"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO CON FARDOS DE PAJA"

Alumnas : Loreto Araneda
Angela Muñoz
Profesor Guía: Gerardo Sealzer

Año : 2009 - 2010.

"… Realizarse no es hacer todos los gustos, concretizar todos los planes, satisfacer todos los deseos y gozar todos los placeres.

Realizarse es cumplir con fidelidad todo los deberes, hacer con amor todo el bien que esté a nuestro alcance, realizar de la mejor manera posible las tareas que debemos hacer…"

Louise Hay.

Nuestros más sinceros agradecimientos a:

- Mauricio Aguilera
- Manzana Verde Permacultura
- Antonio Belmar
- Hanne Sorenzen
- Ariel Bobadilla
- Laboratorio de Ciencias de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío.
- Profesor Gerardo Sealzer
- Carlos Ibáñez
- Javier Hernández
- Cristóbal Carreño

Cada uno de ellos hizo posible la realización de este hermoso y querido trabajo.

Por ultimo y no por ello menos importante, agradecemos a nuestras familias por el apoyo brindado a cada una de nosotras durante este proceso de estudio, a lo largo de todos estos años.

A todos ellos, nuestros infinitos agradecimientos.

ÍNDICE

CAPITULO I : INTRODUCCIÓN 06

Objetivos Generales y Específicos 07

CAPITULO II : CONSIDERACIONES GENERALES DEL SISTEMA 09

2.1.- Historia y Origen de la Construcción con Fardos 10

2.2.- Obtención del Fardo 12

2.1.1.- Enfardado y Dimensiones 13

2.1.2.- Almacenamiento 14

2.3.- Experiencia Constructiva Nacional 15

2.4.- Costos 19

2.5.- Normativa Aplicable en Chile 22

CAPITULO III : SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON FARDOS DE PAJA 24

3.1.- Sistema Auto-Portante, Nebraska 25

3.1.1.-Fundaciones 27

3.1.2.-Muros Estructurales 30

3.1.3.-Esquinas 33

3.1.4.-Vigas y Cadenas 35

3.2.- Sistema no Auto-Portante ó Poste-Viga 36

3.2.1.-Fundaciones 37

3.2.2.-Muros de Relleno 39

3.2.3.-Pilares, Vigas y Cadenas 41

3.3.- Sistema Estructural de Puertas y Ventanas 44

3.4.- Estructura de Techumbre 47

3.4.1.-Aislación 51

3.5.- Terminaciones 52

3.6.- Instalaciones 57

3.6.1.-Instalación Alcantarillado y Agua 57

3.6.2.- Instalación Eléctrica 58

3.7.- OTROS 60

CAPITULO IV : ENSAYO EN LABORATORIO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN 61

4.1.- Ensayo de un sistema constructivo con Fardos de Paja en Cámara térmica 62

4.1.1.- Descripción del Ensayo 63

4.1.2.- Proceso Constructivo del Muro 64

4.2.- Mediciones ensayo de determinación coeficientes de transmisión térmica 66

4.2.1.- Determinación de U del Panel 69

4.2.2.-Análisis Térmico Comparativo con tabla Zonificación Térmica Nacional 70

4.3.- Análisis Comparativo de U entre solución constructiva de fardos de paja y solución constructiva de madera(normativa MINVU) 71

4.4.- Conclusiones del ensayo 73

CAPITULO V : CASO DE ESTUDIO EN LOS LLEUQUES 74

5.1.- Caso de Estudio en ‘’Los Lleuques’’ v/s casa de Madera 75

5.1.1.- Descripción Constructiva Casa de Fardos de Paja 76

5.1.2.- Proceso Constructivo Paso a Paso Casa de Fardos de Paja 77

5.1.3.- Descripción Constructiva Casa de Madera 81

5.2.- Medición con instrumentos dataloggers (gráficos) 82

5.3.- Análisis comparativo interpretación de resultados 87

5.4.- Conclusiones del Estudio 90

CAPITULO VI : CONCLUSIONES 91

BIBLIOGRAFÍA 97

ANEXOS : TERMINOLOGÍA 99

CAPITULO I:
Introducción._

La bioconstrucción con Fardos de Paja está muy extendida en Canadá y Estados Unidos, donde existe un conjunto de normativas y manuales de obra producidas por agencias federales.

Se trata de un material muy práctico, barato, de fácil adquisición, además posee cualidades excelentes como aislante acústico y térmico, agradable y energéticamente óptimo. De hecho, no hay otro tipo de construcción que recoja tantos valores ecológicos como la construcción con paja.

En Chile, 4 millones de toneladas de paja al año son quemadas *(1),* cifra para calcular no sólo los índices de contaminación o erosión del suelo cultivable, sino además del desperdicio de un material rentable y que proporciona una excelente aislación térmica.

Por ejemplo una casa que utilizó en su construcción fardos de paja, puede ahorrar hasta un 75% en calefacción en comparación con una construcción de tamaño similar pero edificado con un método tradicional, como hormigón armado, madera o albañilería.

La aislación acústica es otra ventaja, ya que ofrece una amortiguación al ruido equivalente a una sala de grabación de sonido *(2).*

Existen numerosos ensayos en diferentes países en donde los fardos superan los 120 minutos de resistencia al fuego *(3)*, dependiendo de su acabado final. En chile el IDIEM lo clasificó como un F-120 *(4),* probando así que su resistencia al fuego se debe sobre todo a su estanqueidad y a la falta de aire por la compresión a la que están sometidos los fardos.

Según estudios realizados en Estados Unidos (National Research Council of Canadá) es también un material muy resistente a los sismos *(5),* ya que los fardos colocados planos tienen una mayor resistencia a la compresión que los colocados de canto, el espesor del recubrimiento tiene una gran influencia en la resistencia del fardo y también el elemento de coronación (anillo perimetral) ya que permite una distribución uniforme y centrada de las cargas.

La normativa Californiana, “Strawbale Code” *(6),* permite una carga vertical en el extremo superior del muro de 1.953 kg/m2.

A continuación, basándonos en el Seminario, ‘’Construcciones con Fardos de Paja”, del año 2000 de la Universidad del Bío Bío; se realizará un estudio con la finalidad de dar a conocer las ventajas comparativas y aporte térmico de un Sistema Constructivo hecho con Fardos de Paja.

(1) INE, 2006, “Compendio estadístico 2006”, Santiago, Chile.
(2) Ensayo Acústico, Fuente : http://en.wikibooks.org/wiki/straw_bale_construction/resources/technical_studies.
(3) Ensayo Resistencia al Fuego, Fuente: http://en.wikibooks.org/wiki/straw_bale_construction/resources/technical_studies.

La metodología será a través de dos ensayos:

- Ensayo de Campo /Terreno
- Ensayo de Laboratorio

La finalidad es determinar ¿Cómo actúa térmicamente el fardo dentro de un Sistema Constructivo específico? , además de los múltiples beneficios al usar este material, ya sea en costos, calefacción, etc. y el ahorro energético en comparación a los sistemas actuales de construcción.

El estudio finalmente otorgará información para que en nuestro país se incorporen planes gubernamentales para implementar el fardo como un material constructivo, aportando con una construcción energética eficiente, pasando a hacer una alternativa conveniente de construcción en nuestro país.

(4) Instituto de Ensayes de Materiales de la Universidad de Chile, realizó un ensayo de resistencia al fuego a un muro de fardos de paja, el que dio como resultado F 120 según OGUC este resultado se considera como muro cortafuegos, Santiago- Chile, año 2003.
(5) Consejo Nacional de Investigación Canadiense.
(6) Fuente : Building with Straw: Design and Technology of a Sustainable Architecture.

CAPITULO II:
Consideraciones Generales del Sistema._

2.1.-Historia y Origen de la construcción con fardos /.

El hombre ha utilizado en la construcción de sus viviendas: madera, piedra, tierra, paja, cañas; todos materiales naturales, confiables y fáciles de obtener. La paja es uno de los materiales de construcción más antiguos. Su uso más común es la combinación con barro, la cual se ha utilizado durante miles de años.

Figura 2.1. Vivienda de fardos en Arthur, Nebraska 1925. Fuente: Libro "La Casa de Fardos de Paja", año 1994.

Figura 2.2. Vivienda Unifamiliar en Montargis, Francia 1921. Fuente: Libro "La Casa de Fardos de Paja", año 1994.

Hay rastros de casas fabricadas con este material por todo el mundo, en donde profesionales de diversas áreas han experimentado en este tipo de construcciones y avalan este método de construcción considerando, como en todo sistema constructivo, las ventajas y desventajas que este ofrece.

Pero el origen de las viviendas construidas exclusivamente con fardos de paja no es tan antigua, esto debido a que la máquina embaladora de paja fue creada a mediados del siglo XIX. Ésta fue inventada en los E.E.U.U. en 1850 y era de tipo manual. Luego se creó una de caballos en 1875 y la de vapor en 1884.

El inicio de estas construcciones tuvo lugar en las Sierras de Nebraska, Estados Unidos.

Una vez que llegaron los colonizadores a éstas Sierras, se encontraron con un terreno llano, de poca vegetación, casi sin árboles, por lo que tuvieron que emplear los Fardos de Paja sobrantes de las cosechas por necesidad, ya que era el único material localmente disponible.

El primer registro de una casa fabricada en Fardos se atribuye a George P. Bruñe hecha en 1903, la cual aún se mantiene en buenas condiciones, utilizándose el fardo como material estructurante del muro; desprendiéndose del lugar de ésta construcción, el nombre del Sistema Constructivo.

Matts Myhrman y Judy Knox, consultores de la construcción con

fardos de paja, han visitado muchas estructuras del tipo Nebraska, construidas entre 1900 y 1940, incluida la vivienda Bruñe. Narrando que, aunque ésta fue abandonada en 1956, la casa continúa soportando con éxito las temperaturas, oscilaciones y vientos de las fuertes ventiscas.

2.2.-Obtención del Fardo /.

Si bien todos los desechos provenientes de la cosecha de cereales son factibles de enfardar, existen ciertos aspectos que hacen que algunos fardos se diferencien de otros. Ésta diferencia parte de la base de que no todas las semillas son iguales, ya sea por el tamaño de la planta, color, dureza del tallo, flexibilidad, etc.

Por lo que un fardo que presente fibras quebradizas, toscas, secas y brillantes, conformarán los fardos de mejor calidad. En este sentido, los fardos de trigo son los que presentan las fibras con estructuras más toscas y quebradizas, seguido por los fardos de paja de cebada que presentan fibras con estructura un poco menos toscas que las del trigo, siendo los fardos de avena los menos resistentes por contener mayor cantidad de hojas y fibras más delgadas, además de una estructura mucho más suave que las dos anteriores, obteniéndose así, fardos mucho más blandos y con gran capacidad de deformación.

Figura 2.3. Fardo de paja. Fuente: Autores

En síntesis, un fardo de buena calidad para construir es:

- **Completamente seco:** Se siente relativamente liviano cuando es levantado y no tiene humedad dentro cuando es sondeado profundamente con los dedos

- **Tallos fuertes y flexibles.**

- **Bien compactados:** Un fardo bien compactado se deforma menos cuando es levantado por sus propias ataduras. Las ataduras de plástico trenzado o alambre, que son las mejores; deben estar lo suficientemente apretadas alrededor del fardo, de tal manera de no poder insertar más de dos o tres dedos entre ellos y la paja.

- **Uniformes en el tamaño:** El tamaño de los fardos varía, especialmente en su longitud. Fardos de dos hilos miden alrededor de 46 cm de ancho, 35 cm de alto y entre 86-102 cm de largo.

2.2.1.- Enfardado y Dimensiones /.

Figura 2.4. Máquinas enfardadoras.

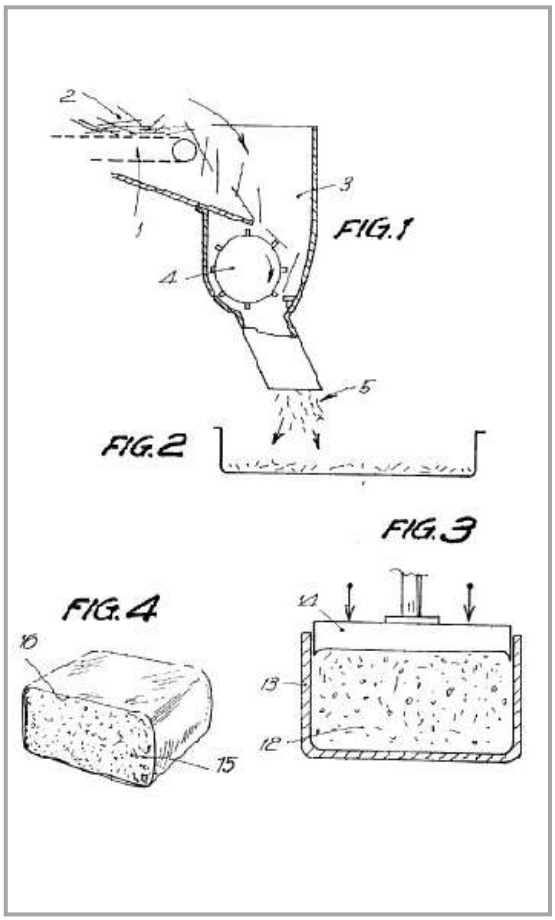


Figura 2.5. Proceso de enfardado.

El enfardado es la operación de empaque y compactación de la paja.

Para enfardar la paja se dispone de diversos equipos en los que se incluyen: enfardadoras de fardos redondos, emparvadoras, granuladoras y molinos de pellets.

De estos equipos, el que elabora los fardos adecuados para la construcción, es la enfardadora de fardos cuadrados. Éstas, producen un paquete de dimensiones adecuadas, de fácil manipulación y transporte. De la cual existen dos tipos, tanto manual como automática.

En el caso de las enfardadoras automáticas, el proceso de fabricación del fardo es el mismo para los distintos modelos de maquinarias.

Dicho proceso se detalla a continuación:

- **Figura 1:** Corresponde a la fase de trituración y/o corte de la paja para obtener las briznas de pequeña longitud.

- **Figura 2:** Vertido de las briznas de paja.

- **Figura 3:** Prensado de las briznas.

- **Figura 4:** Vista en perspectiva del Fardo de Paja obtenido.

2.2.2.-Almacenamiento /.

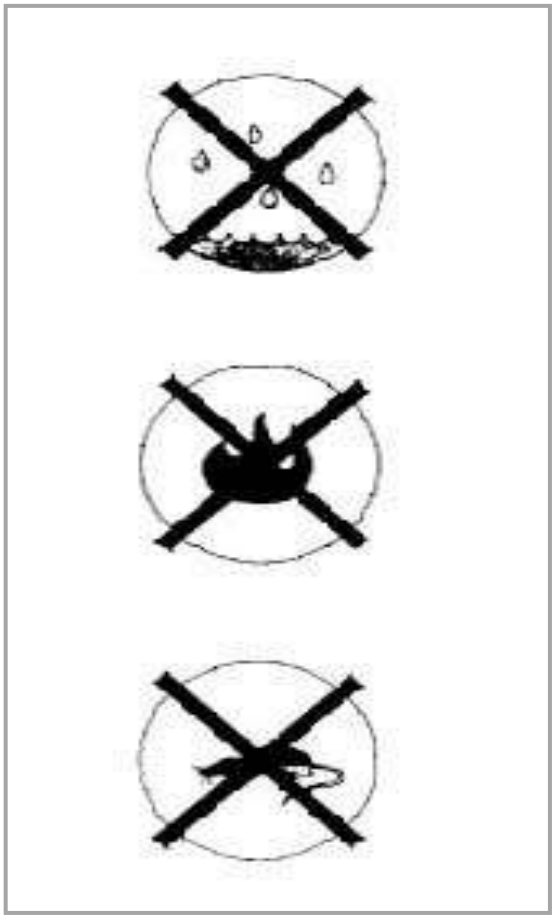


Figura 2.6. Factores a considerar en el almacenamiento de los fardos de Paja.
Fuente: Publicación "Introducción visual a la Construcción con Fardos de Paja", pág. 4, año 1999.

Un factor fundamental en la construcción con los fardos de paja, es su adecuado almacenamiento.

Se deben mantener secos y protegidos contra la humedad, lo que se consigue almacenándolos bajo techo y aislándolos del suelo mediante polietileno. El porcentaje óptimo de humedad en un fardo es del 10 %.

Otros factores a considerar en su almacenamiento son:

- **Putrefacción:** Fardos húmedos. Cuando su humedad sobrepasa el 20%, el fardo invita a la putrefacción causada por la acción enzimática de los hongos.

- **Fuego:** Mientras que los fardos bien compactados son resistentes al fuego, la paja suelta puede ser peligrosa.

- **Pestes:** Roedores, pájaros y algunos insectos, pueden encontrar en la paja un buen lugar para vivir, por lo que se debe sellar o proteger con alambre todos los puntos posibles de acceso.

2.3.-Experiencia Constructiva Nacional /.

Figura 2.7. Casa de Invitados, Licancheu.

Figura 2.8. Casa Fardos, Tunquén.

Figura 2.9. La Casa de Paja, Curarrehue.

A continuación, se señalan algunas de las construcciones con fardos de paja existentes en el país, a modo de ejemplificar y respaldar este tipo de edificaciones.

Poniendo en evidencia que éste tipo de construcciones son posibles, y que tomando las precauciones y dando las soluciones constructivas correspondientes se puede edificar en cualquier zona que exista abundante materia prima, independiente de las condiciones climáticas que existan en el lugar.

Casa de Invitados, Licancheu.

Figura 2.10. Vista exterior.
Fuente: www.AATA.cl

Figura 2.11. Vista interior casa.
Fuente: www.AATA.cl

Obra: Casa de Invitados.
Arquitecto: AATA arquitectos asociados.
Ubicación: Licancheu, Comuna de Navidad, VI Región.
Año Construcción: 2006
Superficie: 26 m2 útiles.

La obra consiste, en una pequeña cabaña para visitas. Se pensó como un elemento que se posa sobre el terreno, con poca intervención; por la misma razón, se construyó en dos niveles, para disminuir la superficie que se ocupa del terreno.

El proyecto es un cubo de 5,40 mts en el exterior, de estructura de madera con dos niveles interiores. Es una vivienda de bajo consumo energético, por lo que sus características principales son la orientación, el color interior, la ubicación de las ventanas y el aislamiento.

En los muros se utilizaron fardos de paja estucados con barro, dada su alta eficiencia térmica y por ser un material abundante en la zona. Éstos están protegidos de la lluvia, por planchas de policarbonato transparente, que deja en evidencia la materialidad y zinc ondulado en las partes superiores e inferiores.

La cubierta es de pasto verde, evita que el viento golpee directamente la superficie, y le quite calor. La ubicación de las ventanas, fue proyectada para permitir abundante asoleamiento en el interior en invierno y un flujo cruzado de aire para ventilarla en verano. El interior se decidió pintar blanco, para que la luz natural rebote y disminuya la necesidad de utilizar luz artificial.

Casa Fardos, Tunquén.

Figura 2.12. Vista exterior casa en construcción.
Fuente: www.arquitecturaenfardos.cl

Figura 2.13. Vista interior casa en construcción.
Fuente: www.arquitecturaenfardos.cl

Obra: Casa Tunquén
Arquitecto: Jorge Broughton
Estructura: Rollizos de pino
Ubicación: Tunquén, V Región
Año Construcción: 2003
Superficie: 105 m2.

Casa construida en Tunquén, entre los balnearios de Algarrobo y Quintay en el condominio “Punta del Gallo”.

Está concebida como un vagón empotrado, en una ladera, por un lado abierto hacia el mar, y por el otro cerrado al viento.

