agua pase por la etapa de humedal, es decir el canal con plantas acuáticas propiamente, es necesario remover los materiales sólidos gruesos (materia fecal, grasas, arenas y papeles, entre otros) que puedan estar presentes en las aguas servidas. Este proceso de pretratamiento ocurre en la cámara séptica al actuar esta como una trampa de sólidos. Los restos de comida, papel higiénico, materia fecal y todo lo que circula por los desagües transportados en el agua, son retenidos por flotación y sedimentación dentro de la cámara ya que las grasas y aceites flotan y el resto de la materia cae al fondo. Un buen pretratamiento asegura que el funcionamiento posterior del humedal construido alcance mayores eficiencias de depuración, al evitar obstrucciones del humedal por el pasaje de materiales sólidos gruesos. Es muy importante que las cámaras sépticas sean realmente impermeables y estén tapadas para asegurar su aislamiento del entorno. Esto evita que las aguas cloacales en su interior se infiltren al suelo contaminando el entorno y significando un riesgo para la salud.

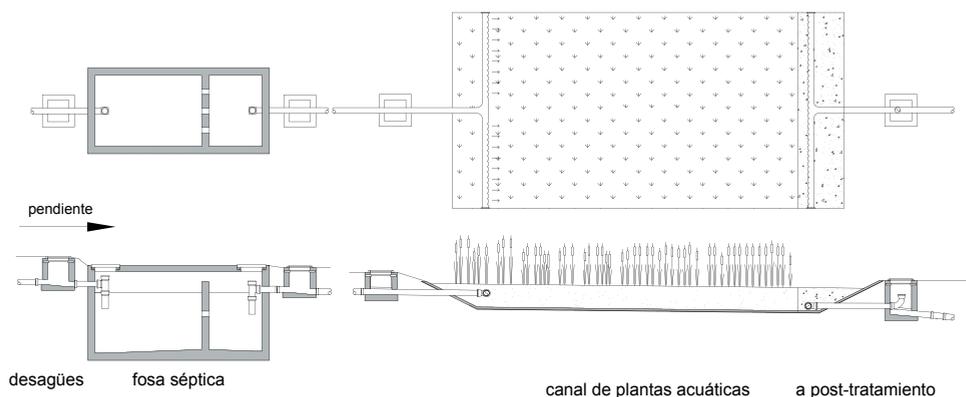


Fig. 88: Elementos funcionales de los humedales construidos, el post-tratamiento es opcional. Planta y corte del humedal de Proyecto Hornero.

Algunos aspectos importantes a tener en cuenta para la construcción de la cámara son:

1- Tiempo de residencia mínimo: para que la cámara retenga la mayor cantidad de sólidos en su interior, es bueno que su volumen (volumen útil) sea lo suficientemente grande para que las aguas cloacales permanezcan al menos 1 o 1.5 días en su interior.

2- Sólidos sedimentables y flotantes: el diseño de la cámara séptica debe considerar un volumen que permita que los sólidos sedimentables puedan acumularse en el fondo (volumen de lodos), evitando su pasaje hacia el canal con plantas acuáticas. También la cámara debe tener un espacio libre por encima del nivel máximo de las aguas con el fin de retener las espumas y grasas flotantes (volumen de espumas). Una profundidad total de 1.40 metros¹ aseguran que el funcionamiento del pretratamiento de la cámara séptica sea óptimo.

3- Entrada y salida de la cámara: para la entrada a la cámara séptica se coloca un codo de PVC de 110 mm de diámetro y en la salida de la cámara hacia el canal se coloca un caño T o ramal T de 110 o 75 mm. El caño T en la salida impide el pasaje del material sólido flotante desde la cámara al humedal.

Una cámara séptica funcionando en buena forma reduce hasta un 40 % la carga orgánica contaminante de las aguas cloacales.

Luego de salir de la cámara séptica, las aguas residuales todavía poseen una alta carga contaminante, peligrosa para la salud y el ambiente. Por eso no se puede verter el agua saliente de las cámaras sépticas en cunetas, calles, espacios públicos, ni mucho menos regar una huerta con ellas o permitir que infiltren en el suelo y entren en contacto con las napas subterráneas.

Las aguas cloacales pretratadas en la cámara pasan al humedal construido para completar un tratamiento que permita su vertido seguro en el entorno. El humedal construido es simplemente un canal poco profundo, alrededor de 0.5 m, de fondo impermeable relleno con piedras de distinto tamaño y plantado con plantas acuáticas. Como se indicó anteriormente, las aguas que entran al humedal ya perdieron una importante cantidad del material sólido pero aún tienen una alta carga contaminante por eso es clave que su circulación sea por dentro del humedal construido entre piedras y raíces (circulación subsuperficial) y nunca por encima de su superficie. Una circulación de las aguas negras por encima de la superficie del humedal implica la presencia de malos olores y un factor de riesgo para la salud de la gente de la casa o el barrio donde está construido el humedal.

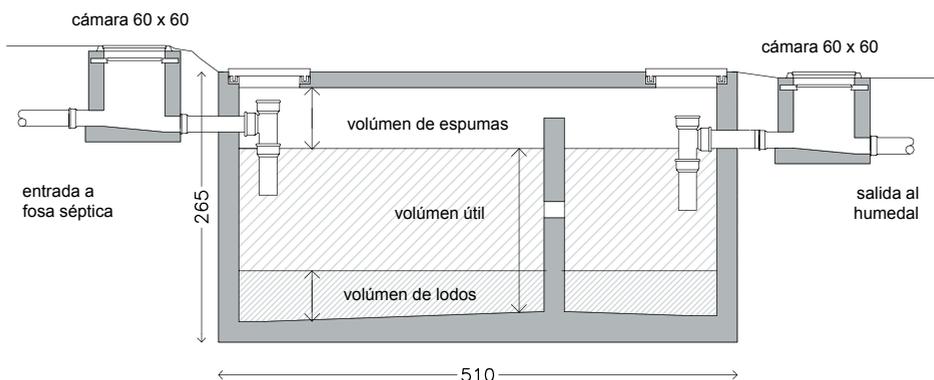


Fig. 89: Detalle de la cámara séptica de pretratamiento de Proyecto Hornero. La profundidad de la cámara deberá ser como mínimo de 1.40 m.

El humedal construido plantea en su diseño la utilización de plantas acuáticas emergentes como agente depurador (juncos, totóras, papiros, etc.). Las plantas emergentes reciben este nombre porque tienen sus raíces enterradas en el suelo pero sus tallos, hojas y flores “emergen” por encima de la superficie del agua donde viven. Las raíces de estas plantas y los microorganismos que viven asociados a ellas, así como en el pedregullo del canal funcionan de forma similar a un reactor microbiológico generando condiciones de depuración ideales para limpiar aguas contaminadas tanto domésticas como industriales.

Algunos aspectos importantes a tener en cuenta para la construcción del humedal son:

1- Profundidad útil: relacionada a la capacidad de enraizamiento de las plantas acuáticas emergentes. Está en función de la profundidad alcanzada por las raíces pero usualmente se utiliza 0.5 m como referencia. Por encima de la profundidad útil se debe considerar un margen de seguridad de 10 o 15 cm para evitar que el agua rebase la superficie del canal y ponga en riesgo la salud de la población.

2- Pendiente: es necesario que el canal tenga una pendiente de 1 % o 2 %². Esto asegura que el agua transite y no se estanque dentro del humedal pero a su vez hace que la circulación sea lo suficientemente lenta para que las plantas acuáticas y microorganismos asociados a sus raíces puedan trabajar en la depuración de las aguas.

3- Impermeabilización: el fondo y las paredes del humedal deben estar totalmente impermeabilizadas para evitar la infiltración del agua residual al suelo y la napa freática. Esto se logra cubriendo el fondo con un nylon grueso como el que se usa habitualmente en invernáculos. El nylon es sencillo de manejar y se consigue fácilmente aunque también se podría utilizar otros materiales para lograr la impermeabilización como ser una membrana asfáltica o cemento.

4- Filtro biofísico: una parte fundamental del humedal es el material de relleno, habitualmente pedregullo, que actuará como filtro físico de las partículas que puedan estar presentes en el efluente luego de su salida de la cámara séptica y que además son el anclaje para la microfauna, elemento clave para la depuración del efluente. También las plantas acuáticas emergentes brindan a través de sus raíces, sostén físico para los microorganismos, mientras que le proveen el oxígeno, transferido desde las hojas hacia las raíces y al interior del sistema, necesario para generar las condiciones necesarias para que los microorganismos puedan remover la carga contaminante de las aguas servidas en forma eficiente. La conjunción de pedregullo, plantas y microorganismos es lo que le da al sistema su funcionalidad para la depuración de aguas contaminadas.

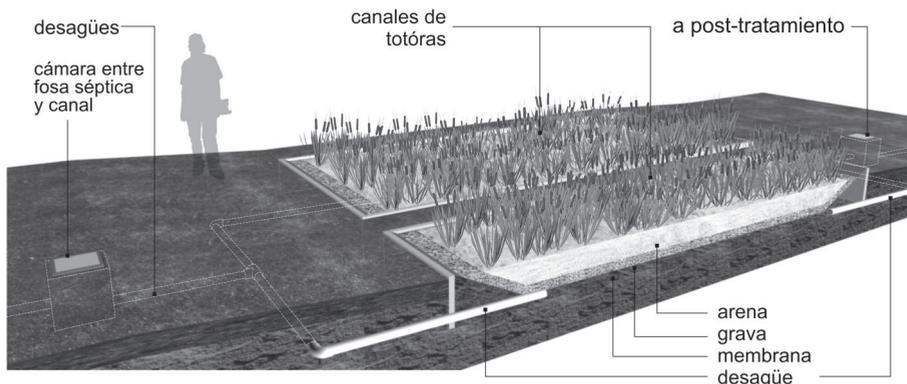


Fig. 90: Corte perspectivo de un sistema de tratamiento con dos canales paralelos de totóras.

5- Zonas del humedal: el tamaño del pedregullo que se utiliza como relleno varía según la zona del humedal. Se puede definir dentro del canal tres partes funcionalmente distintas, cada una con ciertas características en cuanto al sustrato.

A- Zona de entrada: donde se distribuye el efluente. Ocupa todo el ancho del sistema y tiene entre 0.3 y 0.5 m de largo. Es donde se ubica el caño de entrada que conecta la cámara séptica con el humedal. La boca del caño que se ubica dentro del canal, se conecta mediante una T de 110 o 75 mm a dos caños perforados cada 10 cm tapados en sus extremos libres, que cubren todo el ancho del humedal. Esto permite distribuir la entrada de las aguas residuales a todo lo ancho del sistema. La zona de entrada es rellena con piedras grandes de 15 a 20 cm de diámetro, lo que asegura la distribución homogénea de las aguas residuales desde el comienzo del recorrido por el canal. Los caños perforados de la zona de entrada se colocan inmediatamente por encima de la profundidad útil pero tapados por las piedras de los 10 o 15 cm que corresponden al margen de seguridad.

B- Zona media: donde ocurre el proceso de depuración biológica. El material de relleno es el pedregullo de 5 a 8 cm de diámetro. Esta es la zona funcionalmente central del humedal y ocupa prácticamente todo el canal. En la zona media se plantan las acuáticas emergentes y es donde esencialmente ocurrirá el proceso de depuración y filtrado de las aguas negras mediante la acción del complejo formado por plantas, bacterias y piedras.

C- Zona de salida: Al igual que la zona de entrada tiene entre 0.3 y 0.5 m de largo y su material de relleno consiste en la misma piedra gruesa. Es donde se ubica el caño que recoge las aguas salientes del canal. La forma del canal se diseña de manera tal que la circulación del agua se concentre toda hacia el punto donde está instalado el caño de salida, diseños arriñonados o en forma de pétalo pueden desarrollar rendimientos mejores que formas rectangulares. En esta zona el material de relleno es piedra gruesa al igual que en la zona de distribución. Esto facilita que el agua escurra toda hacia el punto donde está ubicado el caño de salida del canal.

El estanque de postratamiento es una batea poco profunda de no más de 15 cm, donde el agua recibe la luz directa del sol³ y mayor oxigenación que dentro del humedal por contacto atmosférico directo. En esta batea o estanque pueden colocarse plantas acuáticas del tipo flotante pero evitando que las mismas cubran toda la superficie del agua. Parte de la superficie debe estar libre para permitir la entrada de aire y luz dentro del agua.

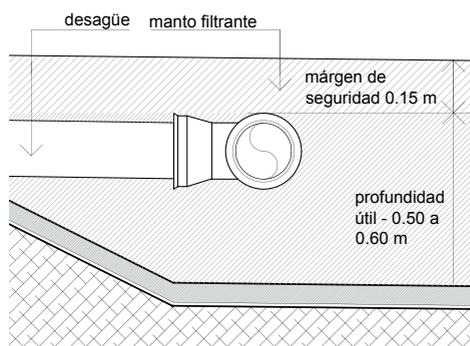


Fig. 91: Totóras creciendo en estado natural en la Ciudad de la Costa, Canelones.

Fig. 92: Detalle de la zona de entrada al canal.

Dimensionado del humedal construido

Los cálculos para obtener las dimensiones del canal implican la utilización de fórmulas matemáticas que pueden ser bastante complejas y por eso no serán expuestas aquí.

Para el caso particular del sistema de tratamiento de Proyecto Hornero se ha supuesto que las aguas residuales generadas tendrán una carga contaminante de concentraciones similares a las aguas de origen doméstico. Un efluente doméstico posee una carga de DBO de 220 mg/l⁴. Se tomó como punto de partida entonces esta carga contaminante para el agua entrante al sistema y un consumo diario de agua de 120 litros por día por persona para residentes y 50 litros diarios para visitantes. El total aproximado de personas residentes es 27 y de visitantes 23 totalizando 50 personas por lo que el caudal medio obtenido es de 4400 l / día (4.4 m³/día).

El diseño del sistema de tratamiento para el Proyecto plantea un sistema de doble cámara séptica. Ambas cámaras albergan en total 9.8 m³ de efluente (volumen útil) y 1.66 m³ de lodos (volumen de lodos). Esto hace que la eficiencia del pretratamiento pueda alcanzar entre 30 y 40 % de depuración del efluente debido mayoritariamente a la retención de sólidos.

El humedal que recoge el efluente de la cámara séptica está diseñado para que su eficiencia sea de un 90 % de depuración. Esto significa que el efluente finalmente a la salida del humedal tendrá una DBO de 15 mg/l. Para alcanzar estos valores de eficiencia, la superficie total del Humedal construido deberá ser de 60.5 m² y su profundidad de 0.70 m (útil + margen de seguridad).

Al alcanzarse una DBO de 15 mg/l el efluente podría⁵ ser vertido directamente al tajamar existente pendiente debajo de la construcción del Proyecto Hornero, evitando la construcción de una batea de postratamiento. Si se quisiera las aguas ya tratadas pero aún ricas en nutrientes como nitrógeno y fósforo podrían ser utilizadas para riego de los árboles ornamentales situados en los alrededores de la casa o utilizados en cultivos que no sean destinados directamente al consumo humano.

Los humedales construidos como opción de saneamiento ecológico son una posibilidad por demás interesante de depuración de aguas residuales. Desde el punto de vista de la salud humana y ambiental es una alternativa muy superior al vertido directo a las cunetas o al pozo negro con infiltración a terreno. Con la ventaja añadida del potencial reuso seguro de las aguas ya tratadas.



Fig. 93 y 94: Previsión de canalizaciones de sanitaria y eléctrica en una vivienda de bloques de tierra alivianada con viruta en Rocha.

Instalaciones, pavimentos y energías renovables

La ejecución de una construcción con tierra, implica no solo la elevación de los muros sino también la previsión de adecuaciones e instalaciones que van incorporadas en los mismos. Las instalaciones de energía y de abastecimiento de agua potable se pueden colocar al interior interiores o al exterior del cerramiento. Las previsiones para las instalaciones exteriores son más simples pues solamente implican la definición de los puntos estructurales en los cuales se fija el elemento de anclaje. Lo más interesante es prever desde el diseño la manera de integrar las instalaciones con conductos y pases que se resuelvan en el interior del cerramiento sin afectar sus características. En Proyecto Hornero se ha previsto utilizar una variante de los paneles de tierra alivianada que incorpore elementos especiales huecos, a modo de vainas por los cuales se enhebran cañerías y se fijan los elementos accesorios.

La pavimentos con materiales naturales exigen la preparación de una base con algunos cuidados especiales como la compactación y nivelación o la ejecución de un contrapiso armado para officar de barrera impermeable. Estas terminaciones están conformadas por tierra mezclada con un agregado para resistir el tránsito y la abrasión normal de un pavimento. Uno de los agregados posibles es la segregación salival de algunas especies de hormiga de nuestro país. La ejecución implica un cuidado especial en la colocación, la verificación de rendimientos, la calidad de ejecución y el monitoreo posterior. Al no haber experiencia previa, la ejecución requerirá de ensayos de laboratorio y pruebas de campo para analizar su comportamiento y verificar que se ajuste a las necesidades del local. Esta técnica aún se utiliza en el medio rural pero la ejecución en forma espontánea y sin una debida sistematización no permite evaluar resultados. Es por esta razón que se busca analizar esta técnica para optimizar su rendimiento y durabilidad.

Proyecto Hornero busca incorporar y adaptar tecnologías alternativas, como la energía eólica o la energía solar activa⁶, para hacerlas viables económicamente en el medio rural y en la vivienda de interés social. El alto costo de los equipos necesarios para estos sistemas es debido a que no son fabricados en nuestro país⁷. Los antecedentes de aplicación en viviendas individuales, permiten afirmar que es posible adaptar y utilizar equipos menos complejos pero con efectividad en la obtención de energía renovable. Los vientos constantes en áreas rurales de Uruguay, como en el caso de la región sur de Canelones, aseguran el funcionamiento de molinos de viento el 80% de los días del año y se podría implementar aerogeneradores para aplicaciones de bombeo de agua, con una inversión rentable. En cuanto a la conversión de energía solar, esta puede ser viable según dos posibilidades: conversión fotovoltaica y conversión térmica. La primera significa el uso de la energía solar con el fin de producir energía eléctrica y en el segundo caso implica el uso de paneles con cañerías a modo de serpentines para calentar y acumular agua para uso doméstico.

Plan de forestación

Proyecto Hornero cuenta con un plan de forestación que se lleva a cabo desde 2003 cuando se plantaron los primeros 25 ejemplares donados por la Facultad de Agronomía en el marco de los 95 años de la AEA. El plan original contaba con 44 ejemplares y fue diseñado en base a estas especies disponibles buscando la mejor manera de explotar sus características. Este plan sufrió modificaciones a lo largo del tiempo debido a la pérdida de algunos árboles y a la adquisición de otros. En octubre de 2006 se plantaron 10 ejemplares más donados por el vivero de la Intendencia Municipal de Montevideo, entre ellos dos ejemplares de palmeras Pindó. Todos los árboles y arbustos pertenecen a nuestra flora nativa y en general se han adaptado muy bien a las condiciones del lugar. En el área ya existían cuatro árboles también autóctonos: un Tala y tres Palo de Jabón que fueron tomados en cuenta. El plan de forestación persigue objetivos paisajísticos, de acondicionamiento natural y de preservación de la flora nativa.

1- Paisajísticos: se busca deleitar los sentidos combinando distintos colores, aromas, texturas, sonidos y sabores, aprovechando los cambios que sufre la vegetación para obtener diferentes paisajes en las distintas estaciones en un mismo lugar. A nivel espacial la disposición de los ejemplares acompaña los recorridos lineales debido a la plantación de árboles de gran porte a ambos lados del camino existente y de mediano porte en dos líneas paralelas entre el casco del CRS con el PGE. Además de estos espacios dinámicos, se generan espacios estáticos de paseo y contemplación ubicando especies de mediano y pequeño porte en los alrededores de la casa. También las especies de gran porte permiten destacar puntos de referencia como la zona del acceso a la galería, donde se plantaron las palmeras Pindó que alcanzan gran altura y su forma y un follaje particular las destaca de los otros árboles. En todos los casos se mantienen despejadas las vistas hacia el tajamar para resaltar su atractivo.

2- Acondicionamiento natural: se busca proteger a la construcción y las personas de los vientos, colocando especies perennes sobre la zona sureste, donde éstos se dan con intensidad y generando una barrera vegetal en la zona noreste donde los vientos se dan con mayor frecuencia. Con los distintos tipos de hojas se producen espacios de sombra especialmente en el verano, ubicando especies caducas o de follaje semipersistente en la zona norte del parque.

3- Preservación de la flora nativa: uno de los principales objetivos del plan de forestación es rescatar el monte nativo que se ha perdido en gran parte en nuestro país debido al cultivo de hortalizas, la cría de animales y la forestación con especies foráneas. Se busca contribuir así a la generación de un interesante ecosistema propio de nuestra región apostando también a la preservación de la flora y la fauna.

Nombre vulgar	Nombre científico	Ejemplares originales	Ejemplares al 12/2006
Aguai	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	1	-
Algarrobo blanco	<i>Prosopis alba</i>	2	2
Angico	<i>Parapitadenia rigida</i>	2	2
Arazá	<i>Psidium cattleianum</i>	2	-
Arrayán	<i>Blepharocalyx tweediei</i>	-	2
Árbol del pito	<i>Escallonia bifida</i>	1	-
Butiá	<i>Butia capitata</i>	1	-
-	<i>Collaea stenophylla</i>	1	-
Cedrón del monte	<i>Aloysia gratissima</i>	1	-
Ceibo	<i>Erythrina cristagalli</i>	1	-



Fig. 95 y 96: Vista general del lugar de implantación con escasa presencia de vegetales (febrero, 2005) y vista parcial de la zona forestada (mayo, 2007).

Ceibo blanco	<i>Erythrina cristagalli</i> <i>var.leucochlora</i>	1	-
Chal Chal	<i>Allophyllus edulis</i>	1	-
Francisco Alvarez	<i>Luehea divaricata</i>	2	1
Hibisco	<i>Hibiscus cisplatinus</i>	1	-
Lapachillo	<i>Lonchocarpus nitidus</i>	2	2
Lapacho	<i>Tabebuia ipe</i>	1	2
Laurel	<i>Ocotea acutifolia</i>	2	1
Mataojos colorado	<i>Pouteria gardneriana</i>	4	2
Molle ceniciento	<i>Schinus lentiscifolius</i>	2	2
Napindá	<i>Martynia lutea</i>	1	-
Palo de fierro	<i>Myrrhimum loranthoides</i>	-	2
Palo de jabón	<i>Quillaja brasiliensis</i>	3 prexistentes	3 prexistentes
Pindó	<i>Arecastrum romanzoffianum</i>	1	2
Pitanga	<i>Eugenia uniflora</i>	-	1
Plumerillo rojo	<i>Calliandra tweedii</i>	1	-
Plumerillo rosado alto	<i>Calliandra selloi</i>	1	-
Plumerillo rosado bajo	<i>Calliandra parvifolia</i>	1	-
Rama negra	<i>Cassia corymbosa</i>	1	-
Sensitiva	<i>Mimosa polycarpa</i>	2	-
Tala	<i>Celtis spinosa</i>	1 nuevo + 1 prexistente	1 prexistente
Tala blanco	<i>Duranta repens</i>	1	1
Tarumán	<i>Citharexylum montevidense</i>	2	-
Timbó	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	2	-
Traumán sin espinas	<i>Vitex megapotaemicus</i>	1	-
Zapirandí	<i>Tabernaemontana catharinensis</i>	1	-
No identificados		-	6 nuevos + 1 prexistente
Total:		48 ejemplares	33 ejemplares

Tablas de especies consideradas en el plano original y especies existentes a diciembre de 2006

Notas y citas:

¹ 1.10 m para líquidos y lodos y 0.30 m libres para material flotante

² Una pendiente de 1% equivale a que por cada metro de longitud del canal el nivel del suelo baje un centímetro.