La Casa de Paja, Curarrehue.

Figura 2.14. Vista estructura poste y viga casa en construcción.
Fuente: www.casadepaja.com.ar

Figura 2.15. Vista muro de relleno con fardos casa en construcción.
Fuente: www.casadepaja.com.ar

Obra: La Casa de Paja
Arquitecto: Desconocido
Estructura: Madera de pino.
Ubicación: Curarrehue, IX Región
Año Construcción: 2001
Superficie: 145 m2.

El hospedaje “La Casa de Paja”, se encuentra ubicado a 8 km. de Curarrehue. Ésta, es una construcción de dos pisos, que tiene seis años de antigüedad y fue diseñada pensando, en la explotación del turismo en la zona.

Fue construida con el sistema no auto-portante, con madera de pino, material extraído de árboles existentes en la misma propiedad y construida por su propio dueño. La madera se utilizó en bruto, impermeabilizada.

La vivienda posee una geometría semicircular, concentrándose ésta en el medio en un pilar tipo rollizo, al que convergen todas las cerchas. Todos los espacios producto de los ensambles, fueron rellenados con poliuretano expandido, para impedir la filtración de aire, lluvia u otros, a modo de mantener la estanqueidad.

El envigado del segundo nivel, se dejó más largo que el contorno de la casa, como un alero, con el objetivo de proporcionar la base para montar los fardos al exterior. En algunos sectores, se dejaron de una mayor longitud con el fin de realizar una pequeña terraza.

Los fardos, fueron dispuestos por todo su perímetro exterior, cumpliendo la función de forro exterior de la vivienda, amarrados a la estructura mediante alambres. Los fardos fueron instalados de costado, y una vez situados, se comprimieron por su propio peso, rellenando los espacios faltantes con paja suelta y con los llamados “libros” de paja.

2.4.-Costos /.

El costo promedio de una construcción en fardos de paja, depende de una planificación detallada, ateniéndose en la compra de materiales a lo largo de la construcción no contemplados en el presupuesto.

Según lo investigado, el Arquitecto Jorge Broughton Wainer *(1)* junto a un equipo de profesionales y contratistas, construye hace 12 años en Chile Arquitectura en Fardos de Paja, el costo cobrado por m2, es de 16UF con materiales sofisticados, éstos consideran las siguientes especificaciones y características:

Cimiento de aprox. 70x70cm. de profundidad y sobrecimiento estructurado con neumáticos a un nivel promedio de 20cm sobre el nivel del terreno, considerándolo sin pendiente.

Muros estructurales de fardos de paja con enfierradura de 8mm anclada en el sobrecimiento y amarras de alambre a malla acma, solera reforzada con madera, estucado interior y exterior en adobe y cemento.

El estuco se hace siguiendo las sinuosidades de los fardos, quedando con una terminación redondeada en todas las esquinas, vanos de puertas y ventanas. Los morteros de sobrecimiento y estucos, se realizan con mezclas de cal hidráulica, para mayor impermeabilidad. Fieltro entre el sobrecimiento y los fardos.

Tabiques divisorios entre baños y recintos, estructurados en pino con plancha de fibrocemento para cerámica por lado de baños y vulcanita o plancha OSB hacia los demás recintos.

Acabado de los muros exteriores, pintura látex sobre el estuco; interiores, empastado y látex, baños y cocina cerámica a acordar y pintura al óleo.

Pisos en cemento lucido con pigmentos y divisiones de roble de demolición; a la madera se le coloca barniz vitrificante, mientras que baños y cocina van con cerámica.

La estructura del techo puede proyectarse con perfiles metálicos o vigas de madera según el diseño que tendrá. El cielo interior va con vulcanita de 10mm, mientras que el aislamiento del techo es con lana mineral y cubierta de ZincAlum.

La estructuración de los marcos de puertas y ventanas, es en pino con junquillos del mismo material, antepechos de las ventanas cubiertos con madera. Se consideran puertas exteriores e interiores de demolición raspadas al igual que las ventanas. Los vidrios serán lisos transparentes de espesor adecuado a su tamaño, quincallería tipo ‘’Scanabini’’ corriente.

Baños con artefactos tipo estándar. Cocina con lavaplatos de dos fuentes y un secador. No se consideran mesones ni otros muebles de cocina.

Sistema eléctrico completo entubado, según normas y artículos eléctricos tipo Marisio-Génesis.

Red de agua exterior en pvc e interior en cobre. Grifería tipo Nibsa corriente.

Se considera unión a los empalmes existentes en una distancia no mayor a 20mts.

En general se hace notar que todas las terminaciones corresponden a una construcción de estilo rústico y serán de buena calidad, pero económicas.

Se estima una duración promedio de la construcción de unos 5 meses, para lo cual se pacta la facturación de una Carta Gantt, para ordenar costos con faenas y tiempo en que se realiza cada partida.

A nuestro parecer la cantidad de UF cobradas por el arquitecto son excesivas, ya que los valores obtenidos en la construcción realizada en ''Los Lleuques, Chillán'' *(2)* que a continuación estudiamos en otro capítulo, dio un valor cercano a las 8UF considerando terminaciones más rústicas y menos sofisticadas, con las siguientes características:

Fundaciones a base de bolones, con sobrecimiento de sacos de arena, rematados con una capa de fieltro asfaltico de 15lbs.en su nivel superior.

Muros interiores y exteriores de fardos de paja fijados entre sí, con 2 palos de coligues por cada fardo para inmovilizar el bloque.

Terminaciones a base de estuco de arcilla, con arena, paja y agua, más afinado con las mismas características.

Pavimento interior a base de arcilla, arena, paja y agua, con afinado de las mismas características.

Estructura de techumbre con envigado de madera, revestida en su interior con entablado.

Aislación en base a fieltro asfáltico de 15lbs, con una capa de barro más aserrín de 2,5cm, barrera de humedad (polietileno) rematando en su nivel superior con una lámina de geotextil.

Cubierta de techo verde, con una capa de tierra de hoja, de 10cm con vegetación de la zona.

La estructuración de los marcos de puertas y ventanas, es en pino con junquillos del mismo material. Los vidrios serán dobles y lisos transparentes, de espesor adecuado a su tamaño, con quincallería corriente.

Baños con artefactos tipo estándar. Cocina con lavaplatos de dos fuentes. No se consideran mesones ni otros muebles de cocina.

Sistema eléctrico completo, entubado según normas Chilenas y artículos eléctricos tipo estándar.

Red de agua exterior en pvc e interior en cobre.

De acuerdo a lo descrito en ambos casos, los precios dependerán de acuerdo a la calidad y terminaciones que se quieran lograr.

Los costos fluctuarían entre 8 a 16 UF por m2 construido. El precio más

económico, es el más parecido al principio que establece la bioconstrucción, que dice que con los recursos más simples y menos sofisticados se obtienen los mayores beneficios del sistema.

Según lo presupuestado en páginas de internet, si se compran los fardos ya empaquetados, la ventaja económica es notable, ya que el fardo tiene un precio entre $500 a $1.000 en el lugar de obtención de la materia prima.

Así tenemos que para construir un m2 de muro en obra gruesa (en bruto), es necesario 33 ladrillos, el mortero de pega para hiladas y tendel y el tiempo de espera para el fraguado de la mezcla. Para un m2 en fardo de paja se necesitan 2 fardos, mientras tanto el precio del ladrillo alcanza entre $75 a $100, y se ocupan 33 para un m2 de muro, lo que da un costo final de $2475, mientras que el precio de 2 fardos sale $1.000.

Esta gruesa comparación, ilustra la diferencia con el sistema constructivo más homologable, aunque ambos casos deben agregar además, los costos de mano de obra, herramientas y en el caso del muro de ladrillos, agregar adicionalmente, el valor del mortero de hormigón y arena junto a los instrumentos y tiempo de preparación de la mezcla.

(1) Jorge Broughton Warner, arquitecto Universidad Católica de Valparaíso. Sitio Web, www.arquitecturaenfardos.cl

(2) Vivienda construida en Fardos de Paja, Sistema Constructivo Nebraska, posteriormente estudiada en capitulo V, Ubicada en los Lleuques, Chillán, 8° Región, Chile.

2.5.-Normativa aplicable en Chile /.

Norma Constructiva.

En Nuestro país, según la ley y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, toda construcción necesita permiso de edificación, del cual la Dirección de Obras de cada comuna se encarga.

Para la clasificación de las construcciones actuales que corresponden a la zona urbana, la estructura dominante de la edificación se le asimiló a la clase E, la cual corresponde a edificios con estructura de madera.

Para los permisos en zonas urbanas y zonas rurales, las edificaciones se incluyeron en la clase E, es decir, edificios de madera y en la clase F, sobre edificios en adobe.

Esta clasificación es de acuerdo al artículo 5.3.1.del capítulo 3, del título 5, el cual señala la clasificación de las construcciones, conforme a los materiales predominantes a emplear y al tipo de estructura de la edificación:

Clase E: Construcciones con estructura soportante de madera. Paneles de madera, de fibrocemento, de yeso-cartón o similares, incluidas las tabiquerías de adobe. Entrepisos de madera.

Clase F: Construcciones de adobe, tierra, cemento u otros materiales livianos aglomerados con cemento. Entrepisos de madera.

En la actualidad los permisos de edificación se han asimilado usando la madera como estructura soportante principal y el fardo actuando de relleno confinado.

En otros casos, la edificación en fardos de paja ha sido asimilada a la clase F, es decir, adobe ante la ausencia de especificación en la Ordenanza sobre este material y aprovechando la posibilidad abierta por los arquitectos y directores de obra, sobre ser clasificado a esta clase por ser parecido a dicho material constructivo.

Comportamiento Pirógeno:

La resistencia al fuego de un elemento de construcción se determina a partir de la Nch 935/1. Of. 97 *"Prevención de incendios en edificios, ensayo de resistencia al fuego, parte 1: elementos en general"*.

Esta norma tiene por objeto establecer las condiciones de ensayo y los criterios que permiten determinar la resistencia al fuego, de elementos de construcción en general, tanto de uso vertical como horizontal en los edificios, con excepción de puertas y ventanas.

Según la Nch 935/1 Of. 97, los elementos de construcción, una vez sometidos al ensayo de resistencia al fuego, se clasifican según el tiempo de resistencia a éste.

Clase	Duración (min.)
F- 0	0- 14
F- 15	15- 29
F- 30	30- 59
F- 60	60- 89
F- 90	90- 119
F- 120	120-149
F- 150	150- 170
F- 180	180- 239
F-240	240 y más

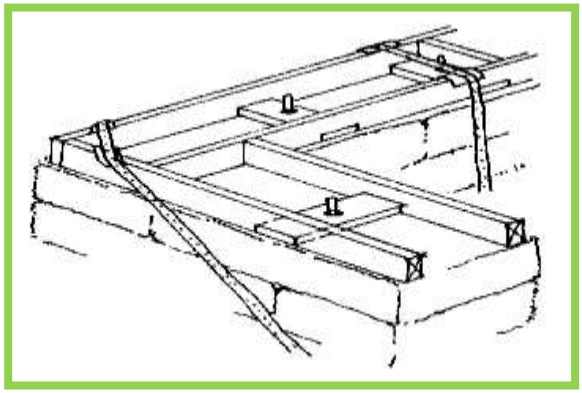
Figura 2.17. Tabla de Resistencia al Fuego OGUC.

Según un ensayo realizado por el IDIEM de la Universidad de Chile, año 2003, a un muro de fardos de paja con estuco de cemento, se clasificó como un **F-120 de resistencia al fuego** *(1);* obteniendo la cualidad de un muro cortafuego.

Concluyéndose que la alta resistencia al fuego del muro de fardos de paja, se debe a que el fardo tiene en su interior la cantidad de oxigeno suficiente atrapado como para aislar el sistema, pero no el suficiente para que se produzca la combustión completa del muro.

(1) Instituto Nacional de Normalización, "Prevención de incendios en edificios – ensayo de resistencia al fuego – parte 1: elementos de construcción en general", Nch 935/1, Of 97, Santiago- Chile.

CAPITULO III:
Sistemas Constructivos Con Fardos De Paja._



3.1.-Sistema Auto-Portante o Nebraska /.

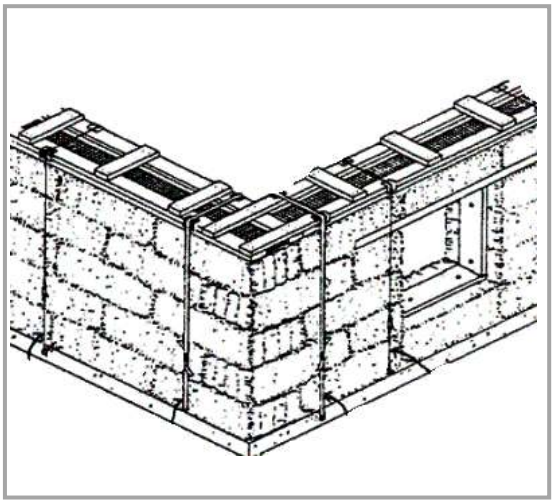


Figura 3.0. Sistema Nebraska.

Figura 3.1. Estructura Sistema Nebraska.

Figura 3.2. Vivienda Sistema Nebraska.

Éste, es el método original de construcción, creado por los pioneros en las llanuras de Nebraska (E.EU.U.).

En este método, los fardos de paja soportan el peso de la techumbre, sin apoyo de vigas o postes. En términos generales, se apilan los fardos como ladrillos gigantes en hileras, por lo que cada fardo se asienta sobre la unión vertical de los dos que se encuentran debajo de éste, los que nacen a partir del sobrecimiento.

La ventaja de este método es que es muy económico, sencillo de construir y puede ser habitado por varios años, pero la principal desventaja, es que en el momento de montar los fardos, el muro suele desplomarse (pierde su verticalidad) y a un mes de la construcción, éste se asienta, pierde altura y deforma los marcos de puertas y ventanas, lo que termina por quebrajar el estuco.

Al usar este sistema constructivo, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El tamaño de la estructura debe ser modesta, no más de 140 m2 y de un piso.
- Los fardos deben estar secos, bien compactados y uniformes.
- Las paredes de fardos deben ser ejecutadas en no más de 7 hiladas, deben estar bien sujetas en un encadenado continuo, mantenerlas derechas, a nivel y aplomadas.
- La estructura de techo debe ser rígida, construida arriba de la última hilada de fardos y

conectada desde la estructura del techo a la fundación mediante correas, alambres, cables.

- El sistema de techumbre debe ser relativamente liviano, de alta calidad y cuya forma distribuya el peso en forma equitativa a los muros.
- No revocar las paredes hasta que se de el asentamiento (por el peso del techo y cielo raso) y el muro se haya estabilizado (0 a 4 semanas – 0 a 20 cm).

3.1.1.-Fundaciones /.

Las fundaciones proveen de rigidez, y unifican la base donde asentar la estructura. Éstas, deben ser lo suficientemente resistentes, para soportar el peso de la construcción, el uso y otras solicitaciones, como sismos, vientos, asentamientos de terreno, etc.

Figura 3.10. Fundación con orificios para tensar cables.

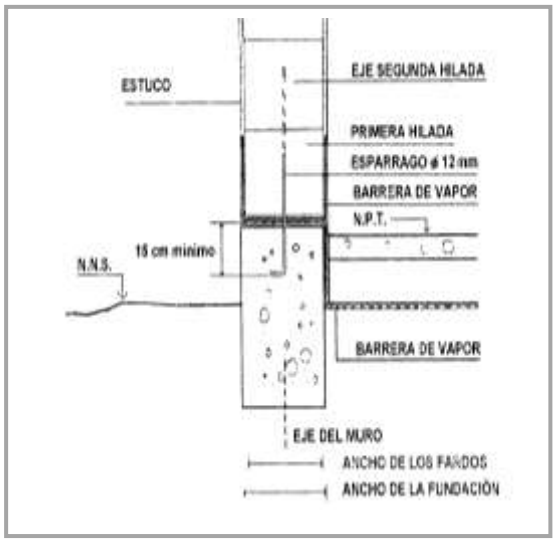


Figura 3.11.Fundación y sobrecimiento de hormigón.

sin sufrir deformaciones, roturas o desplazamientos. Por lo cual, éstas deben estar compuestas por materiales sólidos y protegidos contra la humedad proveniente tanto de lluvias como por capilaridad.

Existen diversos tipos de fundaciones, desde las más tradicionales, hasta las más modernas, lo importante, es que deben tener el mismo ancho de los fardos. Dentro de las más comunes tenemos las fundaciones de hormigón con sobrecimiento de ripio, así como los neumáticos estructurados.

En las estructuras de muro de cargas hechas de fardos, es importante conectar los cimientos con la placa del tejado, esto evita que se produzcan daños a causa del viento, y añade estabilidad estructural en caso de fuerzas sísmicas. Para llevar a cabo dicha unión, se deben dejar hechas las pasadas en la fundación, generalmente en intervalos de aproximadamente un metro por todo el perímetro, para posteriormente pasar los cables y tensarlos.

Está también la fundación con sobrecimiento de hormigón, el cual sobresale del terreno natural, sobre el cual se levantan los muros, se recomienda una altura entre la base de los muros al terreno natural de no menos de 30cm. Para sellar el lado superior de las fundaciones, se usa una lámina plástica, fieltro asfáltico de 15 lbs., hormigón con aditivo sellante, planchas de poliestireno expandido u otro material.

Para asegurar la fijación de los fardos en las fundaciones, y prevenir desplazamientos horizontales, se empotran en la base del muro, espárragos de 12 mm., al menos 15cm. de profundidad, y sobresaliendo no menos de 30cm. en el eje del muro, coincidiendo con el centro del fardo, para asegurar su anclaje a la fundación se dobla en L el extremo empotrado, y se disponen en el sobrecimiento, separados de tal modo que para cada fardo hayan dos espárragos.

En esta etapa, también debe ser contemplada, la construcción de la estructura de piso, la cual puede ser un radier de hormigón de no menos de 8cm., un envigado de piso o piso de arcilla.

Se recomienda que el nivel del sobrecimiento donde se apoyan los fardos, quede a lo menos 5cm. sobre el nivel de piso terminado, para evitar riesgos de humedad por derrame de líquidos o rotura de cañerías.

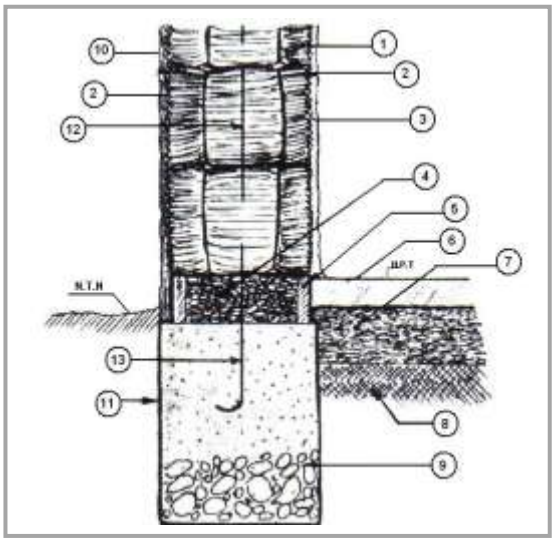


Figura 3.12. Fundación de hormigón con sobrecimiento de ripio.

También se debe considerar durante la construcción, el paso de los ductos de instalaciones, sean sanitarias, de agua potable, eléctricas u otras especiales, evitando faenas posteriores de alteración, como demoler parcialmente. Un último aspecto, es que para mayor precisión y facilidad en la colocación de la solera de amarre, es mejor construirlas previamente encima de las fundaciones, cuando éstas, ya han fraguado, según la dimensión del fardo elegido.