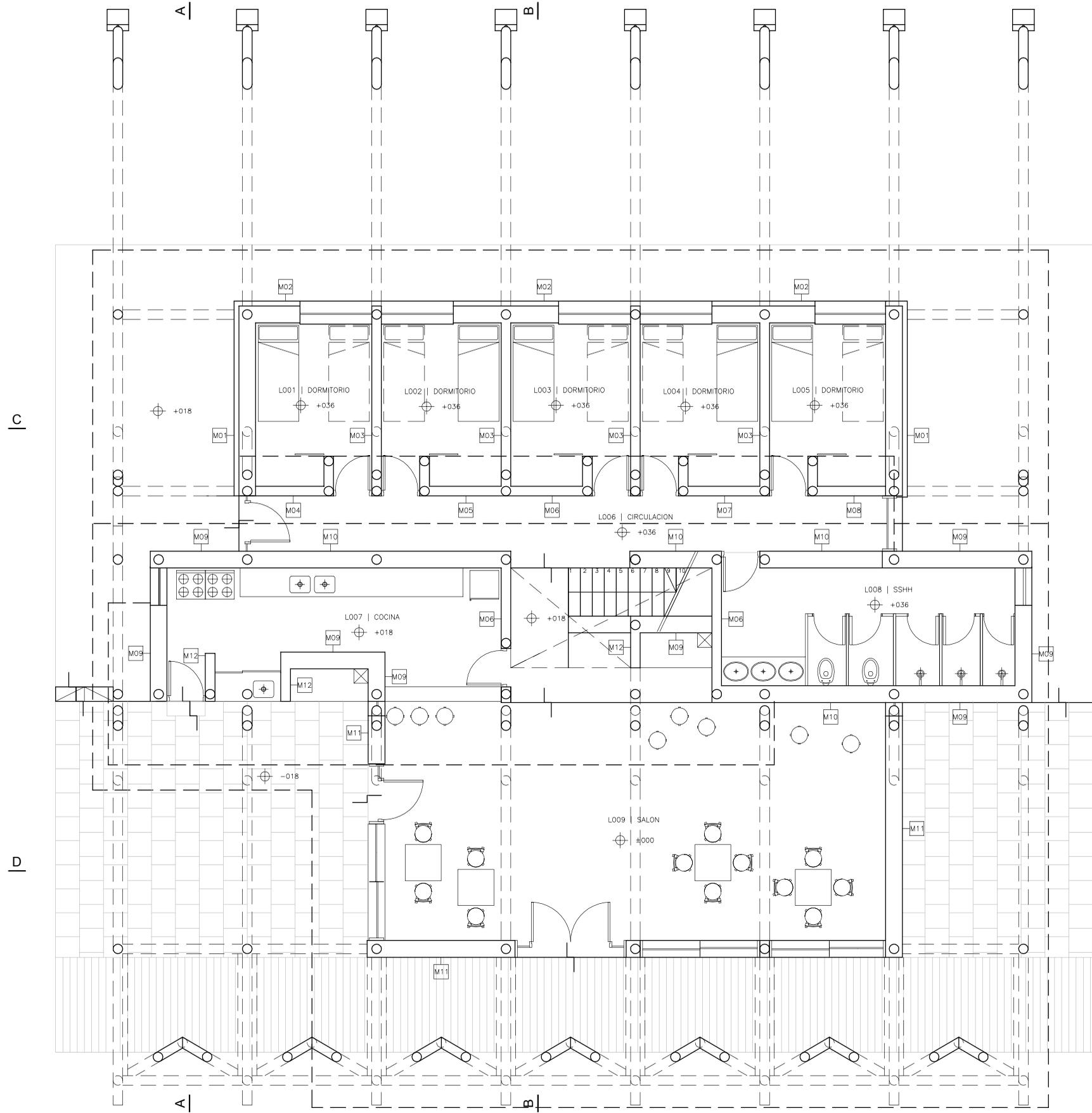
³ Los rayos ultra violetas del sol (UV) tienen un efecto desinfectante al matar las bacterias dentro del agua.

⁴ La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una expresión que muestra cuanto oxígeno se necesitaría para consumir la materia orgánica presente en un cuerpo de agua determinado (arroyo, lago o agua cloacal de viviendas o industrias). La DBO es uno de los parámetros de mayor utilidad para la determinación de la calidad de aguas y se mide en miligramos (mg) de oxígeno por litro de agua (mg/l).

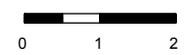
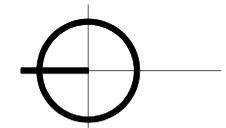
⁵ Según el decreto N° 253/79 de la reglamentación vigente en Uruguay.

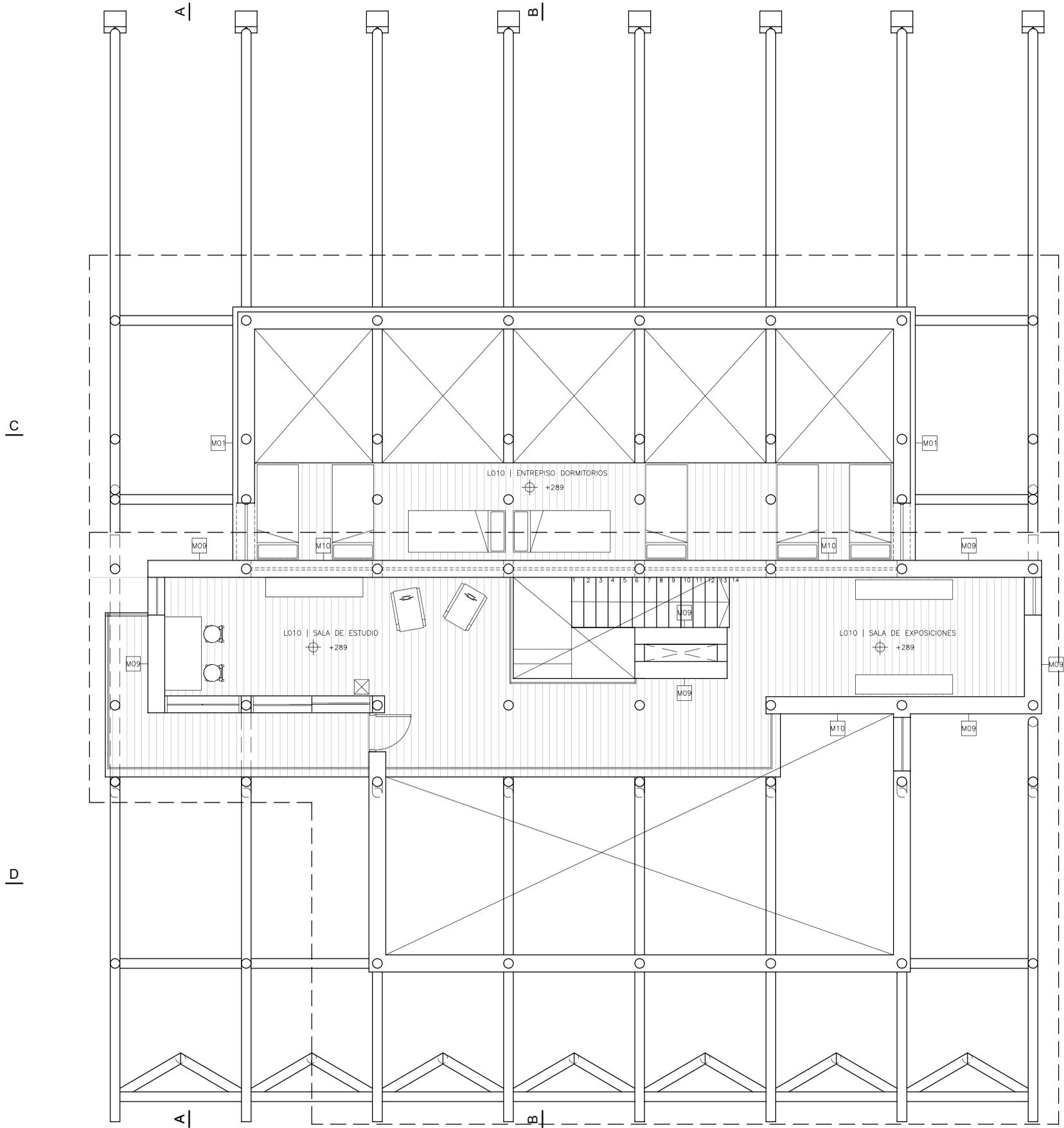
⁶ La energía solar activa implica el uso de sistemas termodinámicos que utilizan la circulación forzada de líquidos o gases como medio de transporte de calor solares desde los lugares de captación a los de acumulación y distribución

⁷ "...El término arquitectura solar expresa un nuevo concepto en el diseño arquitectónico que supone la utilización de la energía del sol para mejorar las condiciones ambientales de un espacio habitado y para sustituir el consumo de costosa energía convencional por la energía gratuita solar. Esto no debe llevar a la idea equivocada de que el aprovechamiento del calor del sol está libre de todo costo, porque la fuente de energía está siempre a disposición, los elementos de captación, almacenaje y distribución tienen un costo inicial que no es despreciable...". Teresa Santiago en "Aplicaciones de la energía solar", p. 105.