Otra variante posible como fundación, es con el uso de piedras como tradicionalmente se hacía con la edificación en adobe. En este caso, se trata de grandes piedras, bolones o piedras canteadas rústicamente, unidas con mortero de cemento. Éste tipo de fundación, no debería tener ningún problema, puesto que tal como el adobe, el muro de fardos tiene mayor sección de apoyo, es decir, doble ancho.

Especificaciones:

01.- Fardos de paja
02.- Malla hexagonal (tipo gallinero)
03.- Estuco de yeso, arcilla o cemento
04.- Ripio (sobrecimiento)
05.- Borde de madera para retención de ripio
06.- Radier
07.- Base de ripio
08.- Suelo compactado
09.- Fundación de hormigón
10.- Estuco de cemento o arcilla
11.- Lámina de polietileno (envuelve fundación y sobrecimiento)
12.- Tensor
13.- Gancho de anclaje.

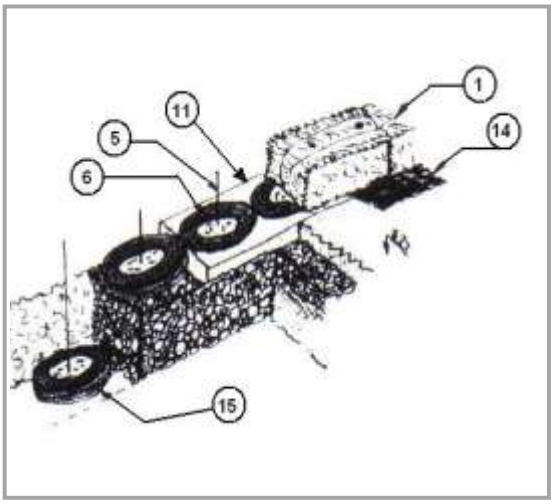


Figura 3.13. Fundación a base de neumáticos A.1.

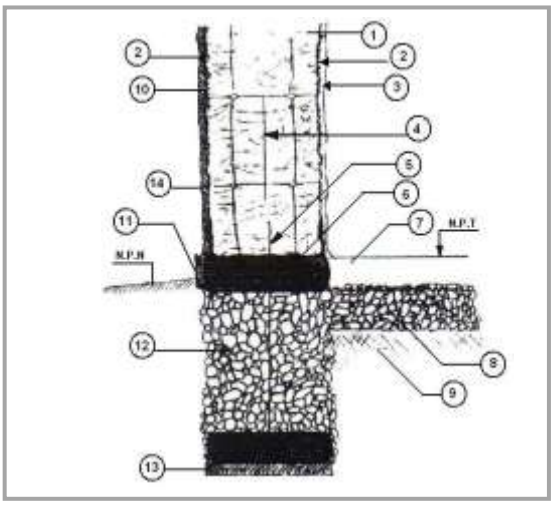


Figura 3.14. Fundación a base de neumáticos A.1.1.

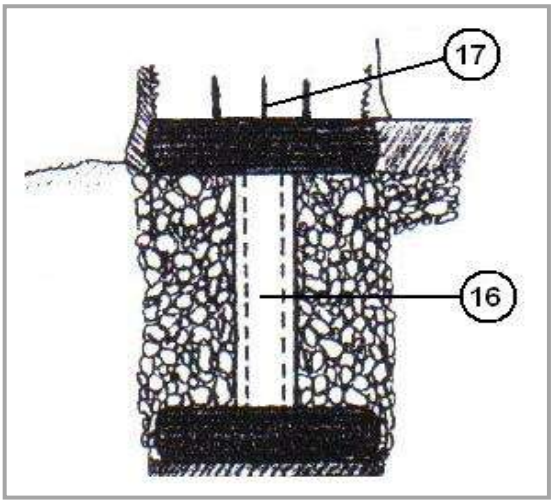


Figura 3.15. Fundación a base de neumáticos A.1.2.

Las fundaciones a base de neumáticos, consisten en rellenar con hormigón el neumático, instalando previamente un tensor, anclaje o enfierradura para la formación de un pilar. El resto de la fundación, es rellenada con piedras chancadas apisonadas hasta el nivel de terreno natural. Sobre éstas, un segundo neumático de idénticas características que el primero, pero que sirve de base aislada para el muro de fardos. Una envoltura de hormigón pobre sobre los neumáticos termina ésta fundación.

Especificaciones:

01.- Fardos de paja
02.- Malla hexagonal (tipo gallinero)
03.- Estuco de yeso, arcilla o cemento
04.- Tensor
05.- Gancho de anclaje como opción al tensor
06.- Neumático (sobrecimiento)
07.- Radier
08.- Ripio
09.- Suelo compactado
10.- Estuco de cemento o arcilla
11.- Envoltura de hormigón
12.- Fundación de grava chancada
13.- Emplantillado
14.- Lámina de polietileno
15.- Neumático base con tensor incluido
16.- Pilar de hormigón
17.- Gancho de anclaje.

3.1.2.-Muros Estructurales /.

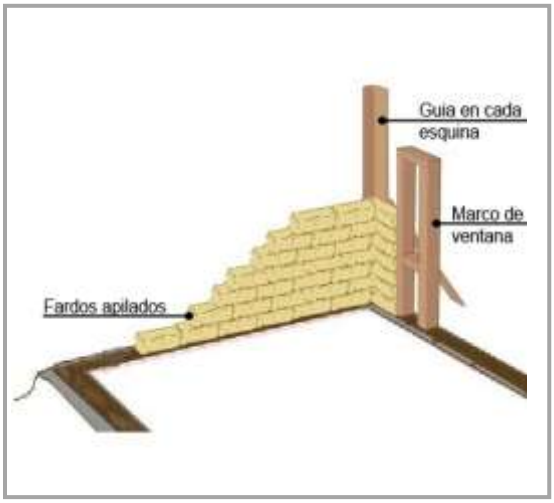


Figura 3.3. Apilamiento de fardos.

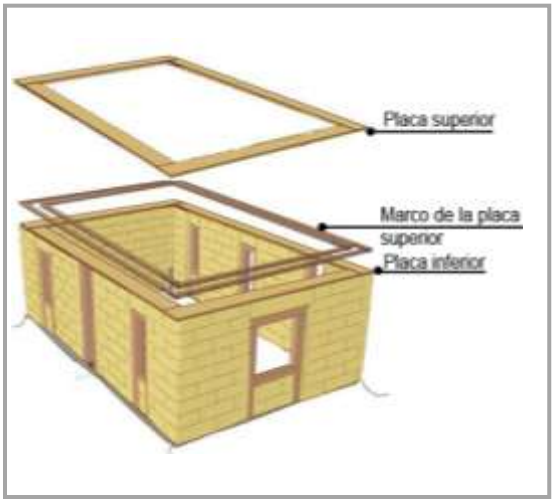


Figura 3.4. Cables tensados unidos a la fundación.

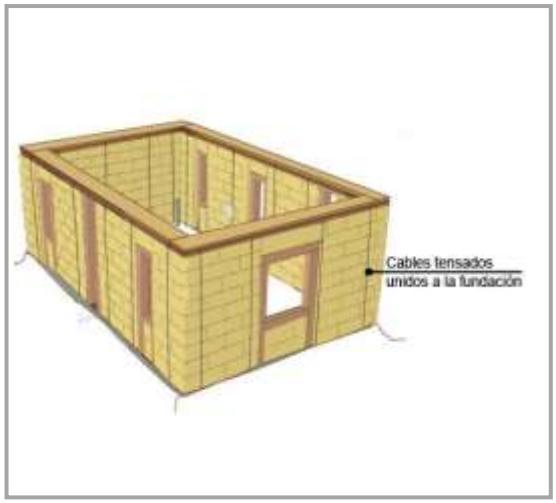


Figura 3.5. Esquema del muro de fardos con placa de tejado.

En los muros de carga, los fardos de paja soportan el peso del tejado directamente, sin ningún otro tipo de apoyo estructural. Los fardos generalmente son apilados como ladrillos, en hileras, por lo tanto, cada fardo se asienta sobre la unión vertical de los dos fardos inferiores. Los fardos están unidos con cualquier material que sea adecuado para reforzar el muro, como cables, alambres, etcétera, los cuales van ensartados en una enfierradura que cruza el eje del muro hasta su tope, donde son coronados con una estructura horizontal o ensamblaje, llamada placa de tejado o zuncho perimetral , que reposa en lo alto del muro, la que sirve para estabilizar, aguantar y distribuir equitativamente el peso del tejado en este, y para proporcionar el medio de conexión, de la techumbre, con los cimientos, permitiendo a la estructura soportar vientos y fuerzas sísmicas.

Los fardos se apilan horizontalmente, para incrementar la estabilidad. La primera fila de fardos está anclada a los cimientos con anclajes verticales. Se debe comenzar a colocar los fardos empezando en las esquinas y en los marcos de las puertas, e ir avanzando hacia el centro del muro. Para hacer que los muros de fardos formen una conexión continua entre los cimientos y la placa de tejado, se ocupan tensores que nacen de la fundación, traspasan los fardos de paja y terminan amarrados a la estructura de techumbre. Éste tensor, debe estar firmemente adosado a la fundación.

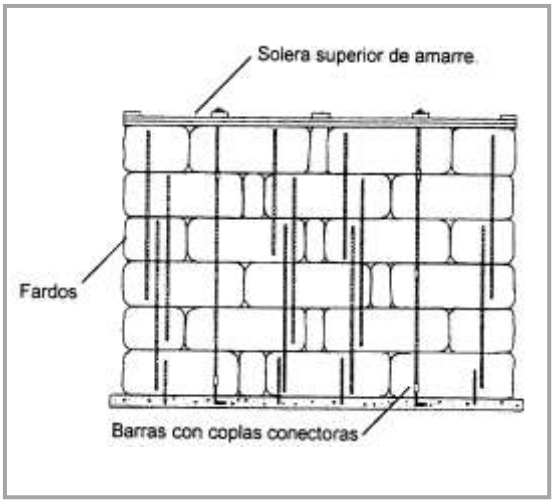


Figura 3.6. Muro estabilizado mediante enfierraduras.

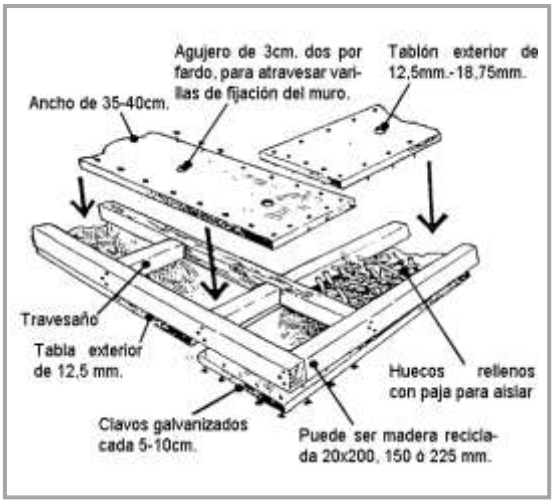


Figura 3.7. Placa de tejado, Solera de amarre o Zuncho perimetral.

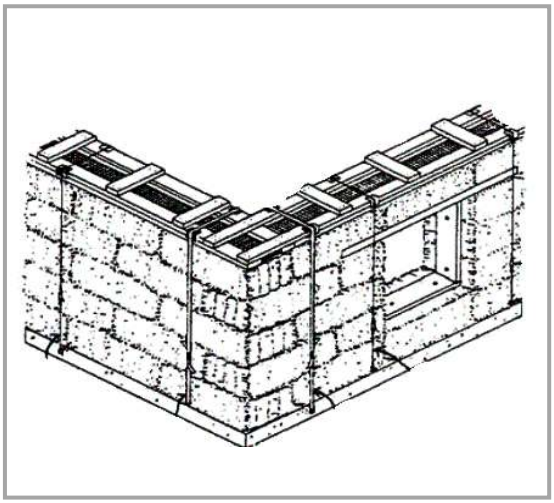


Figura 3.8. Estructura de muro Sistema Nebraska.

Cuando no se utilizan tensores, la opción viable es ocupar varillas de fierro de construcción liso de 6 u 8 mm. de diámetro y de 15 cm. de largo, colocados a lo largo del perímetro de la casa (ancladas a la fundación) y varillas de unos 40 cm. de largo clavando cada uno de los fardos. También se pueden utilizar cables, que nazcan de la fundación, envuelvan el muro y queden tensados. La presión de estos refuerzos verticales atornillados, clavados o doblados a la solera superior, permiten que los fardos permanezcan unidos entre sí. Ello asegura además, el comportamiento solidario de todos los fardos en el muro, al actuar como bloque, para soportar o absorber las cargas, evitando el corte o desmembramiento.

En definitiva, cualquier solución que evite que los fardos se muevan o se salgan de su posición original, sirve.

Sin embargo, hay algunos principios básicos que se deben tener en consideración cuando se construyen muros de fardos. El punto más importante a considerar, es que los fardos, son un material de construcción comprimible, en contraste con los materiales convencionales con que se construye. Las cargas de la estructura de techumbre, provocan que los fardos se compriman, cuanto más grande sea el peso, mayor será la compresión. Con fardos muy densos y compactos y cargas normales, la compresión puede ser mínima, pero incluso en éstas condiciones, el diseño del tejado, puertas y ventanas, pueden concentrar cargas en ciertas áreas y causar problemas. El asentamiento, que puede

durar hasta dos semanas, retrasa especialmente el estucado de las paredes. Una manera que permite adelantar el proceso de asentamiento, es por medio del llamado "asentamiento forzado", donde se ocupan tensores dispuestos de igual forma, como si se tratara de una albañilería de ladrillos. Se puede ocupar un tensor por fardos, para hacer más parejo el asentamiento.

Los tensores de 8 ó 10 mm. de diámetro y largo acorde a la altura del muro, deben ser lisos y estar provistos de hilo en uno de sus extremos.

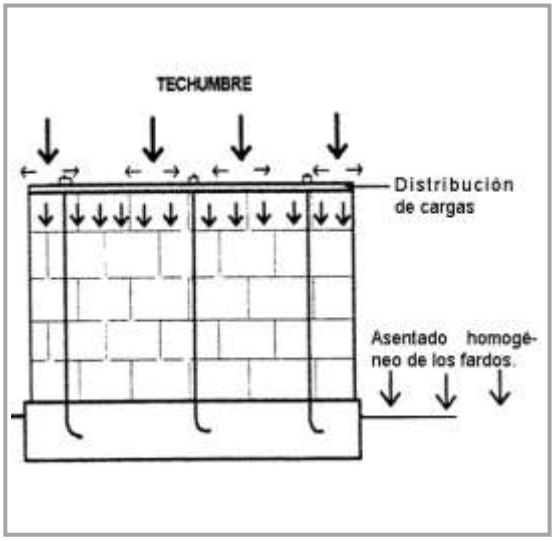


Figura 3.9. Esquema distribución de cargas de techumbre.

El hilo del tensor cruza la cadena, y mediante una tuerca se ejecuta la tracción del tensor y por ende la comprensión del muro de fardos.

El proceso de asentamiento en general es minucioso y debe ser revisado constantemente antes de estucar las paredes.

Otra opción, pero distinta al asentamiento y que resulta una buena práctica de construcción, es proveer de refuerzos cruzados adicionales al muro de fardos, particularmente en áreas propensas a terremotos. Ataduras cruzadas de madera, alambre grueso o cable sirven para hacer efectivos los refuerzos. Éstos, deben estar firmemente asegurados a la fundación y al complejo de techumbre.

Una vez que el tejado está colocado, se espera que los fardos se compriman naturalmente por su propio peso, pero si no se quiere esperar, se pueden comprimir usando correas para acelerar el proceso, o diversas formas como las descritas anteriormente.

3.1.3.-Esquinas /.

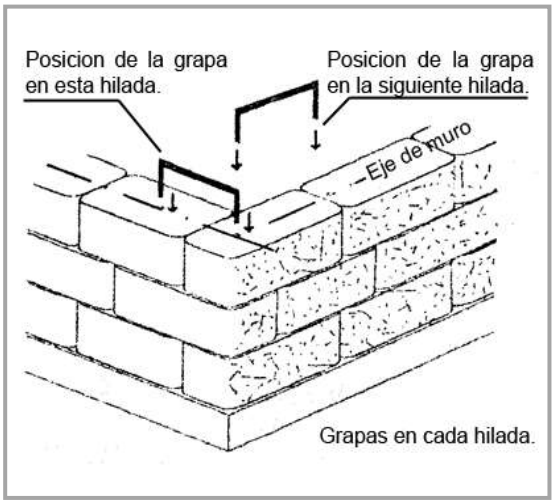


Figura 3.16. Unión de esquinas mediante grapas.

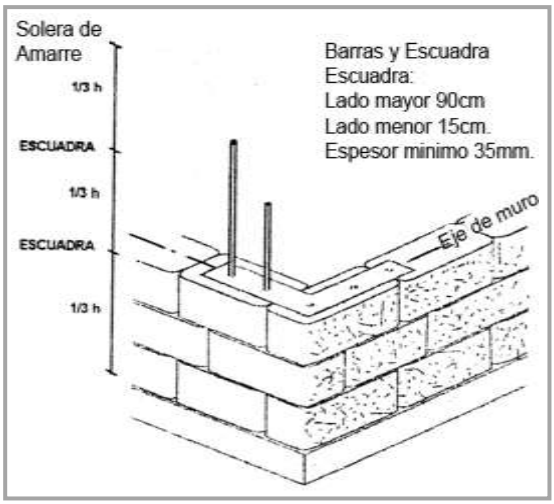


Figura 3.17. Unión de esquinas mediante escuadras.

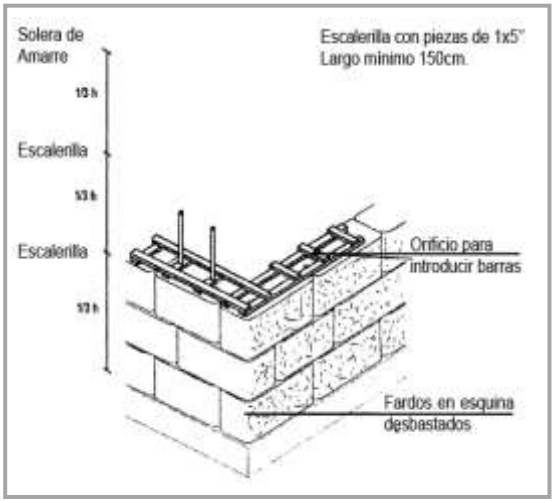


Figura 3.18. Unión de esquinas mediante escalerillas.

En las esquinas para reforzar y conectar los fardos, se usan dos métodos: grapas o escuadras metálicas. Sin embargo dada la condición telúrica de nuestro país se incluye una tercera alternativa.

En el primer caso, las grapas son hechas en obra con barras de fierro de 8mm. o 12mm. con forma de U, de 45 cm. de largo y dos piernas de 15 cm. Éstas, son colocadas de modo tal, que un extremo se ensarta o entierra en un fardo y el otro extremo se entierra en el fardo adyacente, pero correspondiente al otro muro del encuentro. Es conveniente que se vayan trabando todas las hileras de ambos muros entre sí, en todo el alto, cuidando de colocarlas en el eje del muro una a cada lado. Éstas grapas, además pueden ser usadas en cualquier lugar donde se necesite reforzar la unión entre dos fardos, como por ejemplo: sobre los marcos de puertas y ventanas.

Otro método de reforzamiento, es utilizando escuadras metálicas con cinco orificios, por donde se hacen pasar barras metálicas que trabarán los fardos en las distintas hileras. Las dimensiones de cada brazo de la escuadra, no debe ser menos de 90cm. de modo que quede en el eje del muro. Éstas escuadras, se colocan en cada tercio del muro como mínimo.