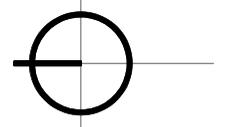


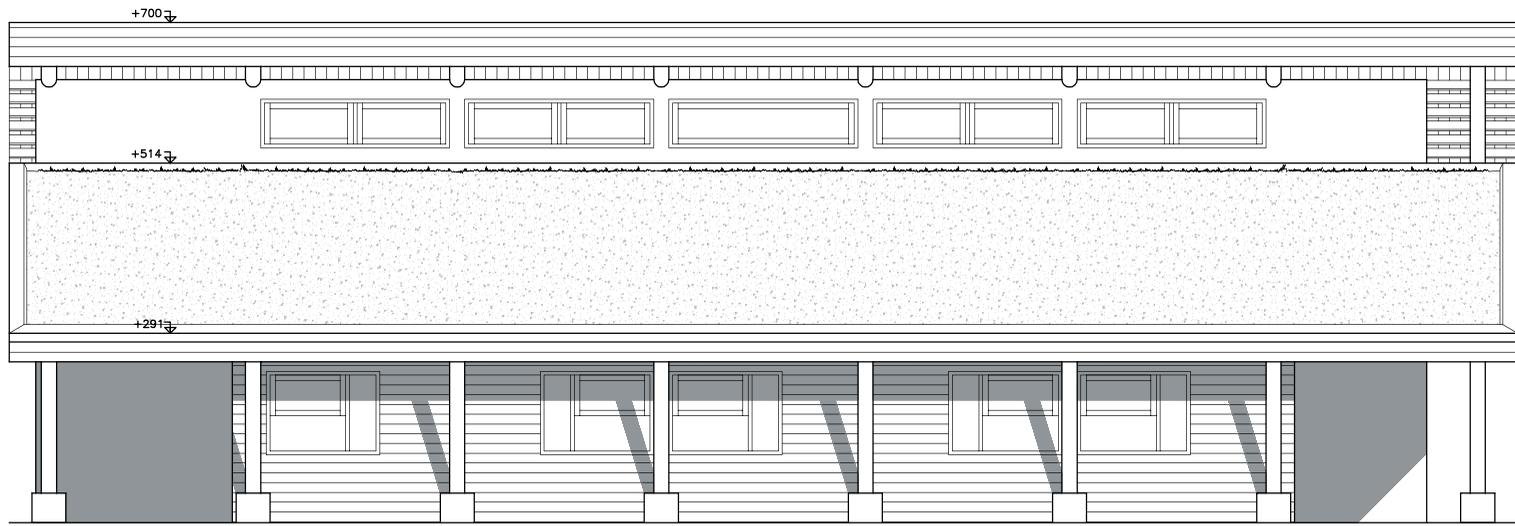
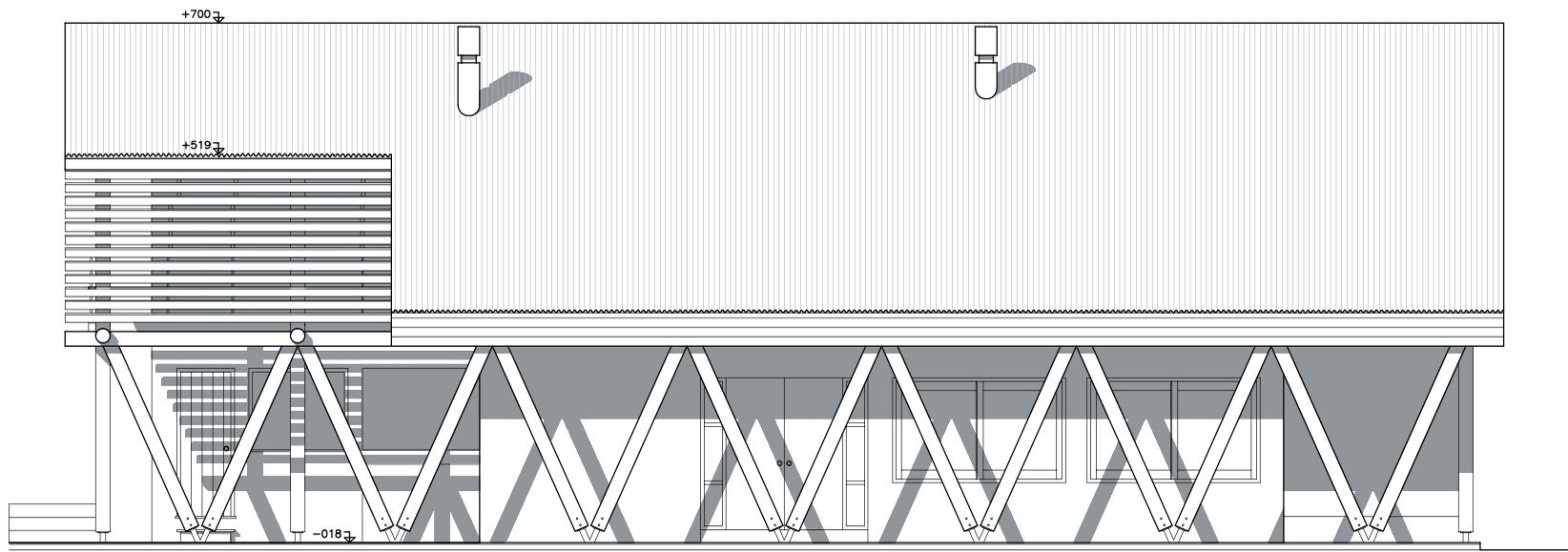
- M01 Adobe con cámara de aire
- M02 Apisonado de tierra alivianada con paja con cámara de aire
- M03 Apisonado de tierra alivianada con paja
- M04 Bloques de tierra alivianada con viruta
- M05 Fajina
- M06 Paneles de tierra alivianada con paja
- M07 Bloques de tierra alivianada con paja
- M08 Rollos de tierra alivianada con paja
- M09 Adobe
- M10 Paneles de tierra alivianada con paja
- M11 Apisonado de tierra alivianada con paja
- M12 Adobe

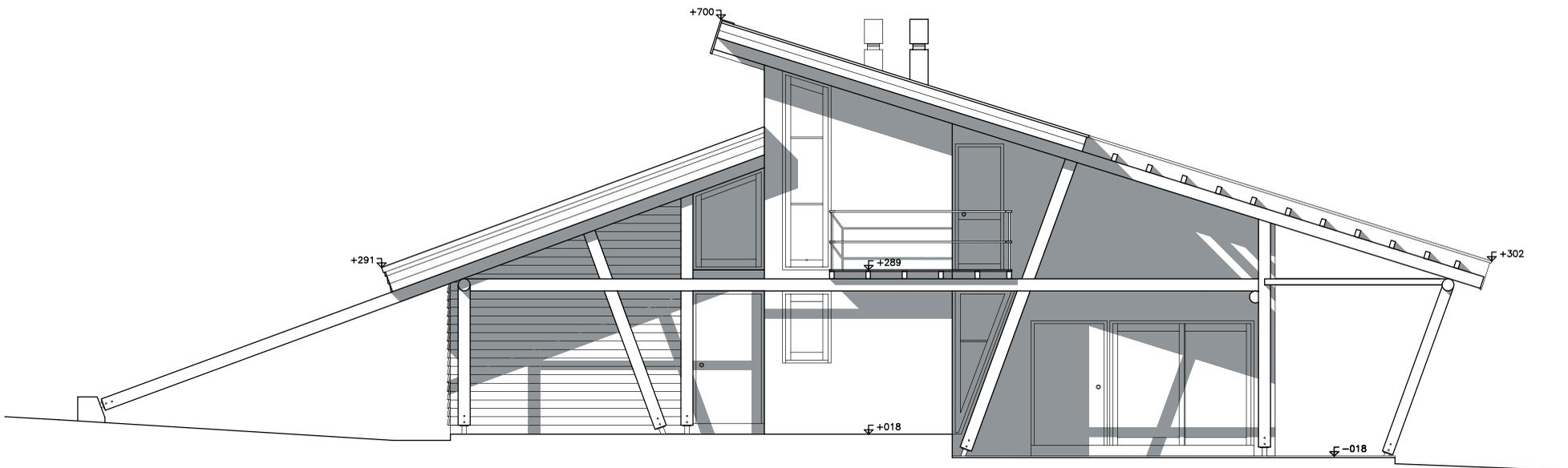
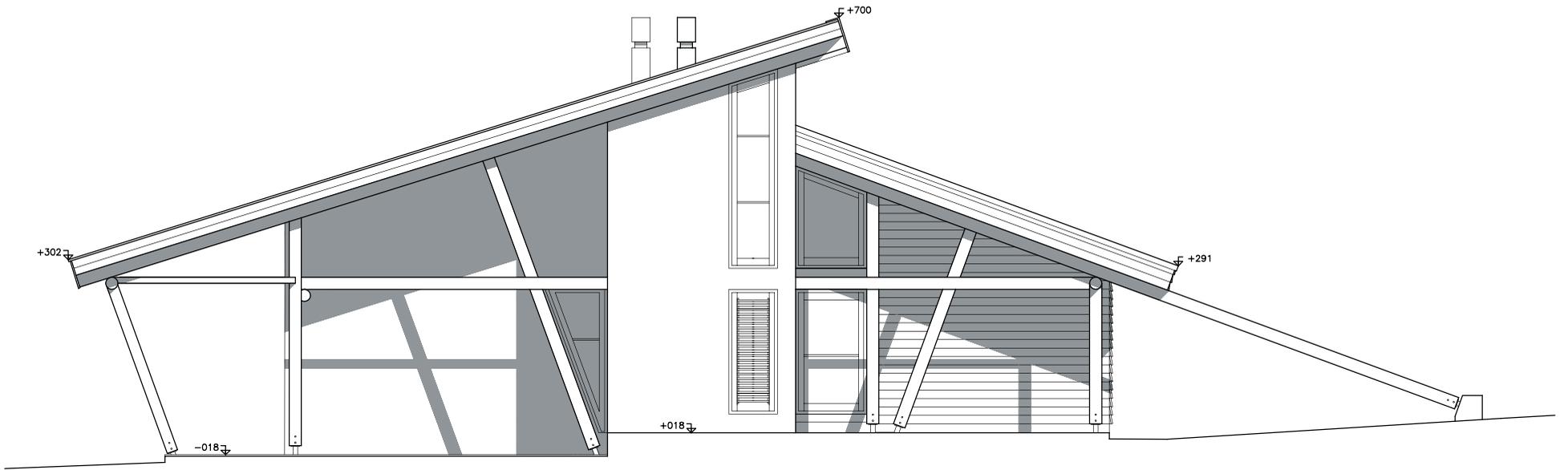


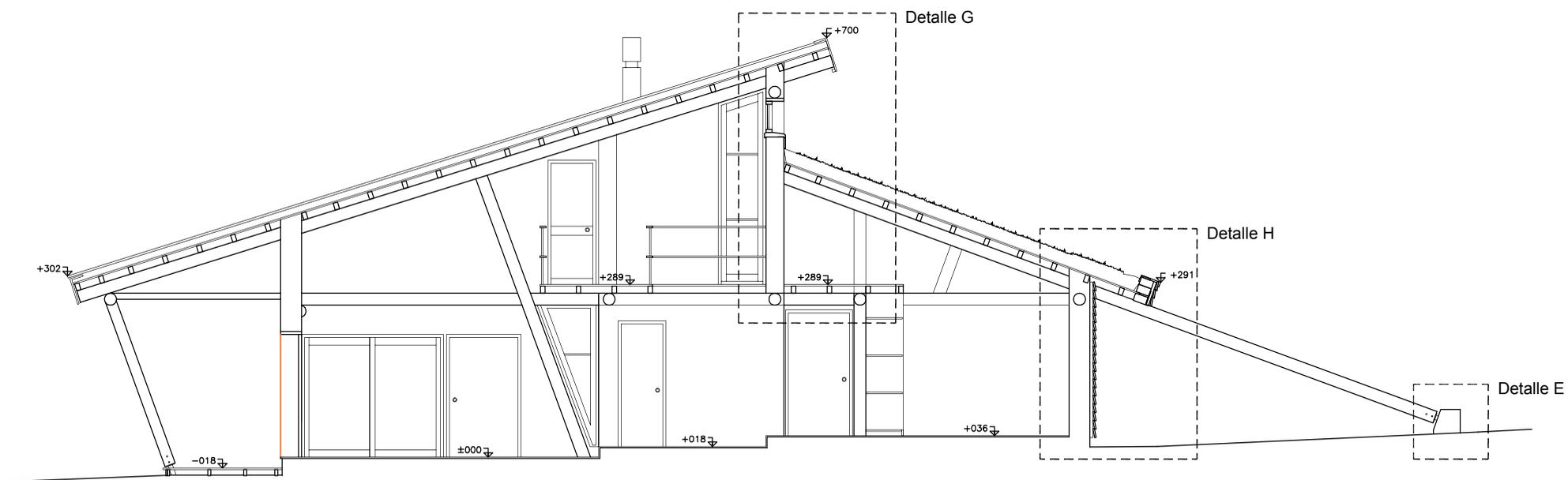
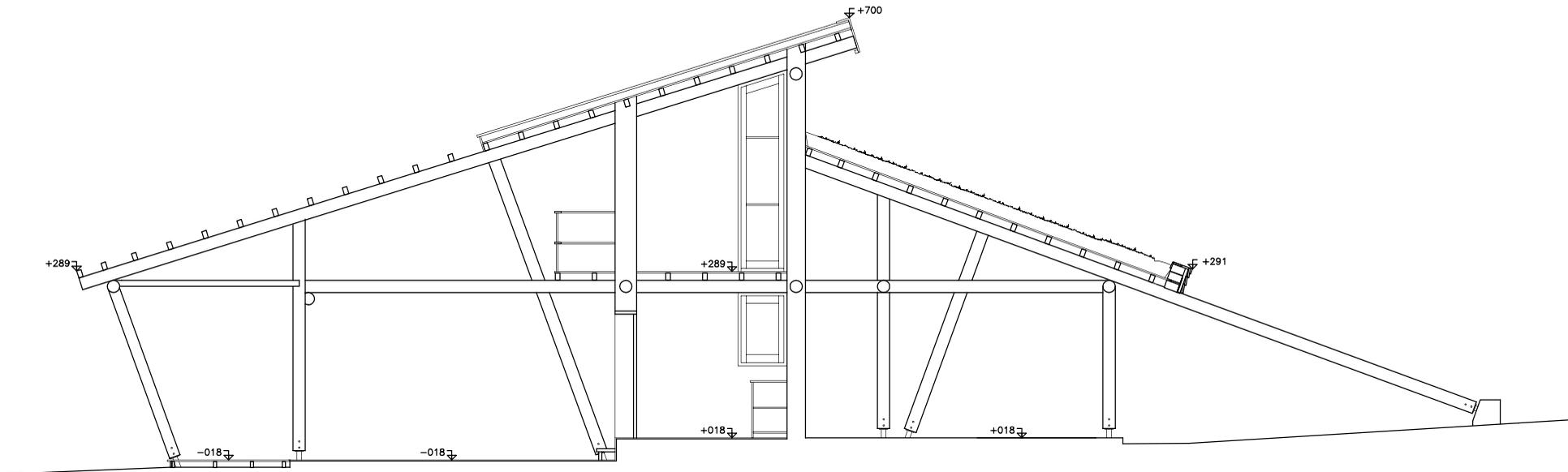