El tercer método, consiste en el uso de escalerillas de madera en cada tercio de la altura del muro, las que son usadas en edificaciones de adobe, con el fin de evitar el desmembramiento del

muro por esfuerzos de corte. Ésta escalerilla, se construirá con piezas de 1x5'' y atravesados por clavos de un largo igual al ancho del muro. Ésta pieza, tendrá un largo de 1.5 mt. con el fin que permita abarcar un fardo completo y la mitad del contiguo. El vacío entre las piezas, deber ser rellenado con paja suelta o mejor si es con puñados de paja compactada sacada de un fardo desatado. La desventaja de este sistema, es la necesidad de desbastar los fardos, para que la altura en las esquinas no aumente, ya que esto puede provocar que la solera de amarre quede desnivelada. Los travesaños de las escalerillas, deben contemplar perforaciones, de tal manera que sea posible pasar las barras de fierro, para que queden ancladas a los fardos, y así evitar desplazamientos.

3.1.4.-Vigas y Cadenas /.

En el sistema auto-portante, las vigas y cadenas no tienen una función estructural de relevancia, como ocurre en el sistema no auto-portante. En este caso, las vigas y cadenas funcionan como base de apoyo para el complejo de techumbre; son los elementos en los que van amarrados los tensores del muro.

Tipología A: cadena tradicional, permite el tensado de la barra tensora, ya que funciona como una prensa. Cuando el muro deja de asentarse, es decir, cuando la tuerca deja de correr, el tensor es amarrado a la techumbre.

Tipología B: es de igual procedimiento que el anterior, pero de mayor confiabilidad, ya que además funciona como una base segura para techumbre.

La otra posibilidad radica, en dejar el tensor intacto y hacer guías de madera sobre la base, de manera que permitan que las cerchas se acomoden y encajen en éstos. Éste sistema amarraría muros y cerchas por separado.

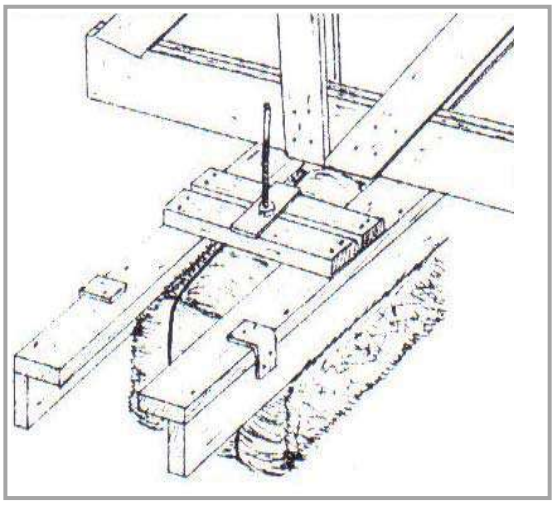


Figura 3.19. Tipología A: Cadena tradicional.

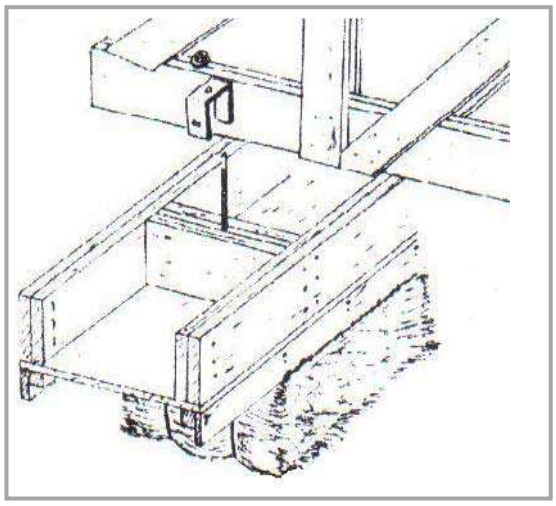


Figura 3.21. Tipología B: Cadena.

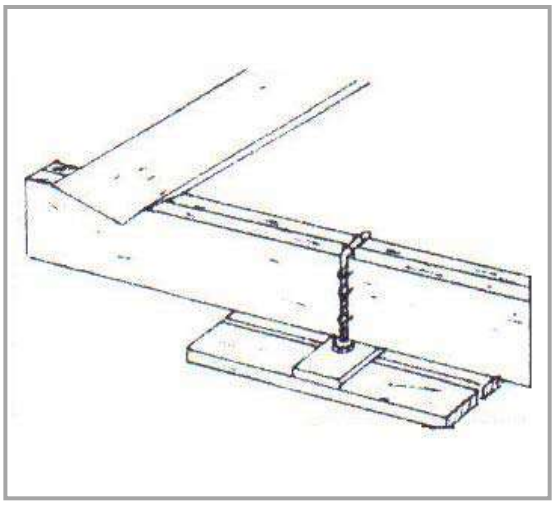


Figura 3.20. Tipología A.1: Cadena tradicional.

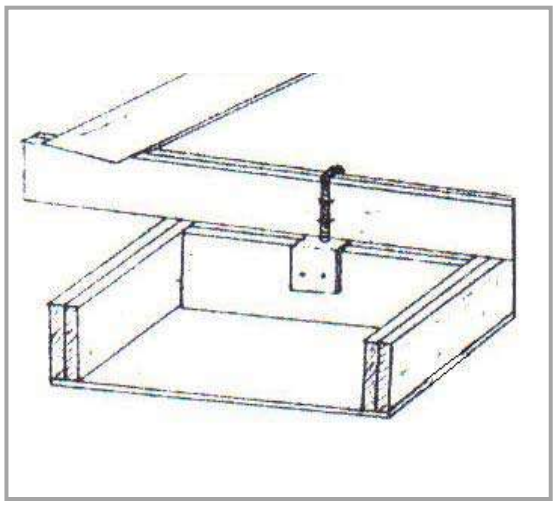


Figura 3.22. Tipología B.1: Cadena.

3.2.-Sistema no Auto-Portante o Poste-Viga /.

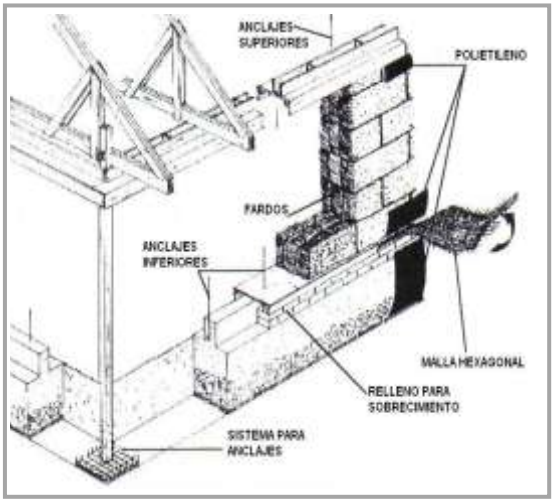


Figura 3.23. Estructura con pilares de madera y fardos de paja como relleno.

Figura 3.24. Estructura Sistema Poste-Viga.

Figura 3.25. Vivienda Sistema Poste-Viga.

Se basa en construir una armazón auto-portante independiente del muro de fardos. Ésta estructura rígida, soporta todo el peso del techo y lo transfiere a la fundación. Se utilizan los fardos como relleno dentro de la estructura, los cuales cumplen una función de aislante, éstos llevan una malla metálica que los cubre, y va afirmada a la armazón, la que finalmente recibe el estuco dejando el muro sellado.

Al usar este sistema constructivo se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El tamaño de la estructura si es bien diseñada, hace posible la construcción de 2 o más pisos.
- Totalmente antisísmicas.
- De fácil mantención, ya que el muro no presenta deformaciones.
- Los fardos deben estar secos, bien compactados y uniformes.
- La estructura de techumbre debe ser rígida, ubicándose arriba de la última hilada de fardos.
- Más caro que el sistema anterior.

3.2.1.-Fundaciones /.

Una fundación de buena calidad y bien estructurada, crea una base estable y duradera, que protege los muros de Fardos de la humedad del suelo. En éste tipo de construcción, todos los pesos vivos o muertos del complejo de techumbre, se concentran sobre la fundación en el lugar de cada pilar, en tanto, el peso de los muros se concentra en el resto de la fundación. Como el mayor peso de la estructura es soportado por las fundaciones en los puntos en que se encuentran ubicados los pilares, éstas deben hacerse de una mayor calidad estructural en esos sectores.

Las fundaciones, pueden tener profundidades variables. En general, el escaso peso que entrega el muro a éstas, hace que las fundaciones no requieran de grandes profundidades; aún así, el diseño de éstas, depende siempre de factores locales, como la capacidad de carga y tipo de suelo, cargas de fuertes vientos, condiciones sísmicas, entre otras, y de las características específicas del edificio que van a tener que soportar.

El ancho del cimiento, debe estar de acuerdo al ancho del fardo, y nunca de una dimensión inferior. En la mayoría de los casos, se utilizan como materiales, bolones unidos con mortero de pega ó solo piedras chancadas con una base superior de hormigón; ó más tradicionales, son las fundaciones de hormigón con bolón desplazador. Para evitar problemas de humedad por capilaridad, se deben utilizar láminas de polietileno en la base y costados de las fundaciones o bien hormigones con aditivos impermeabilizantes.

El sobrecimiento, debe tener como mínimo una altura de 20 cm. para soportar las distintas capas del piso. Se recomienda que por el lado exterior de éste, se construya una terminación en forma de talud, de manera que automáticamente se evacúe cualquier posibilidad de filtración de agua o humedad a este nivel.

El ancho del sobrecimiento, también debe ser semejante al del fardo; para esto hay diversas soluciones posibles de usar, a manera de abaratar los costos. La solución más tradicional y simple, pero más costosa, es rellenar el sobrecimiento con hormigón. Otra opción es mantener las dimensiones tradicionales del sobrecimiento y rellenar el espacio faltante por medio de albañilería de ladrillos.

Una tercera alternativa es no colocar sobrecimiento y reemplazarlo por ripio a manera de base para el muro de fardos.

Cualquiera sea la solución adoptada como sobrecimiento, entre éste y la primera hilera de fardos, se debe colocar una lámina de polietileno, membranas asfálticas o papel fieltro, para evitar que la humedad emigre a través de la fundación hacia la parte inferior del muro de fardos. Ésta protección, también puede prolongarse y ser utilizada para cubrir los costados del muro.

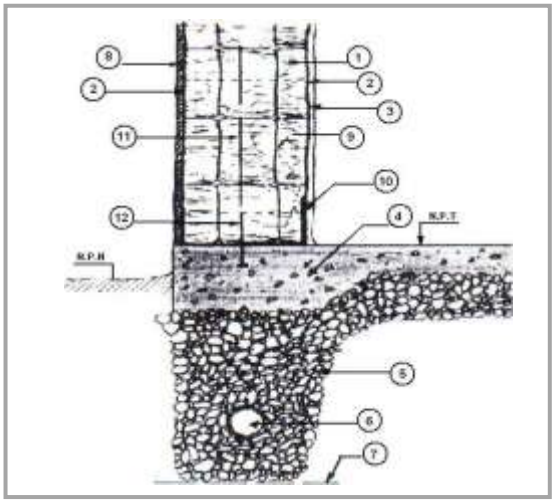


Figura 3.26. Fundación de ripio y sobrecimiento de hormigón unido a radier.

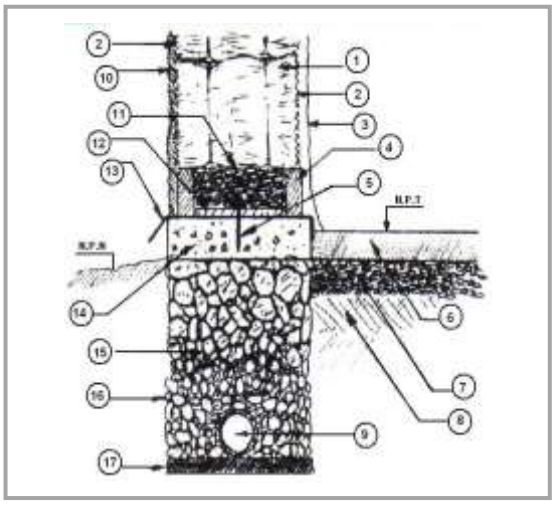


Figura 3.27. Fundación de bolones unidos con hormigón y sobrecimiento de hormigón con ripio.

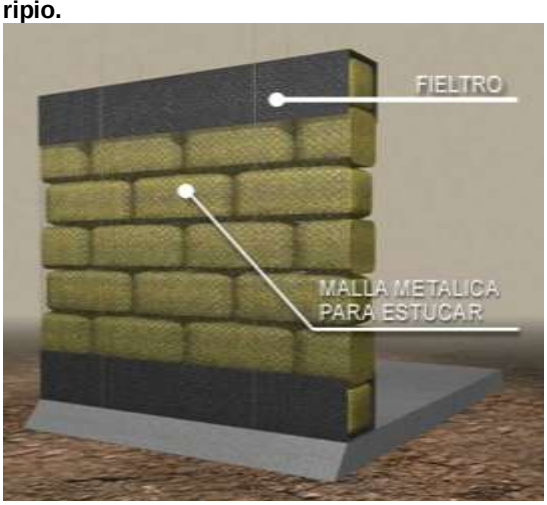


Figura 3.28. Muros cubiertos con papel fieltro.

Especificaciones:

01.- Fardos de paja
02.- Malla hexagonal (tipo gallinero)
03.- Estuco de yeso, arcilla o cemento
04.- Base de hormigón
05.- Fundación de ripio
06.- Tubo perforado para conducción de agua drenada
07.- Línea de congelamiento
08.- Estuco de cemento o arcilla
09.- Cosido de alambre para retención de malla
10.- Lamina de polietileno
11.- Barras para unión de fardos
12.- Clavo o gancho de anclaje.

Especificaciones:

01.- Fardos de paja
02.- Malla hexagonal (tipo gallinero)
03.- Estuco de yeso, arcilla o cemento
04.- Bordes de madera-retención de ripio
05.- Clavo o fierros para unión de bases
06.- Radier
07.- Base de ripio
08.- Suelo compactado
09.- Tubo perforado para conducción de agua drenada
10.- Estuco de cemento o arcilla
11.- Ripio (sobrecimiento)
12.- Base de madera terciada
13.- Plancha de zincalum liso (pintado)
14.- Base de hormigón (sobrecimiento)
15.- Bolones unidos con mortero
16.- Grava chancada a presión
17.- Emplantillado.

3.2.2.-Muros de Relleno /.

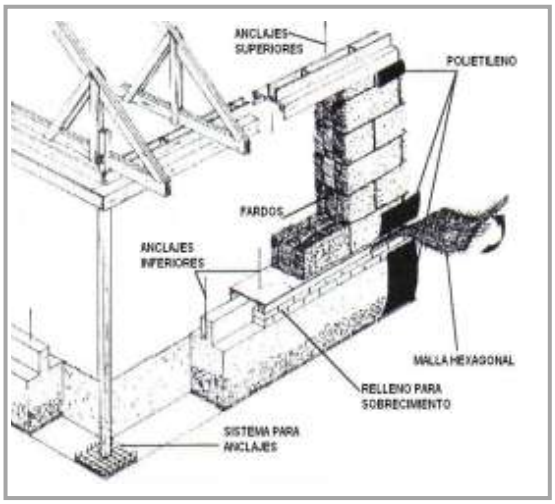


Figura 3.29. Sistema de estructuración Poste-Viga (fardos de paja como relleno).

Figura 3.30. Estructura Sistema Poste-Viga en rollizo.

Figura 3.31. Estructura Sistema Poste-Viga en madera aserrada.

En este sistema, se usa una estructura soportante de madera, también existen restricciones aunque menores. Dos de ellas, son la altura y el largo máximo, la altura dependerá de las dimensiones de las piezas elegidas para armar la estructura mayor. Se recomienda una altura de muro no superior a 3.65 mt. En el caso del largo máximo del muro sin refuerzos intermedios no debe ser más largo que 6.10 mt. Edificaciones en dos pisos también son posibles, siempre que la estructura mayor esté dimensionada y estructurada para éste propósito, no obstante, el segundo piso se recomienda que sea resuelto con materiales livianos.

En el sistema poste y viga, usualmente se utilizan 2 maneras de estructurar, el primer caso es el uso del rollizo impregnado de diámetro 6'' y en el segundo caso, es una variación del primero, que implica usar postes como refuerzos en la estructura, como esquinas, uniones en T de muros y marcos de madera para puertas y ventanas. Los fardos, pueden ser colocados a presión en la estructura de madera. Al momento de construir la fundación, y cada 50 cm. ó a una distancia tal que entren dos barras por fardo, se deben ir anclando fierros de 6 u 8 mm. de diámetro, para evitar que el fardo se salga de su posición original, ayudando de éste modo, a asegurar la primera hilada de fardos. Tensores de φ10 mm. se deben intercalar entre las barras y a 30 cm. de cualquier abertura o esquina. Las barras de acero deben quedar acopladas en la fundación, a 15

cm. de profundidad y 30 cm. por sobre ésta, aproximadamente.

Los tensores que se intercalan entre las barras de anclaje, se utilizan para comprimir los fardos con ayuda de la solera superior. Al igual que en el sistema auto-portante, están anclados a las fundaciones y a la solera superior.

Es importante tener en cuenta la protección del acero y la madera en contacto con los fardos de paja, de modo de evitar cualquier tipo de oxidación del primero o la descomposición del segundo, ya que éste hecho, no sólo afectaría al fardo que quede en contacto directo con dichos elementos, sino que también a la estructura completa en un largo plazo.

Los fardos de paja se disponen como relleno entre los pilares, y otras estructuras verticales; la forma de colocarlos, es igual a como se trabajan comúnmente los ladrillos en albañilería de soga. Los fardos, deben tener un traslape aproximado de 50 cm., o el equivalente a la mitad de éste; deben amarrase con alambre galvanizado Nº16 ó Nº18 unos a otros y en las esquinas a los pilares para dar mayor rigidez y seguridad al muro.

En el caso de los fardos que van sobre dinteles de puertas y ventanas, estos irán amarrados a la solera superior.

3.2.3.-Pilares, Vigas y Cadenas /.

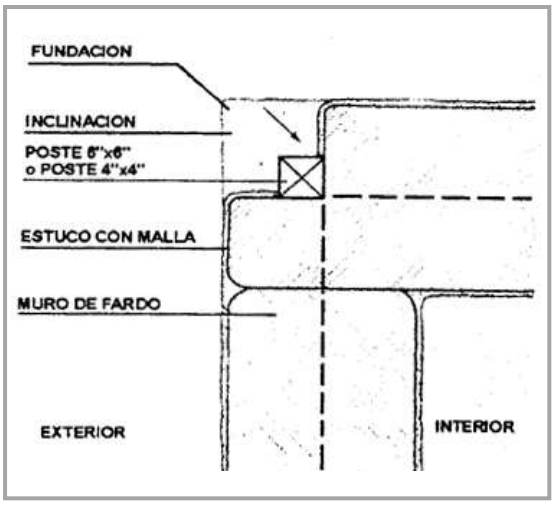


Figura 3.32. Solución 1: Colocación de pilares en cara externa del muro.