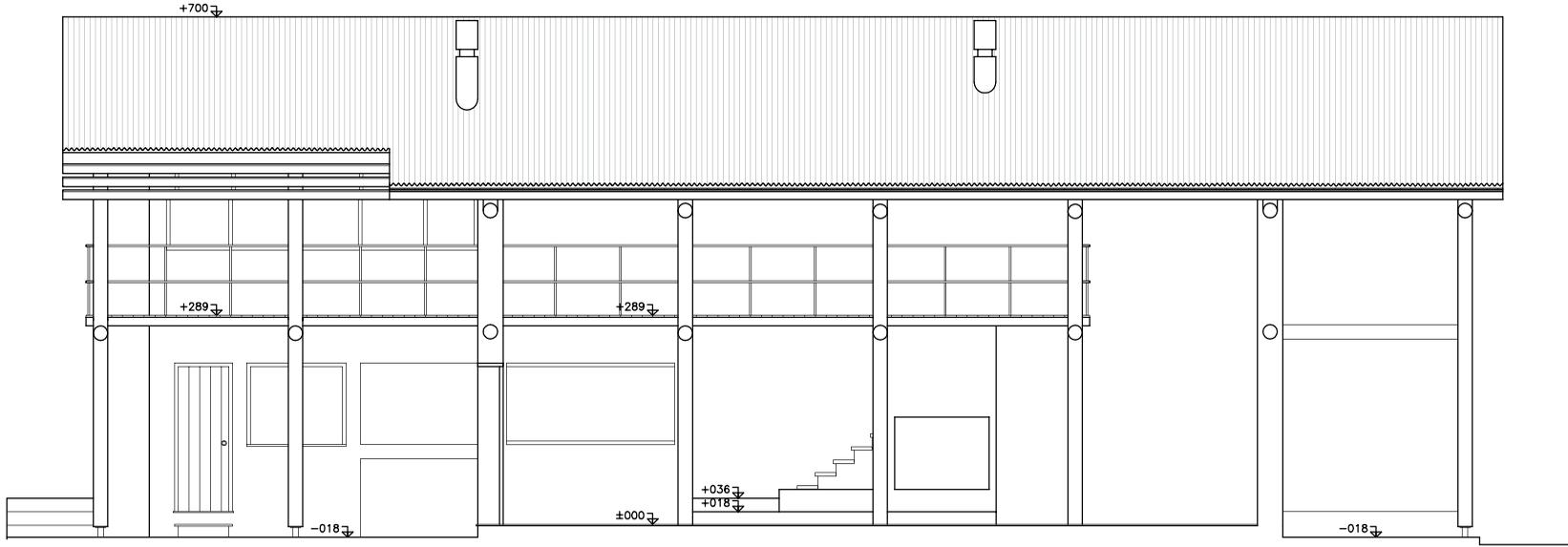
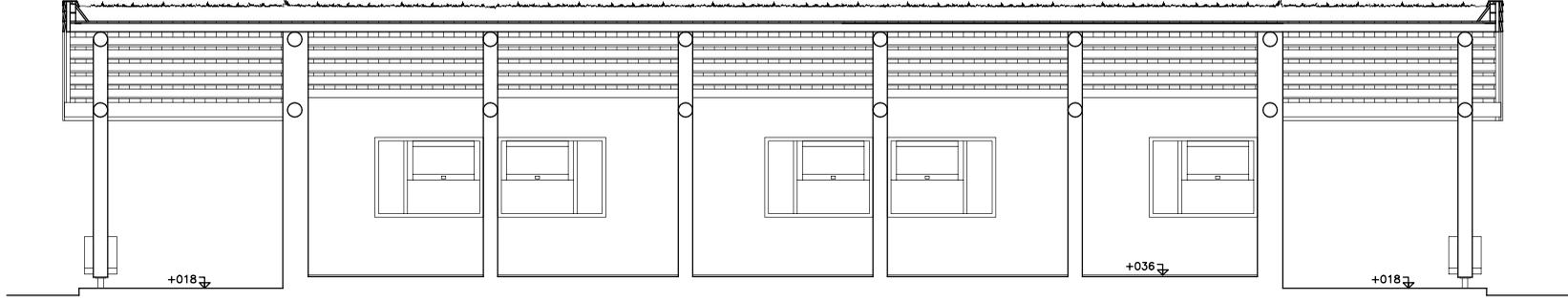
- M01 Adobe con cámara de aire
- M02 Aplisonado de tierra allivianada con paja con cámara de aire
- M03 Aplisonado de tierra allivianada con paja
- M04 Bloques de tierra allivianada con viruta
- M05 Fajina
- M06 Paneles de tierra allivianada con paja
- M07 Bloques de tierra allivianada con paja
- M08 Rollos de tierra allivianada con paja
- M09 Adobe
- M10 Paneles de tierra allivianada con paja
- M11 Aplisonado de tierra allivianada con paja
- M12 Adobe

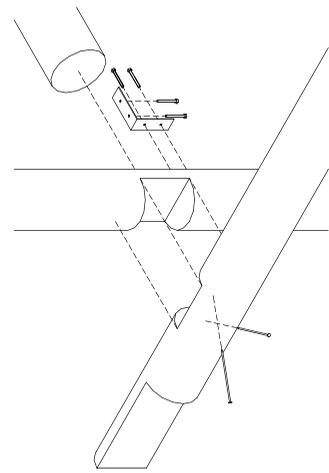
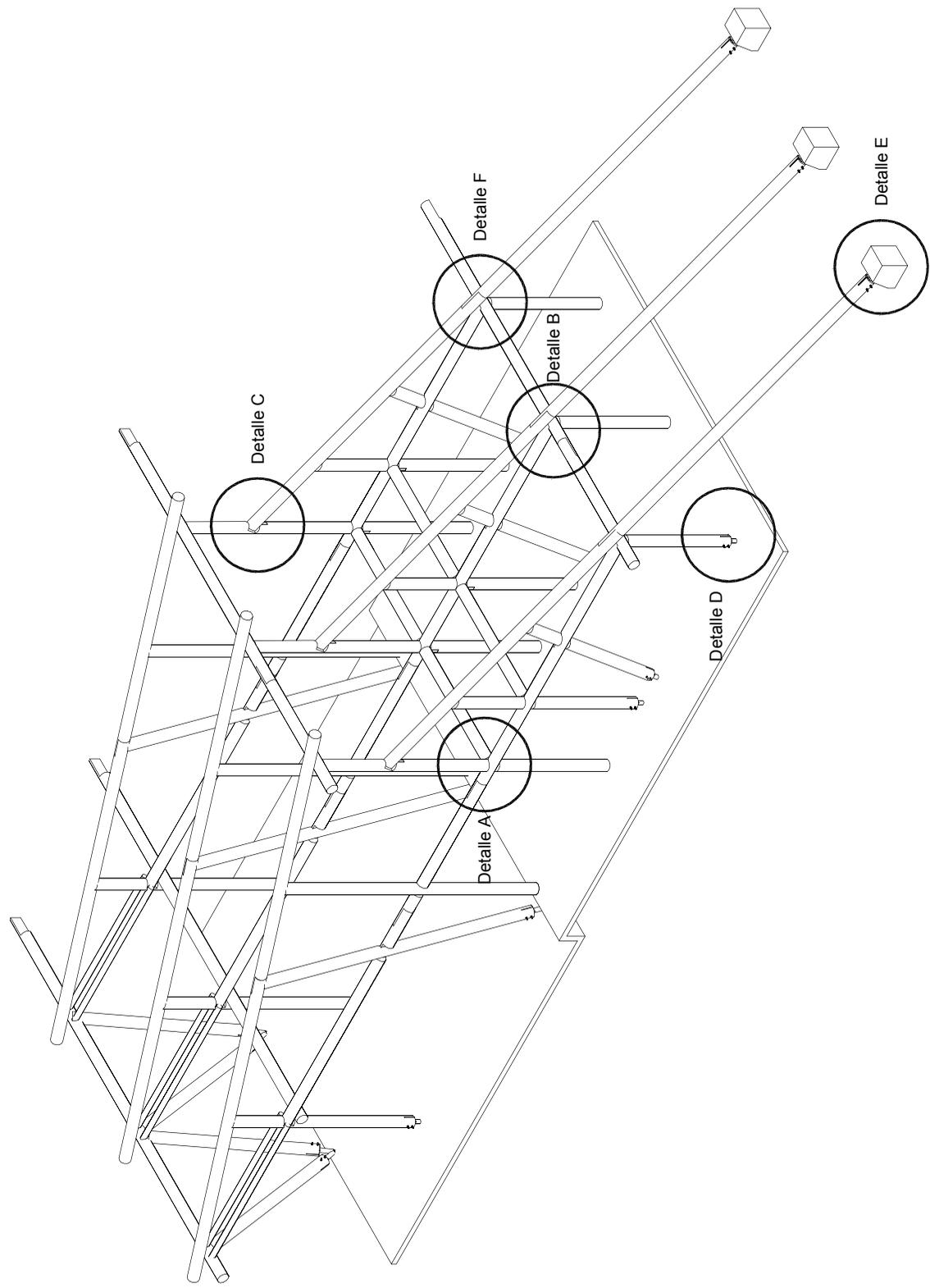




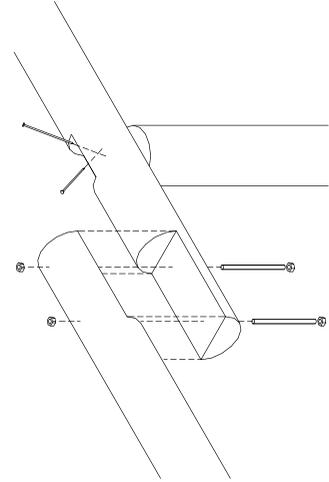




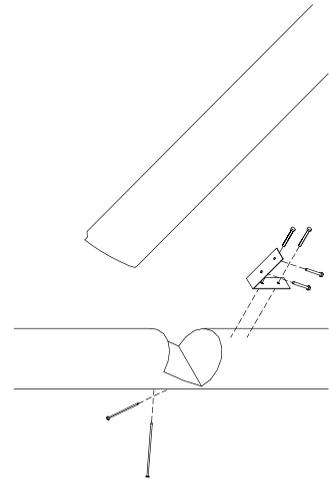




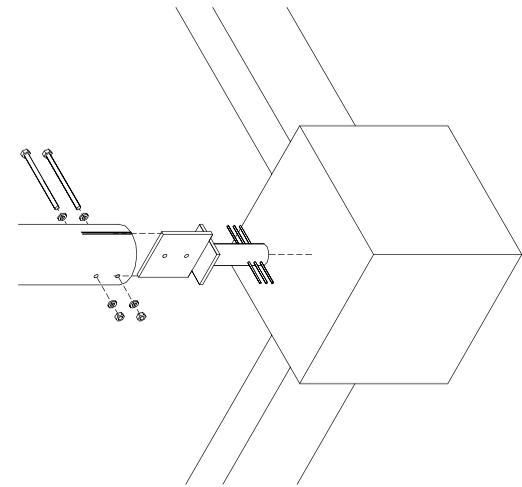
Detalle A: encuentro con ángulo metálico y encastre a media madera