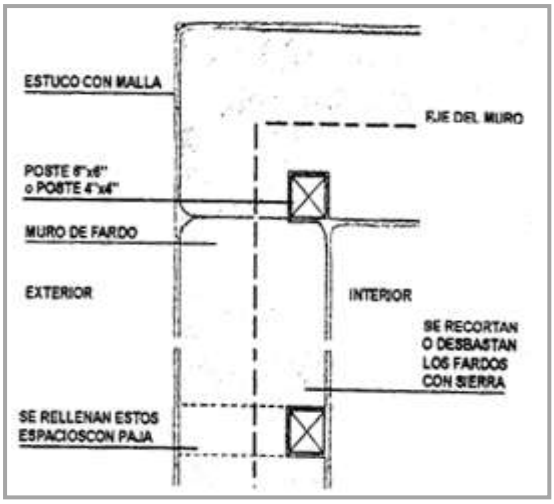


Figura 3.33. Solución 2: Colocación de pilares en cara interna del muro.

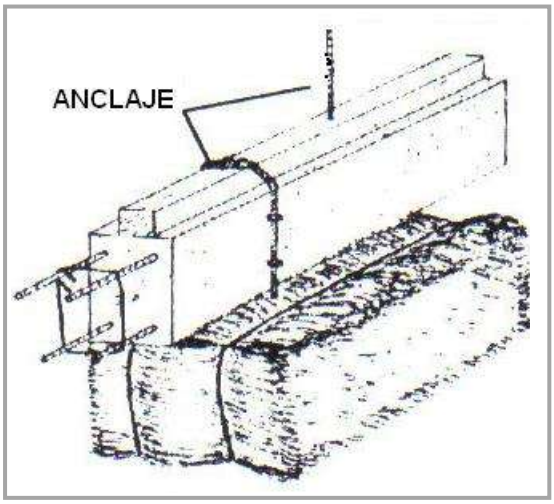


Figura 3.34. Viga de hormigón armado adosado al muro de fardos.

Un armazón auto-portante rígido compuesto por pilares, vigas y cadenas, soporta todas las cargas de la techumbre y las transfiere a la fundación. Los pilares pueden ser de madera (rollizo o dimensionada), hormigón armado o acero, y pueden estar ubicados por la cara externa o interna del muro, o bien en medio de éste. Al utilizar pilares y vigas de cualquiera de las materialidades mencionadas, es importante considerar sus particularidades, en el caso del acero debe ser revestido con papel fieltro, para evitar su condensación interior.

Cualquiera sea la ubicación del pilar, se debe utilizar relleno para cubrir el volumen faltante. El relleno es básicamente paja suelta que se va amontonando y apisonando en la zona faltante; para evitar que la paja salga del muro, se utiliza una doble malla hexagonal tipo gallinero, la cual se va enganchando al muro a medida que se va subiendo con el relleno. Otras alternativas pueden ser, sacos de arpillera rellenos con paja apisonada, o bien una mezcla de paja suelta con mortero de cemento. Esta última no es muy viable ya que el cemento y el moldaje que se deben utilizar, la hacen más costosa. Una alternativa para evitar rellenar éstas zonas, es hacer en el fardo una “muesca” o sacado que permita acoplar el fardo al pilar. Éstas muescas, deben estar ubicadas en los costados del fardo y nunca al medio, ya que en esa posición, provocaría un probable desarme de éste. Si el pilar es de madera, éste puede ir anclado directamente a la fundación o al sobrecimiento, en este último caso por

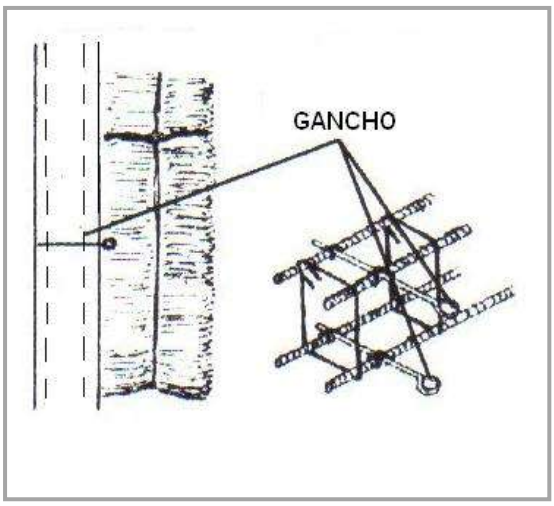


Figura 3.35. Detalle Viga de hormigón armado adosado al muro de fardos.

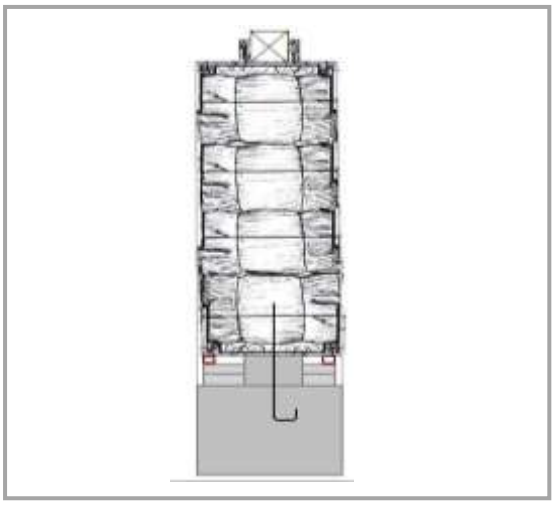


Figura 3.36. Sistema doble corchete.

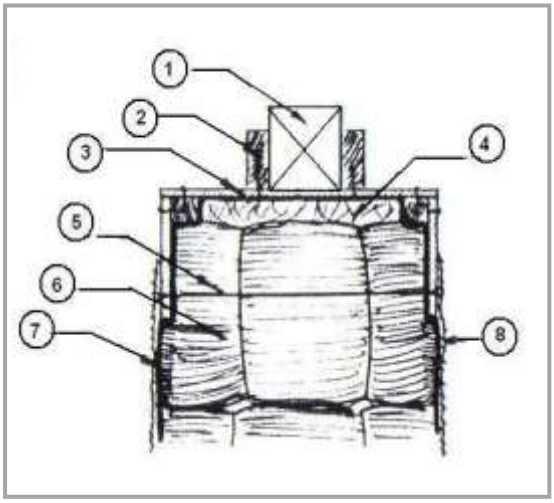


Figura 3.37. Sistema corchete-unión viga muro.

medio de barras de acero, o bien mediante anclajes metálicos, cuyas dimensiones dependen de las dimensiones del pilar. Éste anclaje comúnmente va enterrado a unos 20 cm. en la fundación, es así como el pilar forma parte integrante de la fundación, por medio del empotramiento, éste debe tener en su extremo empotrado, clavos de 4” ó 6” que permitan una mayor adherencia con el hormigón, además de una buena protección para maderas. Los postes pueden ir en el plomo exterior o interior del muro, aunque cuando van en el interior del muro, ayudan a reforzar la estructura en caso de vientos fuertes. Cuando ésta estructura de madera alcanza escuadrías importantes, pueden quedar a la vista, cuando se trata de piezas menores, o una estructura simple, ésta puede ir incluida, es decir, oculta dentro del muro. Aún cuando se ocupa tiempo en desbastar el fardo, ésta posibilidad permite reforzar la edificación ante esfuerzos laterales.

Especificaciones:

01.- Viga o cadena de madera, hormigón o acero
02.- Guías de madera para inmovilizar muro
03.- Sistema de corchete
04.- Relleno de paja
05.- Alambre para amarre de alas del corchete
06.- Fardos de paja
07.- Lámina de polietileno
08.- Malla hexagonal clavada a las alas del corchete.

En el caso de un poste de 4 x 4'', el fardo debe ser desbastado para insertarlo con la forma del poste, maniobra que debe ser hecha sin cortar las amarras del fardo.

Si el fardo debe ser insertado con el poste, éstos deben ser puestos acostados con las amarras arriba y de abajo. Si los fardos están puestos de canto, las amarras están expuestas a los largo de la superficie del muro, haciendo casi imposible la colocación de un poste, dado la imposibilidad de cortar las amarras sin que el fardo se desarme. Una desventaja del sistema constructivo de poste y viga, es que la superficie estucada tiende a agrietarse en la unión entre fardo y poste. Por ello ésta unión se debe reforzar con la malla de metal expandido y papel fieltro para reducir la probabilidad y severidad de una rotura. Una opción que permite liberar las esquinas, consiste en ubicar el poste en la mitad del muro (en el eje), dejando el poste a la vista. De éste modo, el estuco termina a cada lado del poste, asegurando la unión entre poste y fardo con la malla de metal. Los postes, también pueden ser dejados completamente expuestos sin quedar insertados dentro del muro, pero esto es sólo recomendable en el interior de la obra.

Pilares metálicos también pueden tener estas soluciones con una respectiva pintura anti óxido. En el caso de pilares de hormigón armado, la solución es la que se ejecuta tradicionalmente para una vivienda de albañilería de ladrillos. Por otro lado, en éste sistema, las vigas y cadenas cumplen con la función de unir los pilares, haciendo que el conjunto completo responda como un solo elemento.

Las soluciones para vigas y cadenas son variadas, y dependen básicamente del material a usar. Una alternativa es hacerlas de hormigón armado, éstas sólo se diferencian de las tradicionalmente usadas en la construcción de viviendas, en un gancho que va adosado a la enfierradura. El gancho de 6 mm. de diámetro va amarrado a la enfierradura y sirve de guía para los anclajes. Éste anclaje de hasta un metro de largo, es enterrado al fardo y luego unido a la cadena, posteriormente la base superior del muro debe ser estucada cubriendo así el anclaje y permitiendo un menor desplazamiento de éste. La única función de esta barra, es contribuir a que el muro de fardos se mueva en igual sentido que el resto de la estructura, aunque el muro no ayude como elemento soportante.

Otra alternativa es usar tensores, al igual que en un muro de albañilería, que nazcan de las fundaciones y finalicen en las vigas o cadenas, repitiendo el procedimiento del sistema auto-portante. Cuando la viga o cadena está en medio del muro, independiente de su materialidad, se evita la utilización de tensores o barras de anclaje reemplazándolo por el sistema conocido como "corchete". Éste sistema, consiste en una estructura de madera en forma de "U" invertida, que se utiliza para unir el muro superiormente a la viga e inferiormente a la fundación, entonces el sistema es llamado "doble corchete" o "paréntesis".

3.3.-Sistema Estructural de Puertas y Ventanas /.

Para todos los sistemas de construcción con fardos anteriormente descritos, las soluciones para puertas y ventanas son básicamente las mismas.

Sin embargo, la única diferencia radica, en que el sistema no auto-portante (Nebraska) requiere de vanos suficientemente sólidos para tomar el peso de la techumbre.

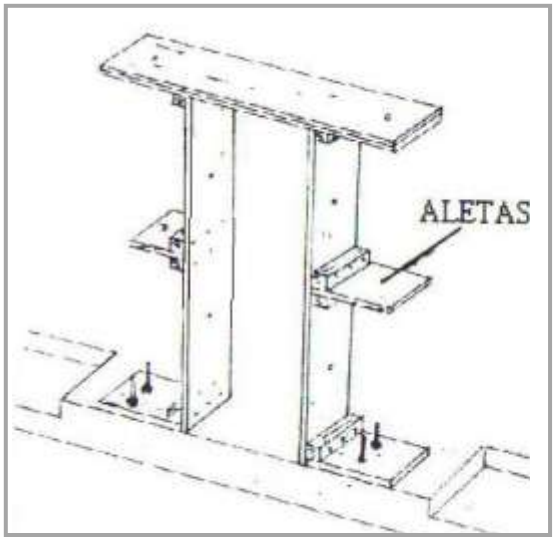


Figura 3.38. Estructuración de vanos para puertas en un sistema no auto-portante.

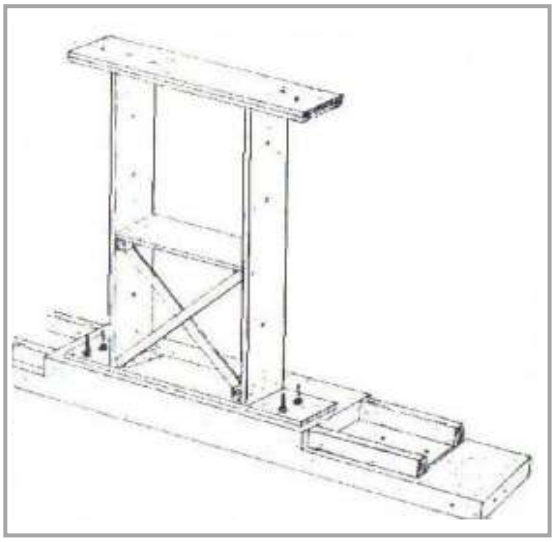


Figura 3.39. Estructuración de vanos para ventanas en un sistema no auto-portante.

Algunas pueden ser verdaderas estructuras de madera adosadas a la estructura soportante de la casa, especialmente cuando se trata de grandes ventanales, mientras que otros pueden ser simples marcos de madera adosados a las hileras del muro cuando la ventana es simple y sin grandes detalles.

En los muros que reciben la carga, la combinación de pesos vivos y muertos del tejado se asienta directamente sobre las paredes, lo que incluye los marcos de puertas y ventanas, en cambio, con estructuras rellenas, todas las cargas del tejado son absorbidas por cualquier estructura de carga que se utilice y sólo las cargas de la pared sobre puertas y ventanas son soportadas por el armazón, el marco de la ventana o de la puerta.

Los armazones para ventanas, son como un marco con aletas; las cuales deben formar parte de una determinada cantería dejada por la unión de los bloques de fardos. Si la altura del antepecho no coincide con el nivel de fardo completo, entonces las aletas pueden ser removidas a una posición que permita hacerlas coincidir y encajar en la cantería para su posterior empotramiento al fardo, o bien, eliminar las del extremo superior para no limitar las dimensiones de la ventana. Además, se deben utilizar puntales de madera para mantener en su posición los marcos en el muro. Estos marcos deben fijarse con pernos o tornillos.

Los dinteles deben ser dos veces más largos que la anchura del vano, extendiéndose un mínimo de 0,60 cm. a cada lado de la abertura. Éstos, deben ser lo bastante fuertes para asegurarse de que no cederán, y aún así, no ser innecesariamente pesados.

Sobre el dintel, puede ir incorporada otra hilera de fardos, o bien un relleno cuando la altura sea inferior a la del alto de un fardo.

Los armazones estructurales para puertas, se construyen de igual forma que los de ventanas, y se apoyan directamente sobre los cimientos, fijándolos con pernos. Normalmente, se utilizan armazones de la misma anchura que la pared de fardos.

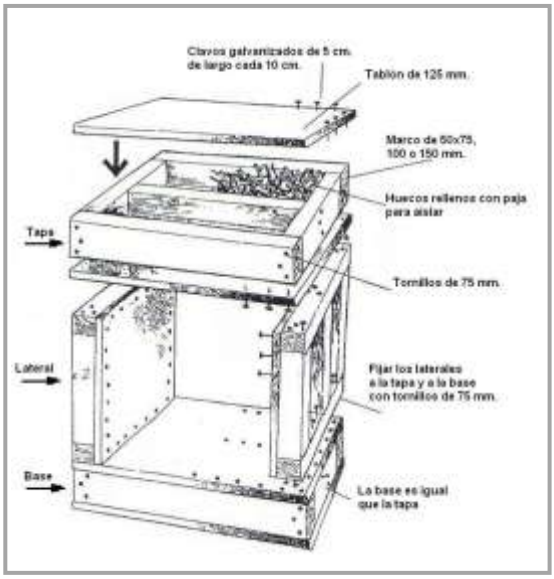


Figura 3.40. Marco auto-portante para ventana.

Los armazones, tanto de puertas como de ventanas, deben estar en su sitio y ser reforzados, para que permanezcan verticales, antes de levantar las paredes.

La localización de los marcos de las puertas y ventanas, debe ser decidida de antemano. Las aberturas para puertas y ventanas, deben estar distanciadas de las esquinas a un fardo como mínimo, para evitar disminuir la rigidez del muro, y así mantener la integridad estructural de la edificación.

Otra opción, es colocar los armazones de madera para las ventanas, en su abertura después de que el asentamiento o pre-compresión se ha completado. Los armazones de ventanas, pueden ser entonces instalados y ajustados correctamente a la medida de la abertura. Una desventaja de este método, es que resulta más difícil mantener los fardos uniformes alrededor de la abertura de la ventana.

La mayor desventaja que se puede encontrar a la hora de construir los marcos de las ventanas, es el espesor de los muros, puesto que afecta directamente la luminosidad natural de las habitaciones.

Para evitar este efecto negativo, los bordes internos del vano de las ventanas son curvados o biselados de afuera hacia adentro de la habitación, obteniéndose mejores resultados de iluminación natural.

Figura 3.41. Vista marcos auto-portantes en una construcción.

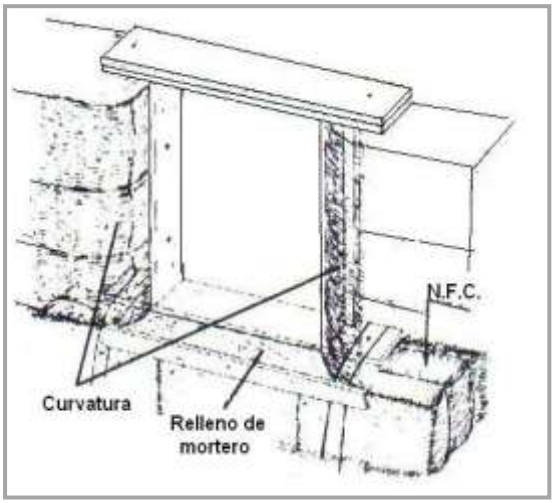


Figura 3.42. Vista externa de un vano estructurado para un sistema auto-portante.

Figura 3.43. Marco auto-portante en una construcción.

Para dejar entrar más luz en una habitación, las ventanas estrechas pueden hacerse más altas. La distancia a la que entra la luz en un espacio es determinada, más por la altura de una ventana que por su anchura. Así, las ventanas orientadas verticalmente, permiten iluminar mejor una habitación que las orientadas en forma horizontal. Es posible hacer aberturas más anchas, pero hay que tener en consideración los factores de diseño.

3.4.- Estructura de Techumbre /.

La estructura de techumbre de una casa de fardos, es de iguales características a las que se ejecutan comúnmente en madera o metal. Sin embargo, el método constructivo del muro de paja puede influir en el tipo de estructura de techumbre.

Las edificaciones que utilizan fardos como relleno en combinación con un armazón estructural, pueden ser rematados con cualquier tipo de tejado; en tanto, los muros de carga de paja están más limitados. Éstas últimas son más estables, a medida que avanza el proceso constructivo y son bastante sólidas cuando el tejado está en su lugar. Existen diversas formas de construir el techo de una vivienda.

Figura 3.44. Tejado a dos aguas.

Una opción es el tejado a dos aguas, aunque es necesario tomar algunas precauciones, ya que las diferentes alturas de muro requeridas para la pendiente del tejado, no proporcionan una superficie de perímetro continua y regular, por lo que el empuje de sus lados al muro de carga más bajo, puede provocar que se incline, éste tejado, ofrece la ventaja de permitir la incorporación de espacio bajo cubierta y de una ganancia solar cuando los huecos de ventana se sitúan al norte.

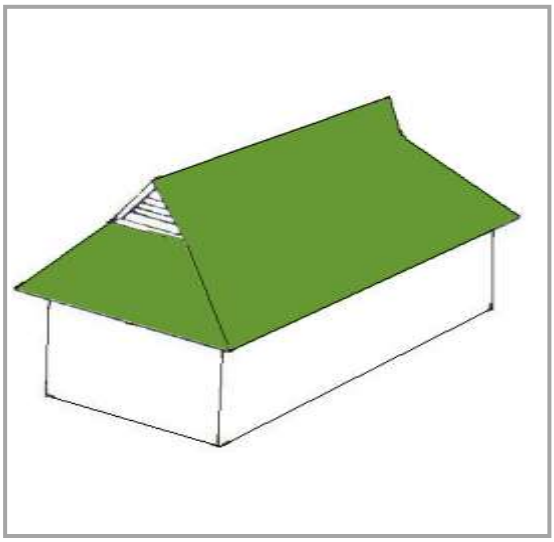


Figura 3.45. Tejado a cuatro aguas.