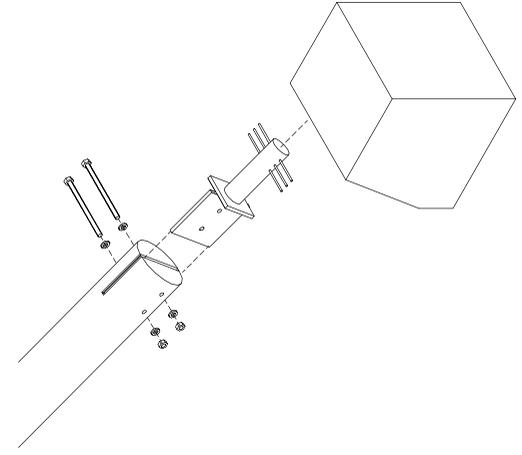
Detalle B: encuentro a media madera de vigas horizontales - ver detalle F



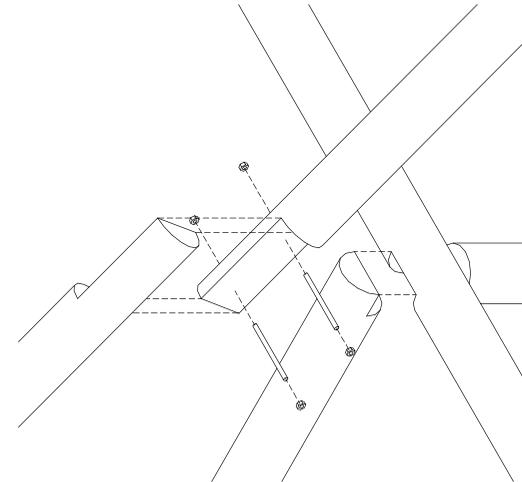
Detalle C: encuentro superior de vigas inclinadas - ver detalle E



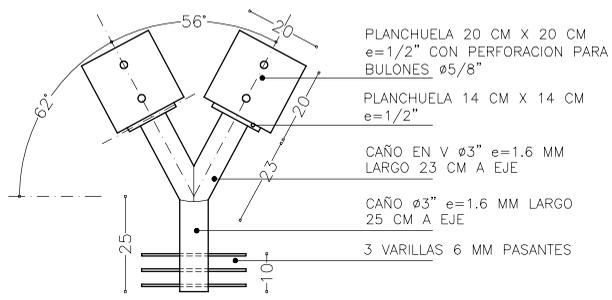
Detalle D: apoyo de pilares verticales con vínculo metálico



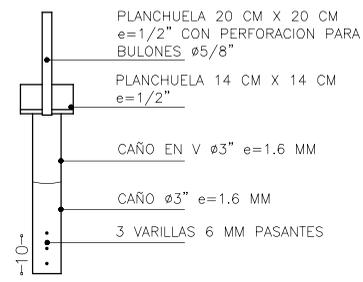
Detalle E: encuentro inferior de vigas inclinadas - ver detalle C



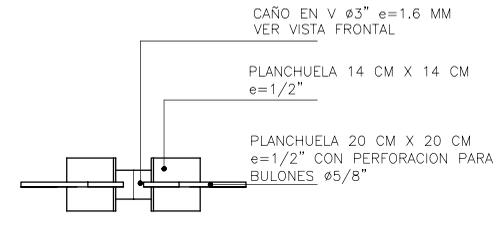
Detalle F: unión a media madera en vigas inclinadas - ver detalle B



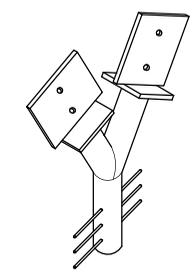
Vista frontal



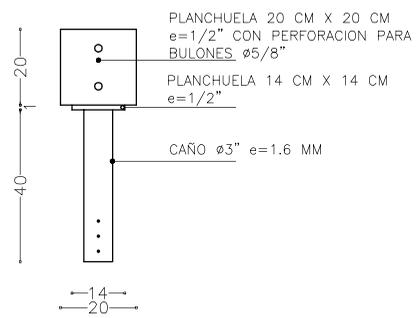
Vista lateral



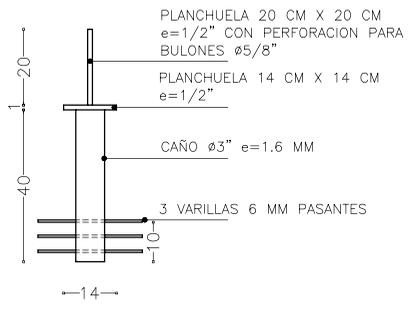
Vista superior



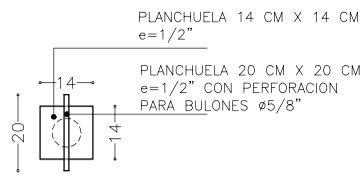
Vista perspectiva



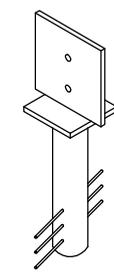
Vista frontal



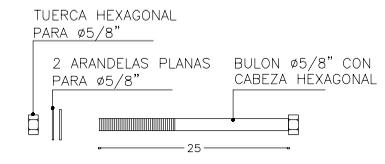
Vista lateral



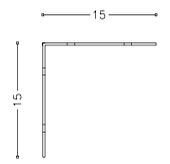
Vista superior



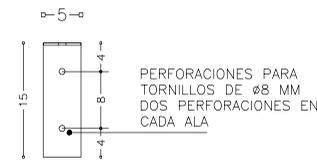
Vista perspectiva



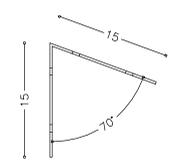
Detalle de bulón esc. 1:10



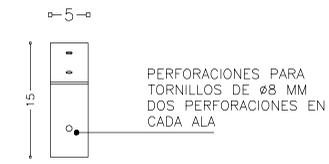
Vista lateral



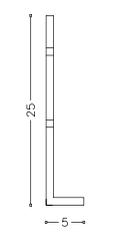
Vista lateral



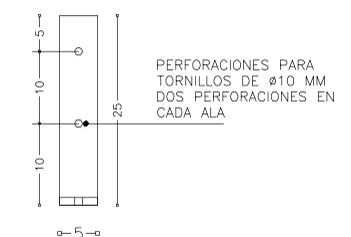
Vista lateral



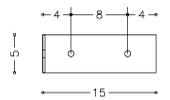
Vista frontal



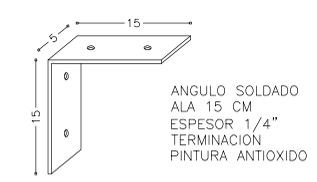
Vista lateral



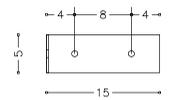
Vista frontal



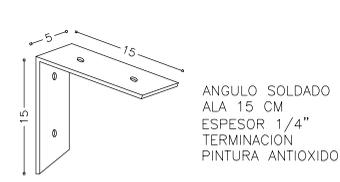
Vista planta



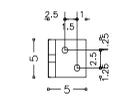
Perspectiva



Proyección verdadera para perforaciones en alas



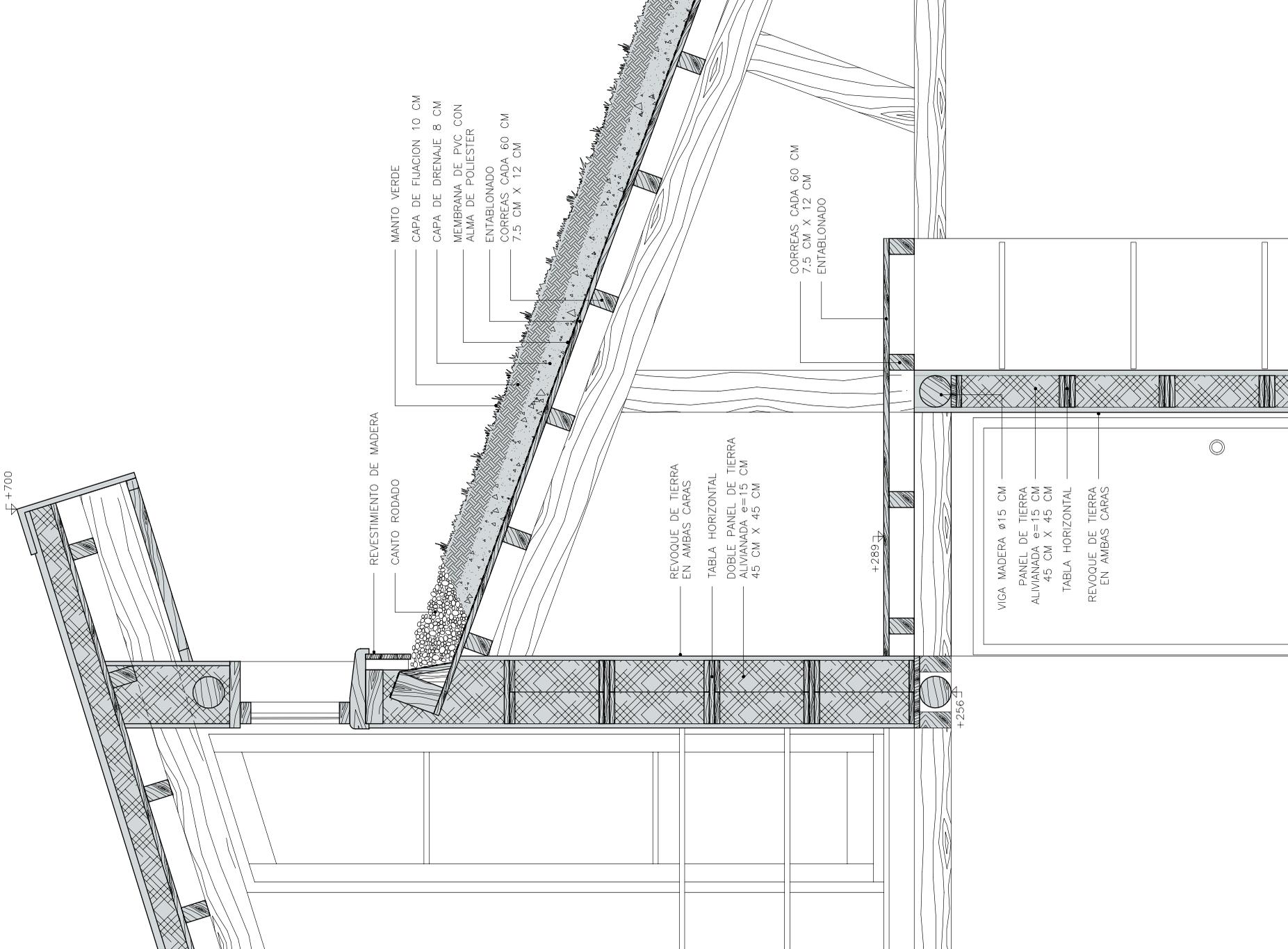
Perspectiva

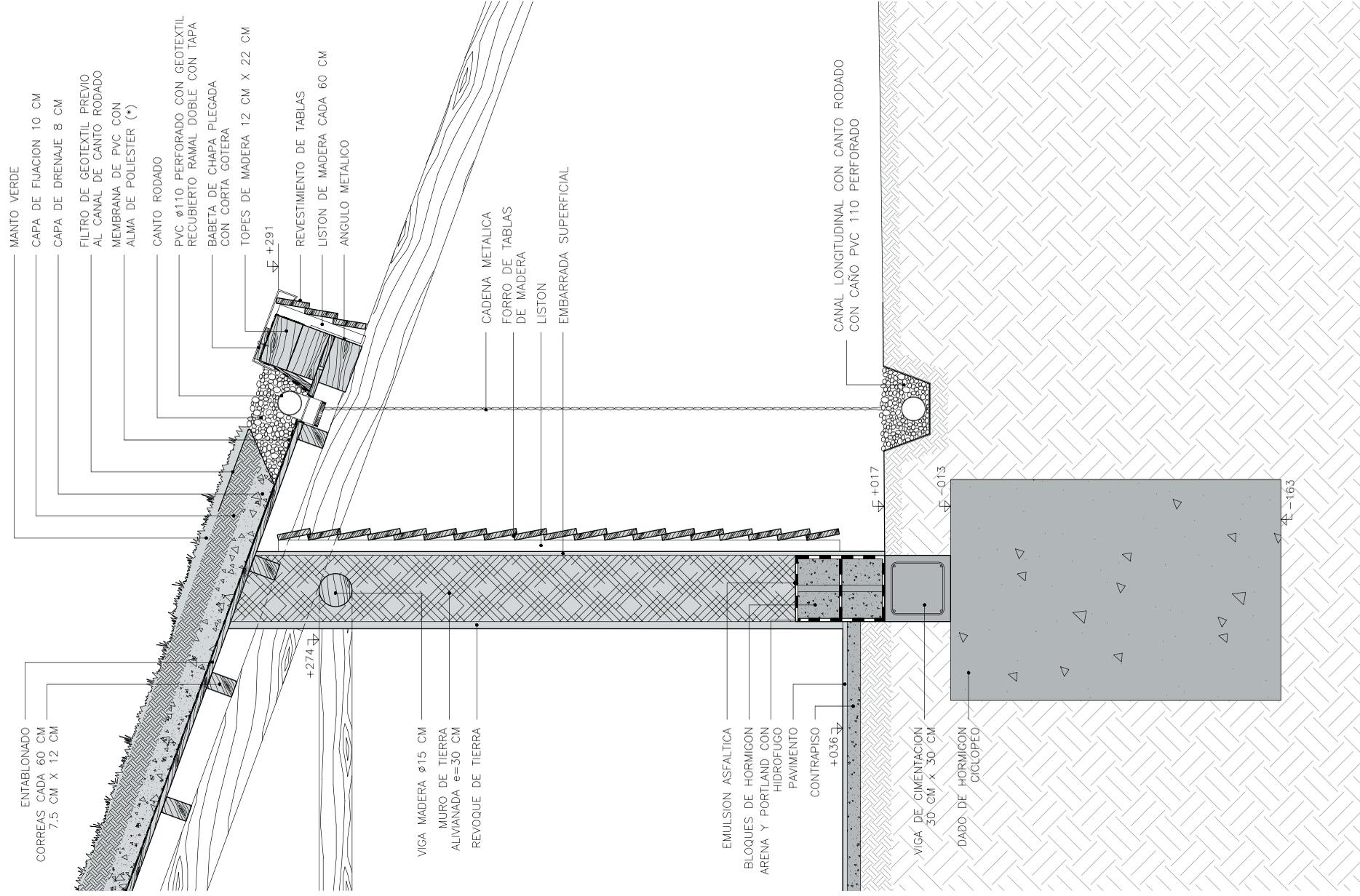


Vista planta

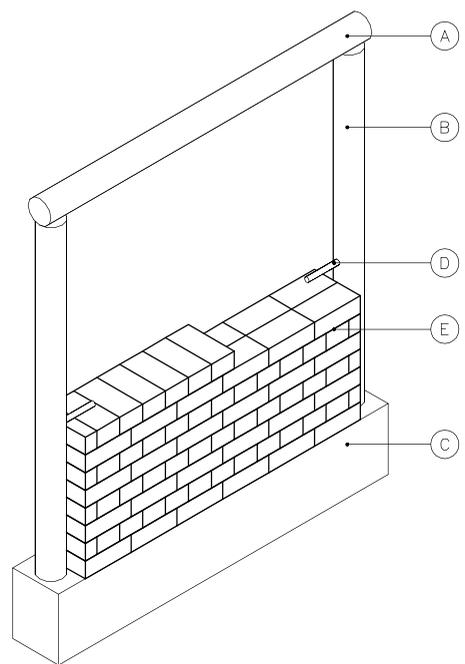
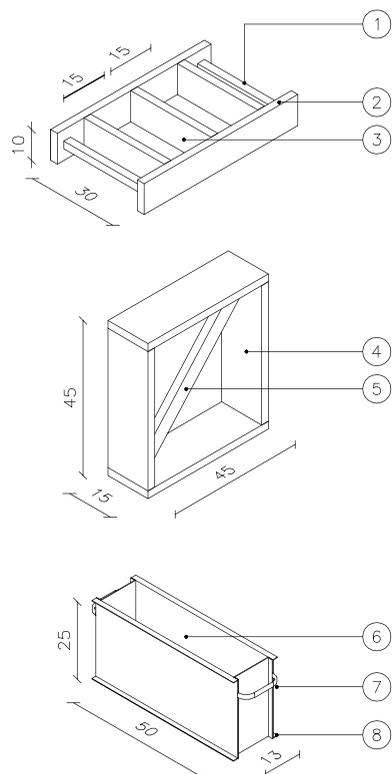


Perspectiva

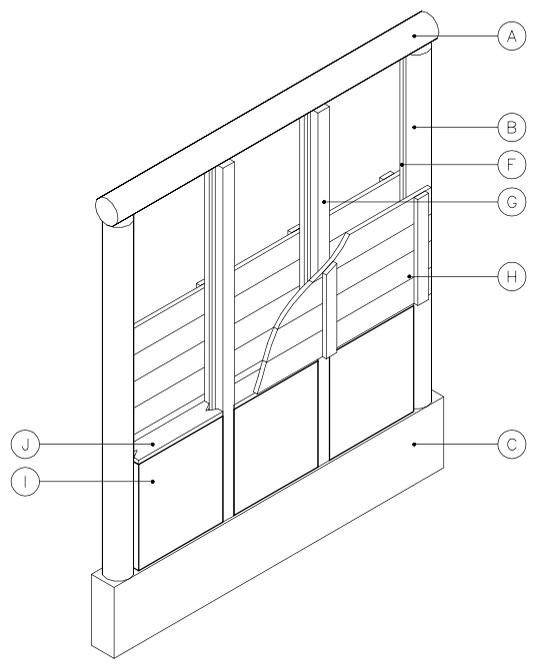




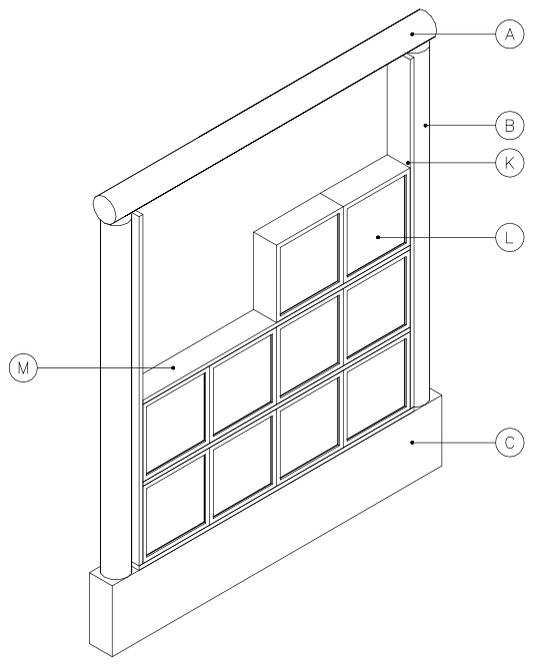
(*) EN EL CASO DEL PGE SE COLOCO DEBAJO DE LA MEMBRANA DE PVC UN FILM DE POLIETILENO Y CARTON CORRUGADO



Esquema constructivo de muro de adobes

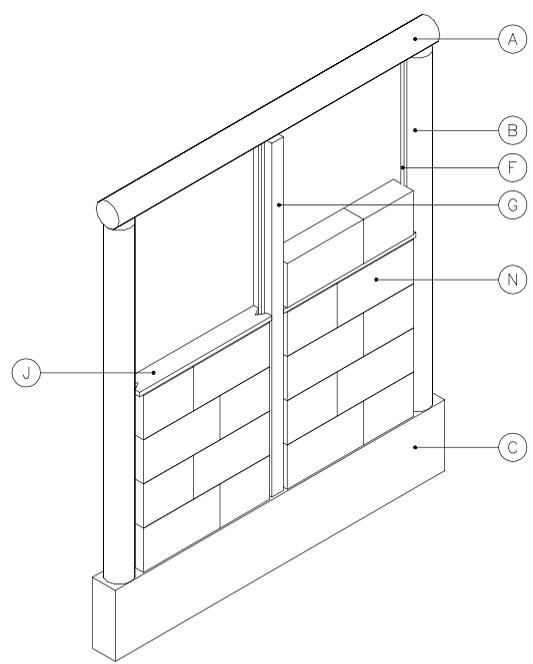


Esquema constructivo de muro de tierra alivianada apisonada

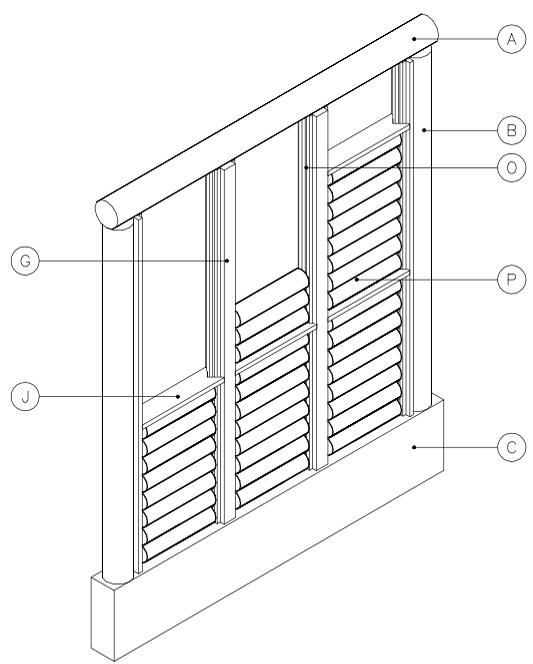


Esquema constructivo de muro de paneles de tierra alivianada

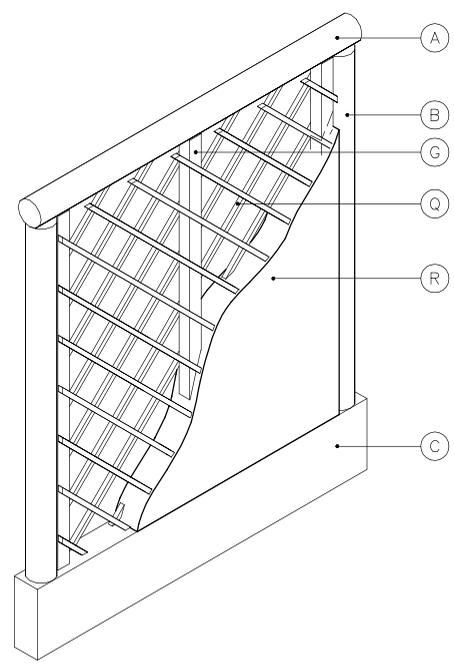
Moldes para adobes, paneles y tierra alivianada



Esquema constructivo de muro de bloques de tierra alivianada



Esquema constructivo de muro de rollos de tierra alivianada



Esquema constructivo de muro de fajina

Referencias:

- 1 - agarraderas de madera
- 2 - laterales
- 3 - separadores
- 4 - panel de madera
- 5 - triangulación
- 6 - molde metálico
- 7 - agarradera
- 8 - aletas

- A - viga superior
- B - pilares
- C - viga de cimentación
- D - bigote lateral cada 80 cm
- E - adobes
- F - listón lateral
- G - montante vertical cada 80 cm
- H - tablero de encofrado
- I - apisonado de tierra alivianada
- J - tabla horizontal
- K - tabla lateral
- L - panel de tierra alivianada
- M - tabla horizontal
- N - bloque de tierra alivianada
- O - doble guía lateral
- P - rollos de tierra alivianada
- Q - entramado
- R - embarrado



vista sureste - 10 de diciembre, 2005



vista sureste - 4 de abril, 2006



vista sureste - 22 de abril, 2006



vista sureste - 27 de diciembre, 2006



vista este - 3 de mayo, 2006



vista norte - 10 de octubre, 2006



vista sur - 7 de diciembre, 2006



vista noroeste - 3 de febrero, 2007

Esta publicación fue elaborada en base a la bibliografía de referencia y al conocimiento capitalizado por Proyecto Hornero durante todas sus fases de trabajo. Si por alguna razón no han sido citadas las fuentes en todos los casos, ha sido por omisión involuntaria y no con intención de adjudicar la autoría a este proyecto.