El tejado a cuatro aguas, es la mejor opción para edificaciones con muros de cargas, aunque puede ser utilizado con estructuras de fardos que no sean de carga, una ventaja podría ser que suele verse menos afectado por vientos fuertes que el resto de tejados, y construidos con aleros de buenas dimensiones, ayudan a proteger los muros de las inclemencias del tiempo.

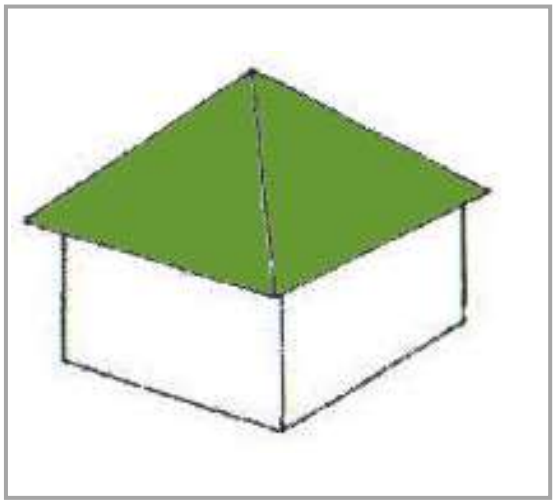


Figura 3.46. Tejado piramidal.

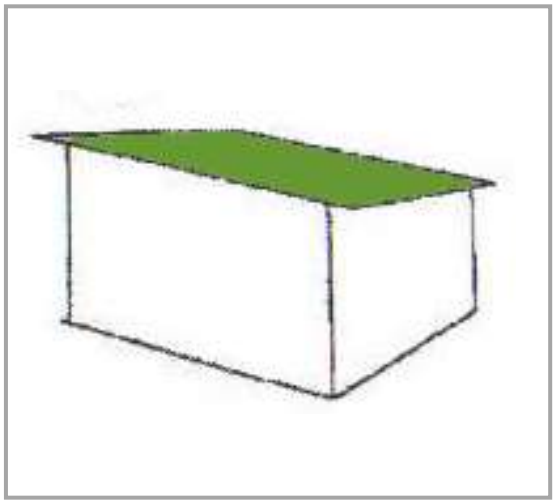


Figura 3.47. Tejado a un agua.

Figura 3.48. Tejado vivo.

Una alternativa similar es el tejado piramidal**;** éste es un tejado a cuatro aguas pero sin cumbrera. Las cuatro caras se encuentran en un punto central en la punta de la cumbrera. Éste tipo de tejado, tiene la ventaja de distribuir igualitariamente su peso en las cuatro paredes.

Otra tipología de tejado es de un agua, cuya pendiente es de una sola dirección, es el sistema de tejado más sencillo para construir y económico.

También existe el Tejado vivo, los tejados de tierra son más apropiados para climas desérticos como los de los países mediterráneos, y la parte sudoeste de los Estados Unidos y Australia, la ventaja de este tejado, es que es un recurso renovable que puede ser reemplazado o arreglado fácilmente y con un costo bajo, además de tener un potencial creativo, puede llevar un simple acabado de césped o convertirse en un complejo jardín con bulbos y flores silvestres.

Otros tejados más particulares, son el de tipo gambrel, gablete desplazado, bóveda, domo y conos.

Cuando la estructura del techo es pensada para un sistema no auto-portante, la forma de la techumbre puede ser variada, ya que ésta estructura descansa sobre pilares. Aunque por este hecho, conviene distribuir en igual forma las cargas sobre los pilares.

En el caso de un sistema auto-portante, la techumbre ideal es aquella que permite entregar a todos los muros, igual cantidad de cargas en forma proporcional, según sea el largo del muro. En este sentido, la techumbre a cuatro aguas es la más conveniente.

Finalmente, la techumbre es montada directamente sobre los muros de fardos, en que el peso de la techumbre hará que el muro se asiente algunos centímetros.

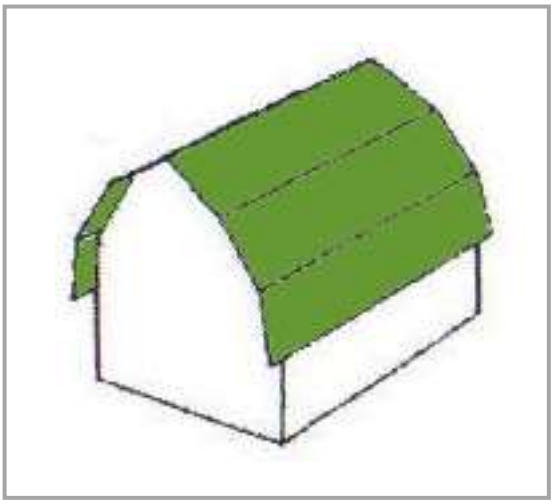


Figura 3.49. Tejado gambrel.

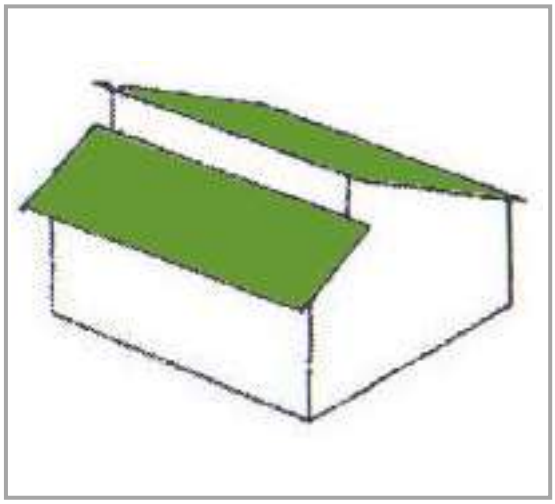


Figura 3.50. Tejado gablete desplazado.

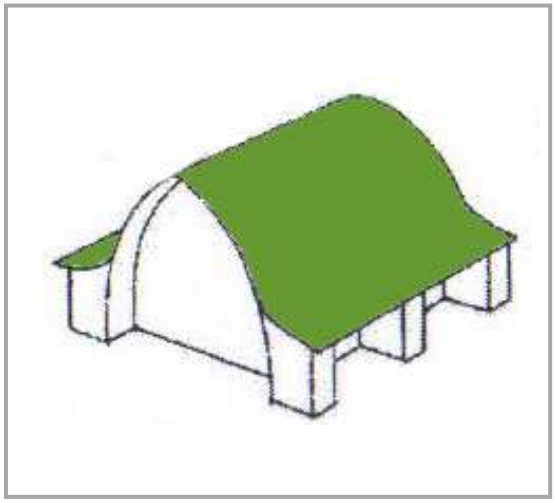


Figura 3.51. Tejado tipo bóveda.

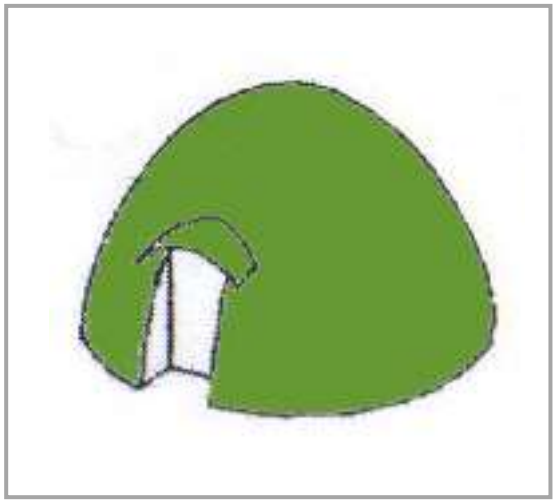


Figura 3.52. Tejado tipo domo.

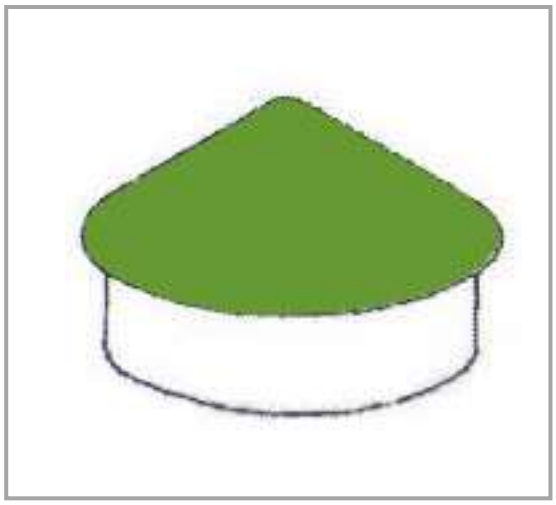


Figura 3.53. Tejado tipo cono.

Figura 3.54. Vivienda de fardos de paja con corredor cubierto. Fuente: Autores.

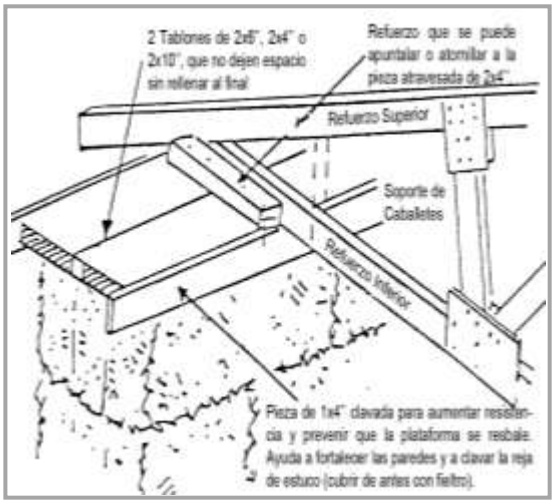


Figura 3.55. Instalación de cerchas sobre placa de tejado (Sistema Nebraska).

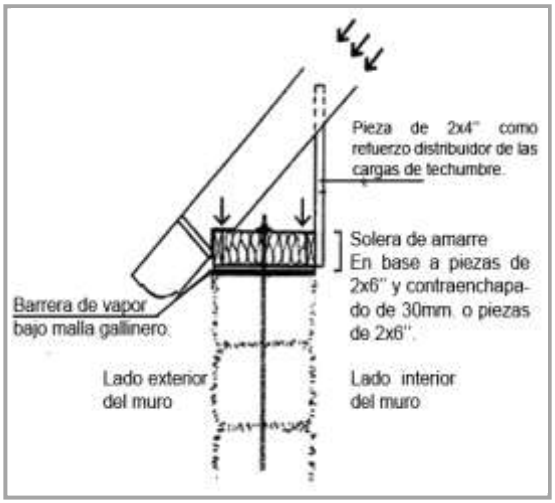


Figura 3.56. Detalles de estructura de techumbre sobre placa de tejado (Sistema Nebraska).

También es posible prolongar la estructura de techumbre, para construir aleros los cuales ayudan a proteger los muros de la lluvia, y además extender estos envigados como modo de cubrir porciones de superficie contigua a la edificación, formando corredores o galerías cubiertas.

Ambas soluciones de alero, son recomendadas siempre para los dos sistemas constructivos revisados, más aún en zonas con estación lluviosa o muy lluviosa.

Se aconseja que la techumbre, sea liviana y de poca pendiente, puesto que así se contribuye a bajar el centro de gravedad de la construcción, incrementando su estabilidad a la vez.

Una recomendación sobre la instalación de frontones o muros de antepecho, es que éstos tienen que estar debidamente integrados a la estructura y ser indeformables, si se consideran como solución constructiva para diseños con techo oculto y/o de inclinación mínima, ambos detalles serían recomendables para zonas secas o con un régimen escaso de lluvias.

Desafortunadamente las estructuras de techumbre, usualmente requieren de un número considerable de piezas de madera. Será ideal entonces, si la estructura de techumbre de una edificación con fardos, puede ser construida con la misma facilidad como son los muros, exhibiendo las mismas tolerancias y demostrando la misma reducción de piezas de madera.

3.4.1.-Aislación /.

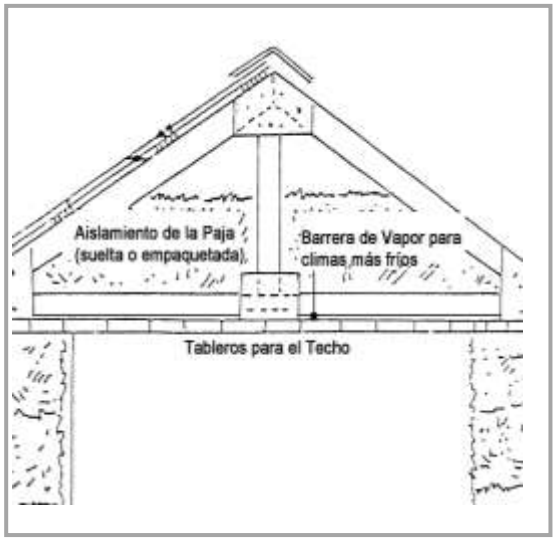


Figura 3.57. Aislación en estructura de techumbre.

Las edificaciones más modernas usan fibra de vidrio como aislante en la techumbre, pero recientemente estudios sugieren riesgos para la salud con este tipo de aislación.

Uno de los más fáciles métodos y de mejor relación costo-beneficio, es usar paja como aislante. Fardos enteros pueden ser usados cuando la estructura de cielo y techumbre son lo suficientemente fuertes para resistir este peso. De otra manera, paja suelta puede ser usada extendida sobre la estructura de cielo.

Otra manera sería usando paneles delgados hechos de barro y paja, con dimensiones de ancho o alto menor a las dimensiones de un fardo.

3.5.-Terminaciones /.

Figura 3.58. Malla hexagonal colocada en muro de fardos de paja. Fuente: Autores.

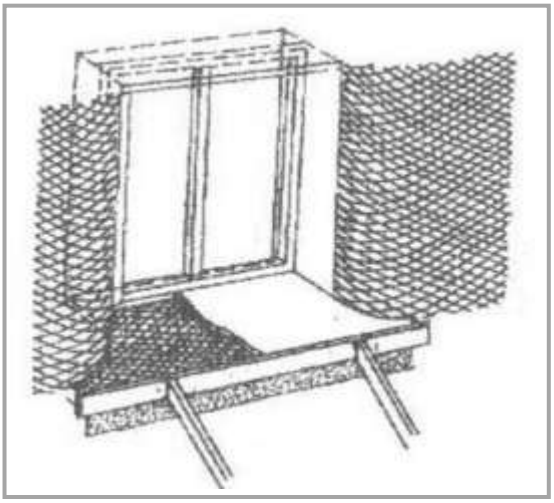


Figura 3.59. Colocación malla galvanizada alrededor de vanos de ventana.

Figura 3.60. Estuco de arcilla colocado sobre malla galvanizada.

Aunque existen viviendas en las que revestimientos como; barro, adobe, yeso, entre otros productos, han sido aplicados directamente a los fardos, aprovechando la superficie rugosa que poseen;, se puede instalar una malla hexagonal entre los fardos de paja y el revestimiento, tanto exterior como interior, para asegurar la adherencia de los revestimientos menos adhesivos. Ésta malla, debe ser de aproximadamente ¾'' galvanizada y debe colocarse verticalmente e ir fijada en el extremo superior del muro a la solera, en el extremo inferior a los alambres de la primera hilera de fardos y lateralmente a los pilares; amarras intermedias se harán a las hebras de alambres de los fardos. La malla también debe envolver por completo los vanos de puertas y ventanas.

La duración de los estucos o revoques, está en relación directa con la adherencia al fardo como la resistencia a los diversos agentes de erosión como son: la lluvia, los golpes, los roces, las heladas, los cambios de temperatura, etc. Es muy importante que los estucos presenten 2 condiciones que asegurarán su duración y eficiencia en el tiempo; flexibilidad y permeabilidad al vapor. La flexibilidad que presentan las estructuras de madera y la flexibilidad que presenta el material de relleno obligan o condicionan al estuco a presentar similares características. El otro aspecto de gran importancia y que determina la elección del estuco a usar y el color, es la respiración de los muros, el cual se debe tener presente. La respiración de los muros permite que el aire exterior se enfríe o caliente

cuando pase a través de la masa de los fardos, antes de que se mezcle con el aire interior. Si el muro está terminado con barrera de vapor, estuco de cemento, una capa de pasta de muro y una capa de pintura vinilica, éste sellado permitirá un bajo nivel de cambio del aire. El peligro de un completo sellado del muro, es que si por alguna razón la humedad penetra el muro, éste tendrá dificultad para salir rápidamente, dejando los fardos del muro altamente susceptibles a moho, hongos y descomposición.

Figura 3.61. Colocación primera capa de estuco en base a arcilla.

Figura 3.62. Estuco en base a arcilla. Fuente: Autores.

Además, es posible que ésta humedad termine condensada en la cara interna del estuco, lo cual provocaría el desprendimiento de éste. En contraste a esto, un estuco con cal, yeso, o tierra y coloreado con una lechada de cal o tierra de color que puede resultar más permeable, permitirá la evaporación natural de la humedad y un alto nivel en el cambio de aire.

Por último, se debe destacar que el alto nivel de cambio de aire proporcionado por un sistema de muro permeable, crea un vital y saludable ambiente interior. Existe un amplio rango de estucos que puede ser usado en conjunto con muros de fardos. La elección del estuco, dependerá de la dureza deseada, nivel de mantenimiento, textura y exposición al tacto. Los estucos de cemento buscan minimizar el mantenimiento, pero sacrifican muchas propiedades deseables para los muros de fardos. Los estucos suaves como los de tierra y yeso, son más agradables al tacto, fáciles de reparar, de clavar y son buen aislante acústico, pero en cambio no son tan fáciles de limpiar como algunos estucos de cemento, los cuales son más fríos, ásperos al tacto, duros para clavar sobre ellos y difíciles de reparar y poseen pocas propiedades acústicas.

El estucado en muros de fardos, a diferencia de los estucos en otros materiales, puede ser más costoso. La superficie irregular y las pequeñas cavidades entre los fardos, hacen necesario más cantidad de estuco. El cuidado extra, es mantener los muros compactos y aplomados durante su armado, a fin de evitar muros

irregulares. No es recomendable el uso de barrera de vapor debajo del estuco, dado que éste, no permite la adecuada transpiración de los muros, la cual es recomendada sólo para las dos primeras hiladas de la base del muro.

Figura 3.63. Colocación segunda capa de estuco en base a arcilla.

Figura 3.64. Colocación afinado.
Fuente: Autores.

Aplicar varias manos, es la faena que demanda más tiempo en una construcción que usa fardos. Se aplican tres capas. La primera capa es la más difícil de colocar, porque es la que debe nivelar la superficie de los muros, rellenando las cavidades o hendiduras en los fardos. El estuco puede ser aplicado a mano, por medio de una plana o llana, sin embargo, ésta labor es una de las que lleva más tiempo.

En las casas de fardos construidas bajo el sistema Nebraska, el proceso de estucado debe ser atrasado entre dos semanas a un mes, ya que el muro de fardos debe aguantar el peso de la techumbre y asentarse. Éstos pesos, hacen que el fardo sufra una compresión (de no más de 5 cm.) por lo que si el estucado es instantáneo, éste se agrietaría. Para evitar que esto ocurra y poder realizar un estucado en forma instantánea, es que se somete el muro al proceso de asentamiento forzado, no ocurre lo mismo cuando la casa es estructurada bajo el sistema “no auto-portante”, pues en este caso el estucado puede ser casi instantáneo, ya que el peso de la techumbre se concentra en los pilares.

El estuco más común, es el mortero de cemento, puede ser usado sin problemas. Las dosificaciones pueden ser de 1:2 ó 1:3 más un aditivo impermeabilizante. En una primera etapa, se aplica estuco para tapar los agujeros que puedan quedar entre los fardos, marcos de puertas o soleras, éste procedimiento se realiza a mano, mezclando mortero con paja, luego se aplica la primera capa de estuco a toda la superficie del muro, ésta capa

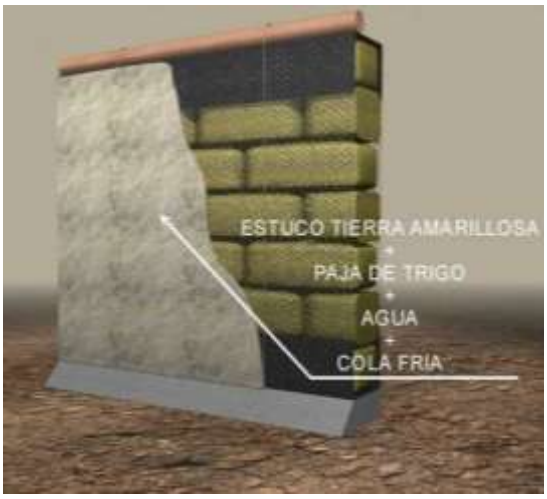


Figura 3.65. Ejemplo de estuco, Primera capa.

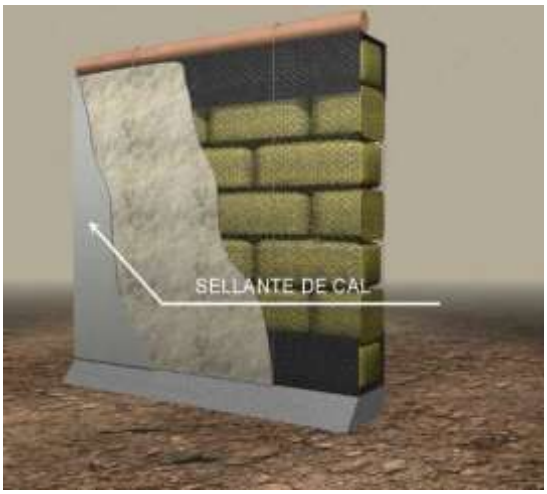


Figura 3.66. Segunda capa.

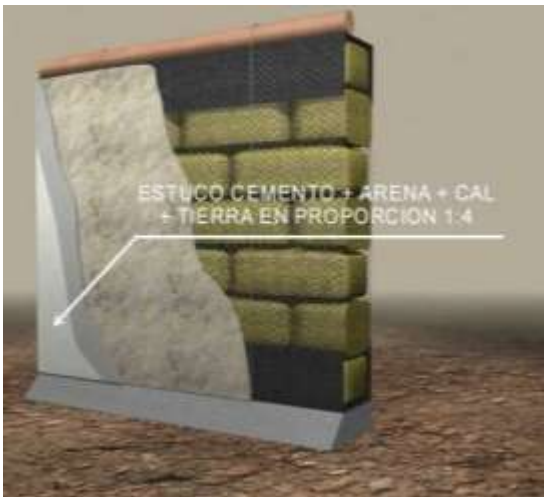


Figura 3.67. Tercera capa.

también es aplicada a mano, es decir, sin ser chicoteada, y se coloca antes de la instalación de la malla base.

La segunda capa de estuco se coloca sobre la malla, cubriendo todas las caras de los fardos de paja, incluyendo vanos de puertas y ventanas. También se pueden usar revestimientos a base de arcilla, éstos son una mezcla de fino suelo arcilloso con suficiente arena finamente cernida, en una relación de tres o cinco de arena a uno de suelo arcilloso. La arcilla se aplica en 3 capas; la primera es de arcilla, la segunda es una mezcla de arcilla con paja y una tercera sólo con arcilla, a esta última se le pueden agregar colores para dar un mejor acabado.

Uno de las recetas utilizadas en Chile, consiste en colocar una primera capa de adobe y sobre éste un sellante de cal, en una segunda capa se incorpora mortero con cal hidráulica al exterior; y al interior se aplica pasta de muro.

El espesor de las capas de revestimiento, dependerá de cuán parejo sean los fardos, pero en gran medida dependerán del diámetro que tengan las canalizaciones que pasan por el muro, pudiendo ir desde los 1,5 cm. a los 5 cm. aproximadamente, dependiendo si se trata de revestimiento interior o exterior.

Por las características que presentan los estucos, es necesario aumentarles su elasticidad mediante la incorporación de fibras. Las fibras, aumentan la resistencia reduciendo la

Figura 3.68. Estuco mezclado con paja.
Fuente: Autores.

posibilidad de recogimiento de la mezcla. Las características que deben presentar son: resistencia a la tracción, poseer una buena adherencia con las arcillas, que no absorban mucha agua, ser fáciles de mezclar y trabajar en capas bien delgadas, y que no sean afectadas por la putrefacción. Se han empleado tradicionalmente para estucos en la albañilería de adobe, las fibras de paja y aserrín para incorporar resistencia a estos.

3.6. - Instalaciones /.

La distribución eléctrica, de agua potable y alcantarillado, no tiene grandes diferencias respecto de las usadas en viviendas convencionales.

3.6.1.- Instalación Alcantarillado y Agua Potable /.

Figura 3.69. Canalización de alcantarillado, a través de muro.

Figura 3.70. Canalización de alcantarillado a través de piso.

Con los respectivos planos, se ejecuta la instalación en el momento de la Obra Gruesa, dejando las cañerías para el posterior montaje de los artefactos.

Si el sitio de la construcción no estuviera urbanizado, se deberá construir una cámara de alcantarillado con un buen drenaje de aguas servidas y el agua potable extraerse mediante un pozo de la napa más cercana.

Para canalizaciones de alcantarillado, pueden utilizarse cañerías de pvc y en agua potable se utilizan tanto cañerías de cobre como de pvc. Preferentemente se debe evitar la instalación de las redes de agua potable en los muros de fardos, ya que el agua es el principal enemigo de éstos y las fugas que puedan darse durante su vida útil garantizan la eventual aparición de hongos y pudrición. Éste tipo de canalizaciones, pueden ir empotradas en el piso, por las paredes interiores o por un muro paralelo al principal, en el cual su lado interior sea de un material impermeable y proteja al muro de fardos en caso de filtraciones, éste muro adosado, permitiría efectuar reparaciones manteniéndose aislado.

En el caso de que una tubería deba pasar forzosamente por las paredes, se recomienda revestirlas con una funda de plástico, a modo de precaución.

3.6.2.- Instalación Eléctrica /.

Figura 3.71. Canalización eléctrica embutida en los muros.

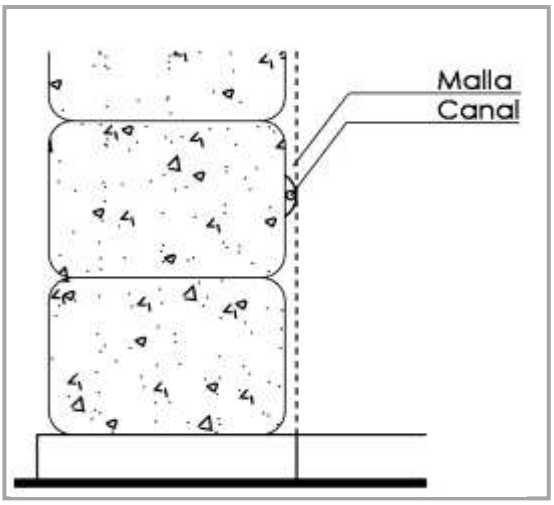


Figura 3.72. Canalización embutida en los muros.

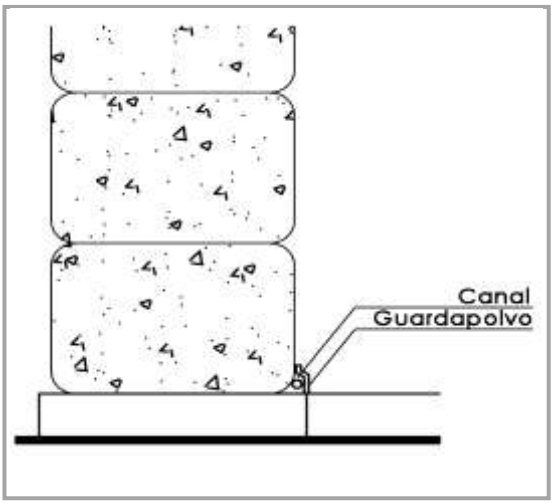


Figura 3.73. Canalización por guardapolvos.

En canalizaciones eléctricas, se puede utilizar la tubería de pvc que cumple con la normativa vigente, ya que es un material que tiene propiedades especiales contra el fuego; destacando principalmente que no se prende al contacto con la llama. Las alternativas más comunes son las siguientes:

Instalación embutida en los muros: los ductos de las instalaciones eléctricas se deben embutir entre el fardo y la malla hexagonal, con el cuidado de proteger al fardo con una capa de revoque de barro. Estos canales se engancharán con alambres a la malla y quedarán estucadas para protegerlos del fuego.

Instalación conducida por guardapolvos: se canaliza la instalación por el pie de muro, y luego se cubre con los guardapolvos. La llegada a interruptores o enchufes se debe embutir (por medio del sistema anterior). De esta forma es más práctico acceder a la instalación por ende más fácil intervenirla.

Lo importante es recordar que los ductos deben ser colocados en los muros, antes de proceder a recibir el revoque final, evitando así la instalación de tuberías directamente sobre los fardos, ya que al colocar la malla hexagonal y comprimirla, los tubos podrían sufrir alguna fisuras que pondrían en peligro los fardos al quedar éstos en posible contacto con los cables eléctricos.

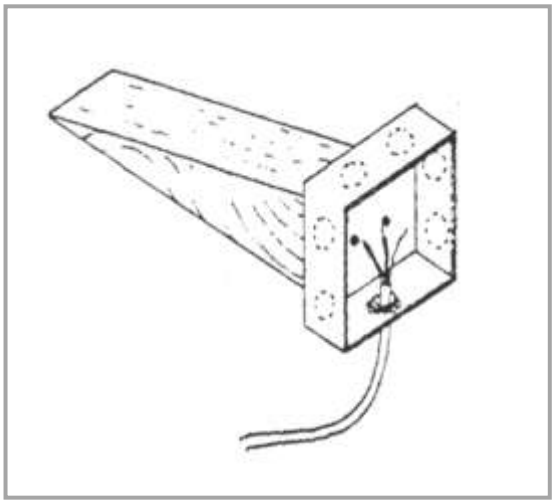


Figura 3.74. Caja eléctrica unida a estaca.

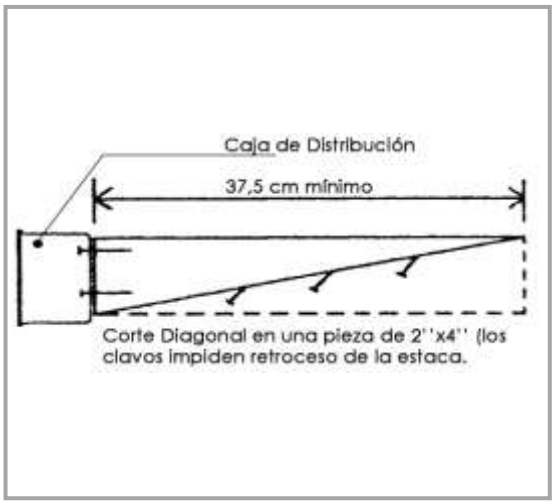


Figura 3.75. Dimensiones estaca.

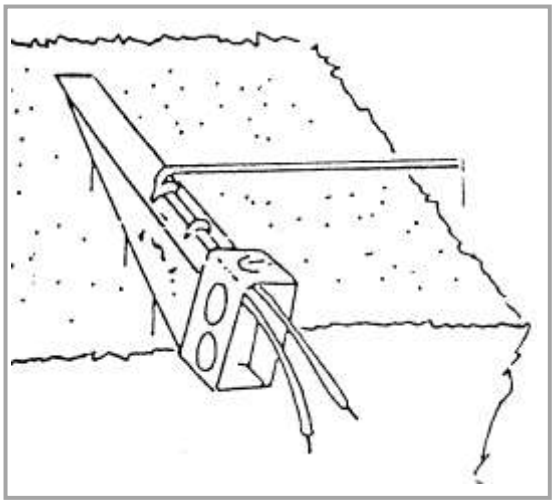


Figura 3.76. Instalación caja eléctrica con estaca.

Para embutir las cajas eléctricas para interruptores y enchufes, se puede aplicar el siguiente procedimiento. Consiste en clavar las cajas a estacas de madera y colocarlas a la altura requerida, éstas últimas son sólidamente introducidas en cavidades de los fardos, antes de que el muro sea estucado. Éstas deben ser enterradas en el muro al menos 2/3 de su ancho. Además, las estacas deben llevar clavos a medio enterrar con una inclinación inversa al sentido de introducción al muro, que evita que la estaca retroceda o se salga al aplicar presión. Para prevenir un incendio,se puede echar o aplicar un retardador de fuego tal como arcilla detrás de las cajas de empalmes, luces y otras fuentes de calor.

El tablero de alumbrado (TDA), se instala sobre un encofrado de madera, éste es embutido en un sacado del muro, el cual debe estar previamente revocado con estuco.

Para embutir los ductos plásticos que llevarán los cables eléctricos o de instalaciones especiales (teléfono, cable, citófono, etc.), los fardos pueden ser desbastados con sierra eléctrica, taladro o galletera a fin de fabricar un surco mínimo no muy profundo para ser colocados. Al realizar ésta faena, se deberá tener especial cuidado de no cortar los alambres que empacan los fardos, ni las tiras que los comprimen. Luego, estos ductos pueden ser amarrados con alambre al preparar el muro para recibir el estuco. Otra posibilidad es amarrar los ductos a la malla que soportará el estuco.

3.7.-Otros /.

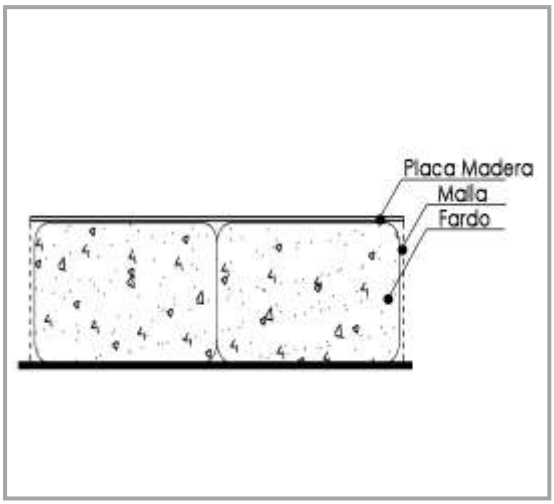


Figura 3.77. Muebles en Obra.

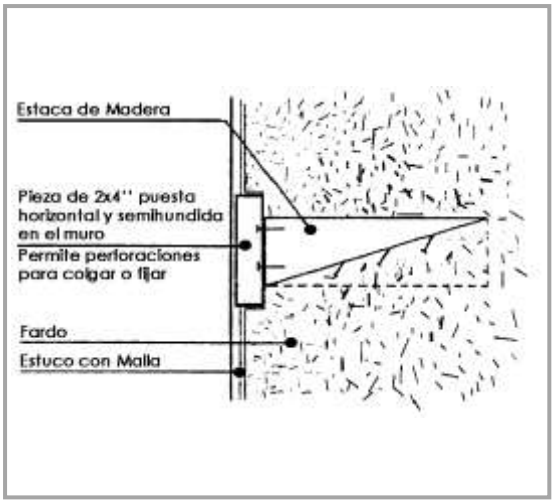


Figura 3.78. Estaca para cuadrícula en muro.

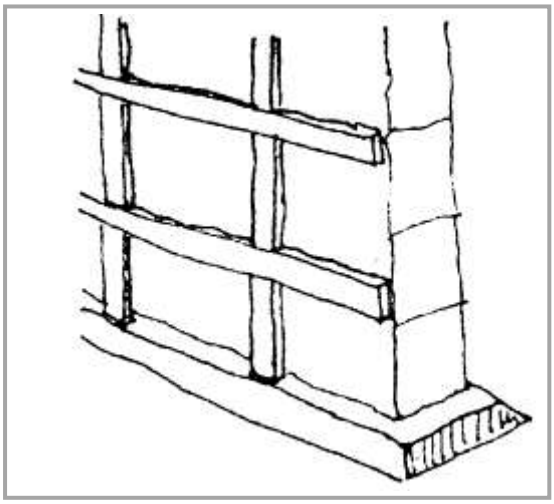


Figura 3.79. Cuadrícula para colgar cuadros.

Muebles en Obra: Con la misma estructura de los muros, es posible hacer asientos, mesas y hasta camas en obra ahorrando en comprar mobiliario, pero con el inconveniente de que estos elementos queden fijos.

Se recomienda poner en la superficie de apoyo de los muebles, una plancha de mínimo 6mm. de espesor para rigidizar su estructura.

Colgar Cuadros: Se propone emplazar entre el fardo y la malla una cuadrícula de madera o metálica, que opere como soporte del montaje de cuadros u otros elementos colgantes.

Después de estucar el muro, es preferible marcar esta cuadrícula con orificios, embutiendo tarugos y luego cubriendo con una tapa en el tiempo que no se ocupen.

CAPITULO IV:
Ensayo en Laboratorio de Ciencias de la Construcción._

4.1.-Ensayo de un Sistema Constructivo con Fardos de Paja en Cámara Térmica /.

Figura 4.1. Cámara Térmica. Fuente: Autores

Figura 4.2. Termocuplas. Fuente: Autores

''La Cámara Térmica determina el valor de transmitancia térmica (U) del elemento que se estudió, es decir, mide la cantidad de energía que se pierde por metro cuadrado, por cada grado de diferencia de temperatura entre el exterior y el interior''.

Se ensayó el sistema constructivo con fardos de paja en la cámara térmica del ''Laboratorio de Ciencias de la Construcción'' ubicado en nuestra Universidad, con la finalidad de determinar la transmitancia térmica del panel (U).La cámara, se compone de dos lados, uno caliente y otro frío, generando un flujo de calor provocado por la diferencia de temperatura entre estas partes. El primero, es calentado por medio de dos calefactores y el segundo, enfriado por medio de aire acondicionado. Las termocuplas se fijan en puntos específicos y son las encargadas de tomar las lecturas en diferentes horarios para poder determinar el valor de U (Transmitancia Térmica).

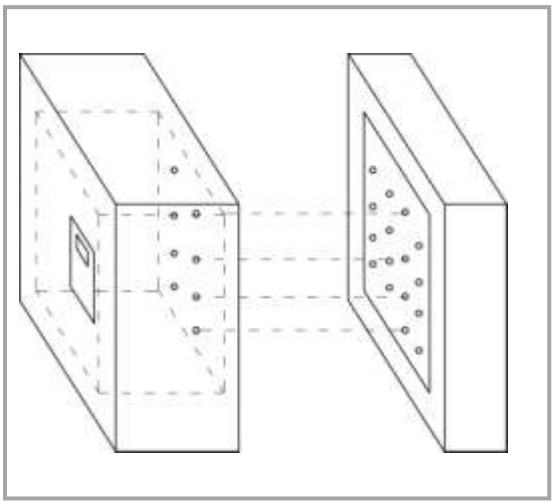


Figura 4.3. Esquema disposición termocuplas lado frio en cámara térmica.