Bibliografía consultada:

Arini, Ruy: Artículo "Tecnología de construção ecológica em arquitetura de terra" en "Terra en seminario"; p. 16 – 19; publicación del IV seminario iberoamericanos de construcción con tierra y III seminario arquitectura de tierra en Portugal; Argumentum y Escola Superior Gallaecia, Lisboa; 2004; 288 páginas

Allen, Edward: "Cómo funciona un edificio, principios elementales"; Editorial Gustavo Gili; año: s/d; 259 páginas

Cytryn, S.: "Construcción con tierra, sus principios y aplicación para viviendas"; Estado de Israel, Ministerio del Trabajo Sección de viviendas, Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional; Editorial Helio México; cuarta edición en español 1965; 184 páginas

de Luxán García de Diego, Margarita: "Arquitectura de vanguardia y ecología"; Artículo publicado en "Arquitectura de Vanguardia y Ecología"; Universidad Veracruzana, Xalapa, México; año: s/d

Etchebarne, Rosario; Piñeyro, Gabriela; Beasley, Ana: "Manual de construcción con adobe. Diseño y construcción con tierra"; Universidad de la República, Facultad de Arquitectura, Salto; 1997; 61 páginas

Etchebarne, Rosario; Piñeyro, Gabriela: Material de apoyo de las jornadas de capacitación en arquitectura en tierra; Montevideo; 2003 y material de apoyo del 6º Seminario Taller de arquitectura en tierra; Montevideo; 2003

Etchebarne, Rosario: Artículo "Montaje de prototipos de vivienda a través de la utilización de tecnologías en tierra: adobe, fajina y BTC" en "Terra en seminario"; p. 191 – 193; publicación del IV SIACOT en Portugal; Argumentum y Escola Superior Gallaecia, Lisboa; 2004; 288 páginas

Garcé, Adolfo; Alesina, Lorena; Cetrulo, Ricardo; Peri, Andrés; Picardo, Susana; Midaglia, Carmen; Roba, Oscar; Salas, Fernando: "Programa asentamientos"; Facultad de Ciencias Sociales; diciembre de 2004

Gonzalo, Guillermo Enrique; Nota, Viviana María: "Manual de energía bioclimática"; Editorial Nobuko / O'Gorman; Buenos Aires; 2003; 469 páginas

Latchinian, Aramis: "Jardín de totóras: sistemas naturales de depuración de aguas"; CEADU; Montevideo; año: s/d; 24 páginas

Martins Neves, Célia M; Borges Faria, Obede; Rotondaro, Rodolfo; Cevallos Salas; Patricio; Hoffmann, Márcio: "Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra – práticas de campo"; Cyted, Projeto de Investigaçao XIV.6 Proterra; 2005; 31 páginas

Minke, Gernot: "Manual de construcción en tierra"; Nordan Comunidad; Montevideo; 1994; 222 páginas

Minke, Gernot: "Inclined green roof - Ecological and

economical advantages and passive heating and cooling effect"; Building Research Institute, University of Kassel; año: s/d

Minke, Gernot: "Techos verdes"; Editorial Fin de Siglo; Montevideo; 2004; 89 páginas

Naredo, José Manuel: "Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible"; año: s/d

Norberg-Hodge, Helena: "Cambiando de rumbo: de la dependencia global a la interdependencia local"; año: s/d

Pereira Gigogne, Hugo: Artículo "Uso de la técnica mixta, tierra aligerada (leichtlehmabau) en Chile"; en "Técnicas mixtas de construcción con tierra"; Comisión editorial Martins Neves, Célia M; Cevallos Salas; Patricio; Mellace, Rafael; Cyted - Habyted, Proyecto de Investigación XIV.6 Proterra; 2003; 350 páginas

"Ponencias del Seminario de capacitación del arquitecto en la construcción"; Cátedra de Construcción II, Facultad de Arquitectura, Universidad de la República; 2003; 115 páginas

Rotondaro, Rodolfo; Mellace, Rafael: Artículo: "Identificación y selección de suelos" - Publicado en las memorias del seminario taller de construcción con tierra; Santa Fe, Argentina; 2004; 28 páginas

Roux Gutiérrez, Salvador; Espuna Mújica, José; Aranda Jiménez, Yolanda: Artículo "Arquitectura de tierra, alternativa de edificación sustentable" en "Terra en seminario"; p. 152 – 155; publicación del IV SIACOT en Portugal; Argumentum y Escola Superior Gallaecia, Lisboa; 2004; 288 páginas

Santiago, Teresa: "Aplicaciones de la energía solar"; Editorial Nordan Comunidad, Montevideo; 1995; 120 páginas

Tejada Schmidt, U.: "Buena tierra - Apuntes para el diseño y construcción con adobe - Consideraciones Sismorresistentes"; CIDAP, Lima; 2001; 169 páginas

Vale, B.; Vale R.: "Green Architecture. Design for sustainable future"; Editorial Thames and Hudson, Londres; 1996; 192 páginas

Van der Ryn, Sim; Cowan, Stuart: "Diseño ecológico"; 1996

Van Lengen, Johan: "Manual del arquitecto descalzo"; Editorial Pax Mex, México; 2004; 548 páginas

Vidart, Daniel D.: "La vida rural uruguaya"; Departamento de sociología rural, publicación N° 1; Montevideo; 1955; 212 páginas

Viñuales, Graciela (compiladora); Martins, Célia; Flores, Mario, Ríos, Silvio.; "Arquitecturas de tierra en Iberoamérica"; Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Cyted), Habyted, Proterra, Habitierra; Impresiones Sudamérica; Buenos Aires; 1994; 131 páginas; Versión digitalizada: año 2003; Salvador, Brasil

Revistas

Revista Quaderns Nº 225 "Las escalas de la sostenibilidad"; Col·legi d'arquitectes de Catalunya; Barcelona; marzo de 2000

Revista Vivienda Popular Nº 4, Facultad de Arquitectura, Universidad de la República; Artículo "El mejoramiento del hábitat como vía de control de la enfermedad de Chagas – Primera parte", Autores: Ríos Cabrera, Luis Silvio; Gillnessi, Emma Maricel; p. 58-62

Revista Vivienda Popular Nº 5, Facultad de Arquitectura, Universidad de la República; Artículo "El mejoramiento del hábitat como vía de control de la enfermedad de Chagas – Segunda parte", Autores: Ríos Cabrera, Luis Silvio; Gillnessi, Emma Maricel; p. 72-82

Revista Tectónica Nº 13: Madera

Revista digital "Construcción con tierra" Nº 1 y Nº 2, Centro de Investigación Hábitat y Energía, FADU, Universidad de Buenos Aires (UBA); 2005 y 2006

Otros documentos:

Apuntes del curso de Edafología, Cátedra de Edafología, Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República

Aroztegui, José Miguel; Negrín, Guzmán: "Propiedades térmicas de materiales y componentes de construcción corrientes en Uruguay", Servicio de Climatología Aplicada a la Arquitectura (SCAA), Facultad de Arquitectura, Universidad de la República; 1996; 25 páginas

Califra, Alvaro; Duran, A.; Reschutzegeger, M.; Ruiz, A.; Silva, A.: "Informe de la carta preliminar de suelos del Centro Regional Sur"; Facultad de Agronomía, Universidad de la República; julio 1995

"Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay - Tomo I: Clasificación de suelos"; Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes; Montevideo; 1976

"Documento técnico: acondicionamiento higrotérmico"; Secretaría de Obras Públicas, Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, Dirección Nacional de Políticas Habitacionales, Dirección de Tecnología e Industrialización; Buenos Aires; 36 páginas

LabIC: Ensayos Nº 002/2002, Nº 003/2003, Nº 018/2005 y Nº 029/2006 - Laboratorio del Instituto de Construcción (LabIC) de la Facultad de Arquitectura, Universidad de la República

Proyecto Hornero: Material elaborado para los talleres prácticos de en el Centro Regional Sur; 2002 – 2004 - 2005

Rivero, R.; Aroztegui, M.; Girardin, M. C.; Musso, R.: "Repartido AT01"; Cátedra de Acondicionamiento Térmico; Facultad de Arquitectura, Universidad de la República; diciembre 2002

"Situación de la vivienda en Uruguay, Informe de divulgación"; Encuesta nacional de hogares ampliada, módulo de vivienda, primer trimestre de 2006; Carlos Casacurbera, Setiembre 2006; INE, PNUD Uruguay

Umpiérrez, Víctor H.; Regusci, Ma. Inés; Labres, Juan; Bouvier, Ma. Elena; Rosselli, Florencia: "Informe de caracterización geotécnica del terreno de implantación del hogar estudiantil Proyecto Hornero", Departamento de Geotécnica, Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, diciembre de 2004

Sitios de internet:

"Construcción con tierra, ecología y desarrollo social" de Francisco Castillo Pascual en <http://habitat.aq.upm.es>

"Para repensar la habitación popular" en www.revistapesquisa.fapesp.br; Revista Pesquisa, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo; Edición 67, agosto de 2001

"La Tierra-Paja" de J.F.Burri en www.archilibre.org

"Casas de barro: viviendas ecológicas de bajo costo" en www.portaluruguay.net; Fuente: "El Telegrafo" de Paysandú.

Instituto Nacional de Estadística: www.ine.gub.uy
Presidencia de la República: www.presidencia.gub.uy

Facultad de Ciencias Sociales (UdelaR): www.fcs.edu.uy

Wikipedia: www.wikipedia.org

Programa de Integración de Asentamientos Irregulares: www.piai.gub.uy

Otros sitios de interés:

Proyecto Hornero: www.proyectorhornero.edu.uy

Craterre: www.craterre.archi.br

Proterra : www.proterra.info

Forschungslabor für Experimentelles Bauen (FEB), Universidad de Kassel: www.asl.uni-kassel.de/~feb

Centro Barro del Centro de Documentación de Arquitectura Latinoamericana (CEDODAL) en www.cedodal.com

Plantas nativas del Uruguay en el sitio web de Facultad de Ciencias (UdelaR): micol.fcien.edu.uy/flora/uy_flora.htm

Este libro es parte de la experiencia desarrollada por Proyecto Hornero en el Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía. Es el registro del proceso de investigación y experimentación de un prototipo construido con tierra, madera y otros materiales naturales. Un prototipo construido entre todos en un espacio donde se encontrara el saber popular y el académico; donde la extensión universitaria se hiciera ensuciando manos y pies, donde los conocimientos fueran de ida y vuelta, donde las dudas se resolvieran haciendo, equivocándose y haciendo nuevamente.



PDT farq | uy



proyecto financiado por el programa de desarrollo tecnológico préstamo 1293/oc-ur
facultad de arquitectura | facultad de agronomía | universidad de la república
centro de estudiantes de arquitectura | asociación de estudiantes de agronomía
federación de estudiantes universitarios del uruguay