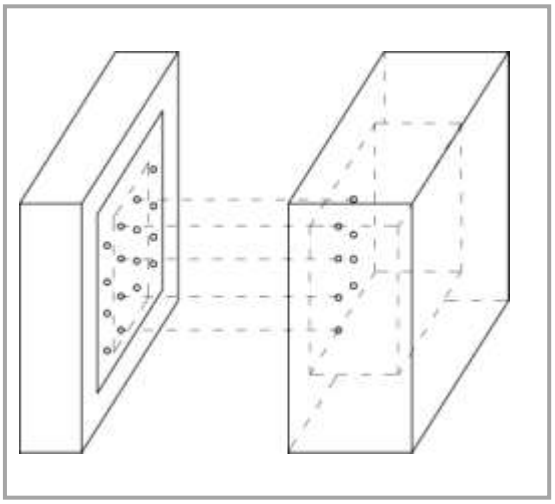


Figura 4.4. Esquema disposición termocuplas lado caliente en cámara térmica.

4.1.1.-Descripción del Ensayo /.

Figura 4.5. Doble anillo en cámara térmica. Fuente: Autores

La muestra que se realizó en la cámara térmica, debía ser insertada dentro de un anillo de dimensiones 1.35 mt.de alto por 0.95 mt. de ancho y 0.30 mt. de espesor. Por lo que se unieron dos de estos anillos para que el muro fuera de 0.55 mt. de espesor y la muestra entrara sin problemas. (foto anillo).

Para llevar a cabo la muestra se utilizaron los siguientes materiales:

- Marco de OSB 15 mm (muestra se realizó dentro de este marco el que luego se insertó en los anillos).
- 4 Fardos de paja de trigo (los que fueron cercenados, ya que el ancho de la muestra era inferior al ancho de los fardos)
- Malla gallinero galvanizada ¾”
- Arcilla
- Arena.

Figura 4.6. Marco OSB. Fuente: Autores

Figura 4.7. Fardos de paja. Fuente: Autores

Figura 4.8. Malla gallinero galvanizada ¾”. Fuente: Autores

4.1.2.-Proceso constructivo del muro /.

Figura 4.9. Paso 1: Se construyó el marco con las placas de OSB.

Figura 4.10. Paso 2: Se cercenó los fardos de paja con motosierra.

Figura 4.11. Paso 3: Montaje de fardos dentro del marco.

Figura 4.12. Paso4: Se colocó la malla de gallinero por ambos lados, en toda el área del muro.

Figura 4.13. Paso 5: Primera capa de estuco (arcilla + arena + paja + agua).

Figura 4.14. Paso 6: Segunda capa: afinado (arcilla + arena + paja fina + agua).

Fuente: Autores

Figura 4.15. Primer estuco.
Fuente: Autores

Figura 4.16. Segundo estuco (afinado)
Fuente: Autores

Figura 4.17. Muro en Cámara Térmica.
Fuente: Autores

La primera mezcla de estuco se constituyó por:

- 1 Parte de arcilla
- 2 ½ Partes de arena
- Volumen de Paja (formado por los primeras dos partes)
- Agua.

El espesor de este estuco fue de 2.5 cm. Una vez que esta primera mezcla se aplicó por ambos lados, se cubrió con un plástico para que el muro se secara lentamente y evitando que se quebrajara (curado del muro).

El afinado cuenta con:

- 1 Parte de arcilla
- 3 Partes de arena
- Volumen Paja corta o aserrín (formado por las primeras dos partes)
- Agua.

El espesor de esta segunda capa es de 1.5 cm. Esta mezcla se aplicó después de dos semanas puesta la primera.

Aproximadamente dos semanas más tarde, el muro estuvo en condiciones óptimas de humedad (12% H) para ser puesto en la cámara térmica, terminando de secarse en su interior.

Luego la medición se efectuó durante tres días en el mes de febrero del año 2010.

4.2.-Mediciones ensayo de determinación coeficientes de Transmisión Térmica /.

Registro n° 1: Determinación Coeficientes de Transmisión Térmica
Medición día 1
Fecha: 15-02-2010.

REGISTRO RT - AA - 003							**N° Correlativo 000**
"Mediciones ensayo de detrminación coeficientes de transmisión térmica"							
Solicitado por		Muro de Fardo			Empresa		
Descripción probeta							
Numero probeta				Confección Probeta		:	
Fecha inicio ensayo		:			Medición Nº	:	5
Fecha de medición		:	15-02-2010		Hora medición	:	16:00
Lecturas Termopila				Disposición Termocuplas Camara de Medición			
Lectura Nº 1	L1 (mv)		0,202				
Lectura Nº 2	L2 (mv)		0,203		*1	*5	
Constante Termopila	M (W/mv)		12,5				
Fuerza Termoeléctrica	E (mv)		0,203		*2	*6	
Corrección flujo Térmico	ϕ 1 (W)		2,531				
Area de Medición	A (m2)		0,720		*3	*7	
Intensidad de Corriente	I (amper)		0,555				
Voltaje	V (Volts)		18,45		*4	*8	
Flujo Térmico Camara Medición	ϕ2 (W)		10,2				
Flujo Térmico Corregido	ϕ (W)		7,709	(*) = Superficie Muro			
TEMPERATURA SUPERFICIE MURO LADO CALIENTE				TEMPERATURA SUPERFICIE MURO LADO FRIO			
Termocupla		Termocupla		Termocupla		Termocupla	
1	32,81	17	0,00	1	7,19	17	0,00
2	31,90	18	0,00	2	6,03	18	0,00
3	31,02	19	0,00	3	5,95	19	0,00
4	30,16	20	0,00	4	5,62	20	0,00
5	32,69			5	7,87		
6	31,57			6	6,58		
7	31,02			7	5,80		
8	30,36			8	5,47		
Promedio temp. superficie lado caliente(ºc			**31,44**	Promedio tem. superficie lado frio(ºc)			**6,31**
TEMPERATURA AIRE LADO CALIENTE				TEMPERATURA AIRE LADO FRIO			
Termocupla(ºc)				Termocupla(ºc)			
9	33,37	21	0,00	9	5,92	21	0,00
10	33,19	22	0,00	10	5,72	22	0,00
11	32,89	23	0,00	11	5,37	23	0,00
12	32,76	24	0,00	12	5,19	24	0,00
13	33,32			13	6,20		
14	33,09			14	6,05		
15	32,97			15	7,09		
16	32,41			16	7,65		
Promedio temp. aire lado caliente (ºc)			**33,00**	Promedio temp. aire lado frio(ºc)			**6,15**
Lecturas T.C (ºC)		Lectura Nº 1	Lectura Nº 2	Termómetro (ºC)			
Cám.de medición		32,74	32,76	Cámara de guarda			31
Cám.de guarda		31,83	31,85	Cámara fria			2

Figura 4.18. Registro n°1 Determinación de Coeficientes de Transmisión Térmica.

Registro n° 2: Determinación Coeficientes de Transmisión Térmica
Medición día 2
Fecha: 16-02-2010.

REGISTRO RT - AA - 003							N° Correlativo 000
"Mediciones ensayo de detrminación coeficientes de transmisión térmica"							
Solicitado por		Muro de Fardo			Empresa		
Descripción probeta							
Numero probeta				Confección Probeta		:	
Fecha inicio ensayo		:			Medición Nº	:	4
Fecha de medición		:	16-02-2010		Hora medición	:	14:00
Lecturas Termopila				Disposición Termocuplas Camara de Medición			
Lectura Nº 1	L1 (mv)		0,234				
Lectura Nº 2	L2 (mv)		0,235		*1	*5	
Constante Termopila	M (W/mv)		12,5				
Fuerza Termoeléctrica	E (mv)		0,235		*2	*6	
Corrección flujo Térmico	ϕ 1 (W)		2,931				
Area de Medición	A (m2)		0,720		*3	*7	
Intensidad de Corriente	I (amper)		0,555				
Voltaje	V (Volts)		18,45		*4	*8	
Flujo Térmico Camara Medición ϕ2	(W)		10,2				
Flujo Térmico Corregido	ϕ (W)		7,309	(*) = Superficie Muro			
TEMPERATURA SUPERFICIE MURO LADO CALIENTE				TEMPERATURA SUPERFICIE MURO LADO FRIO			
Termocupla		Termocupla		Termocupla		Termocupla	
1	32,69	17	0,00	1	6,74	17	0,00
2	31,83	18	0,00	2	5,75	18	0,00
3	31,12	19	0,00	3	5,72	19	0,00
4	30,11	20	0,00	4	5,47	20	0,00
5	32,56			5	7,44		
6	31,50			6	6,33		
7	31,07			7	5,77		
8	30,36			8	5,55		
Promedio temp. superficie lado caliente(ºc			**31,40**	Promedio tem. superficie lado frio(ºc)			**6,10**
TEMPERATURA AIRE LADO CALIENTE				TEMPERATURA AIRE LADO FRIO			
Termocupla(ºc)				Termocupla(ºc)			
9	31,93	21	0,00	9	5,75	21	0,00
10	31,70	22	0,00	10	5,77	22	0,00
11	31,42	23	0,00	11	5,52	23	0,00
12	31,35	24	0,00	12	5,55	24	0,00
13	31,83			13	6,30		
14	31,60			14	5,87		
15	31,45			15	5,85		
16	31,04			16	6,05		
Promedio temp. aire lado caliente (ºc)			**31,54**	Promedio temp. aire lado frio(ºc)			**5,83**
Lecturas T.C (ºC)		Lectura Nº 1	Lectura Nº 2	Termómetro (ºC)			
Cám.de medición		31,27	31,30	Cámara de guarda			31
Cám.de guarda		29,98	30,00	Cámara fria			2

Figura 4.19. Registro n°2 Determinación de Coeficientes de Transmisión Térmica.

Registro n°3: Determinación Coeficientes de Transmisión Térmica
Medición día 3
Fecha: 17-02-2010.

REGISTRO RT - AA - 003							N° Correlativo 000
"Mediciones ensayo de detrminación coeficientes de transmisión térmica"							
Solicitado por	Muro de Fardo			Empresa			
Descripción probeta							
Numero probeta				Confección Probeta		:	
Fecha inicio ensayo		:		Medición Nº		:	6
Fecha de medición		:	17-02-2010	Hora medición		:	18:00
Lecturas Termopila				Disposición Termocuplas Camara de Medición			
Lectura Nº 1	L1 (mv)		0,231				
Lectura Nº 2	L2 (mv)		0,232		*1	*5	
Constante Termopila	M (W/mv)		12,5				
Fuerza Termoeléctrica	E (mv)		0,232		*2	*6	
Corrección flujo Térmico	ϕ 1 (W)		2,894				
Area de Medición	A (m2)		0,720		*3	*7	
Intensidad de Corriente	I (amper)		0,555				
Voltaje	V (Volts)		18,45		*4	*8	
Flujo Térmico Camara Medición ϕ2	(W)		10,2				
Flujo Térmico Corregido	ϕ (W)		7,346	(*) = Superficie Muro			
TEMPERATURA SUPERFICIE MURO LADO CALIENTE				TEMPERATURA SUPERFICIE MURO LADO FRIO			
Termocupla		Termocupla		Termocupla		Termocupla	
1	33,12	17	0,00	1	6,84	17	0,00
2	32,31	18	0,00	2	6,13	18	0,00
3	31,73	19	0,00	3	6,23	19	0,00
4	30,69	20	0,00	4	6,08	20	0,00
5	33,02			5	7,34		
6	32,06			6	6,56		
7	31,65			7	6,20		
8	30,89			8	6,10		
Promedio temp. superficie lado caliente(ºc			**31,93**	Promedio tem. superficie lado frio(ºc)			**6,43**
TEMPERATURA AIRE LADO CALIENTE				TEMPERATURA AIRE LADO FRIO			
Termocupla(ºc)				Termocupla(ºc)			
9	33,75	21	0,00	9	6,05	21	0,00
10	33,57	22	0,00	10	6,25	22	0,00
11	33,30	23	0,00	11	6,36	23	0,00
12	33,17	24	0,00	12	6,46	24	0,00
13	33,68			13	6,61		
14	33,45			14	6,28		
15	33,40			15	6,51		
16	32,87			16	6,68		
Promedio temp. aire lado caliente (ºc)			**33,40**	Promedio temp. aire lado frio(ºc)			**6,40**
Lecturas T.C (ºC)		Lectura Nº 1	Lectura Nº 2	Termómetro (ºC)			
Cám.de medición		33,17	33,19	Cámara de guarda			31
Cám.de guarda		31,85	31,88	Cámara fria			2

Figura 4.20. Registro n°3 Determinación de Coeficientes de Transmisión Térmica.

4.2.1.-Determinación de U del Panel.

El ensayo en la cámara térmica duró 3 días, con lecturas tomadas cada 2 horas entre las 8:00 AM a las 18:00 PM, en el que se consideraron sólo los valores positivos que la esta arrojó, luego se procedió a determinar el valor de U, mediante la Nch. 853 Of 91, que dice que para determinar un U entre todos los valores obtenidos, el elegido será el que no supere a los demás en el 1%.

Medición Día 1
15-02-2010

RESULTADOS: 1			
CONDUCTANCIA TERMICA	**C**	0,446	(W /m2xºk)
TRANSMITANCIA TERMICA	**U**	0,404	(W /m2xºk)
RESULTADOS: 2			
CONDUCTANCIA TERMICA	**C**	0,419	(W /m2xºk)
TRANSMITANCIA TERMICA	**U**	0,377	(W /m2xºk)
RESULTADOS: 3			
CONDUCTANCIA TERMICA	**C**	0,426	(W /m2xºk)
TRANSMITANCIA TERMICA	**U**	0,399	(W /m2xºk)
RESULTADOS: 4			
CONDUCTANCIA TERMICA	**C**	0,431	(W /m2xºk)
TRANSMITANCIA TERMICA	**U**	0,401	(W /m2xºk)

Transmitancia Térmica (U)
Valores Subtotales
U sub = 0.404, 0.377, 0.399, 0.401

Medición Día 2
16-02-2010

RESULTADOS : 1			
CONDUCTANCIA TERMICA	**C**	0,425	(W /m2xºk)
TRANSMITANCIA TERMICA	**U**	0,399	(W /m2xºk)
RESULTADOS: 2			
CONDUCTANCIA TERMICA	**C**	0,413	(W /m2xºk)
TRANSMITANCIA TERMICA	**U**	0,375	(W /m2xºk)
RESULTADOS: 3			
CONDUCTANCIA TERMICA	**C**	0,401	(W /m2xºk)
TRANSMITANCIA TERMICA	**U**	0,395	(W /m2xºk)

Transmitancia Térmica (U)
Valores Subtotales
U sub= 0.399 , 0.375

Medición Día 3
17-02-2010

RESULTADOS: 1			
CONDUCTANCIA TERMICA	**C**	0,400	(W /m2xºk)
TRANSMITANCIA TERMICA	**U**	0,378	(W /m2xºk)

Transmitancia Térmica (U)
Valor Subtotal
U sub= 0.378

Resultados Subtotales: 0.404,0.377, 0.399, 0.401, 0.399 ,0.375, 0.378
Resultado Total: 0.378 **= U=** 0.38 (W/ m2xk).

4.2.2.-Análisis Térmico Comparativo con tabla Zonificación Térmica Nacional /.

En la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C.), se establece las exigencias de acondicionamiento térmico para los complejos de techumbre, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados, entendidos como elementos que constituyen la envolvente de la vivienda, estos deberán tener una Transmitancia Térmica (U), igual o menor, a la señalada para la zona específica a la que corresponda el proyecto de arquitectura , de acuerdo a los planos de zonificación térmica aprobados por resoluciones del Ministerio de vivienda y Urbanismo y a la siguiente tabla:

	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
ZONA	U	Rt	U	Rt	U	Rt
	W/m2K	m2 K/W	W/m2K	m2 K/W	W/m2K	m2 K/W
1	0,84	1,19	4	0,25	3,6	0,28
2	0,6	1,67	3	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,7	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,6	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,5	2
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4	0,6	1,67	0,32	3,13

Figura 4.21. Reglamentación Térmica
Transmitancias y Resistencias térmicas según mapas de zonificación térmica.

El ensayo se consideró para la zona térmica 4, el cual estableció que el máximo valor de la transmitancia térmica para muros perimetrales es de 1,7 W/m2K. De lo siguiente podemos señalar que el sistema (fardos de paja +estuco+ afinado) que se ensayó obtuvo un valor de **U= 0.38 W/ m2xK** , el cual superó 5 veces más, el exigido en dicha zona, al comparar el valor obtenido experimentalmente con el de la tabla, se dedujo que un muro construido con fardos de paja de espesor 50cm. más el revoque interior y exterior, aportaría la condiciones óptimas para que no se produzca condensación superficial en el ambiente interior de una vivienda, disminuyendo así enormemente los costos de calefacción y de refrigeración. Si se compara con otras zonas térmicas como la 7, en que el valor de U es de 0,6 W/m2K también se concluyó que el valor obtenido es 1.5 veces mejor que el mínimo exigido, por lo que las exigencias térmicas analizadas con anterioridad se superaron con creces, otorgando beneficios térmicos incomparables a este sistema constructivo e incluso monetarios, lo que permite minimizar costos a la hora de temperar ambientes, evitando usar tecnologías que en su mayoría son de carácter contaminante.

4.3.-Análisis Comparativo de U entre Solución Constructiva de fardos de paja y Solución Constructiva de madera.

Luego de estos resultados positivos y beneficiosos del sistema, se procedió a comparar térmicamente una solución constructiva de fardos de espesor 55cm. con una solución constructiva en madera de 8cm. de espesor establecida en el ''Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico'' publicado por el MINVU.

Se escogió dicha solución constructiva, debido que el lugar en que se hicieron las mediciones anteriores fueron hechas en el sector de los Lleuques, el cual se encuentra en la zona térmica 4, restringiendo la medición sólo a dicha zona.

Por lo general las viviendas hechas de fardos de paja se encuentran en zonas que exista dicha materia prima, es decir, sectores rurales alejados del centro de la ciudad, en las que priman las construcciones fabricadas en madera.

Código 1.2.M.C9	Muro Tabique perimetral estructura de madera con aislación térmica de poliestireno expandido. Revestimiento interior: placa de madera tipo OSB de 9.5 mm de espesor. Revestimiento exterior: placa de fibrocemento de 6 mm de espesor.

A. Único valor de Resistencia (Rt) y Transmitancia (U) Térmica para la solución constructiva

RESISTENCIA TERMICA (Rt):	1.58 (m² °K/ W)	TRANSMITANCIA TERMICA (U)	0.63 (W/m² °K)

Descripción de la Solución Constructiva	Genérico	----	Marca Comercial	X

Muro-tabique perimetral exterior con aislación térmica de eps, de 10 kg/m3 de densidad en el núcleo del tabique (estructura de madera con forro exterior e interior). El elemento esta formado por una estructura de madera hecha con listones de pino radiata de 2 x 3 " cepillado. Consta de pie-derechos distanciados entre ejes a 0.60 m aproximadamente, tres cadenetas separadas entre ejes a 0.60 m, y una solera inferior y otra superior. Esta estructuración de madera está forrada por una cara, que limita al exterior, con una plancha de fibrocemento de 6 mm de espesor. La otra cara está forrada con una placa de madera tipo OSB de 9.5 mm de espesor que se dispone por el lado interior del espacio habitado. Todo el conjunto está atornillado a la estructura de madera. Tal configuración deja espacios libres en el interior del elemento, los cuales están rellenos con planchas planas de poliestireno expandido de 10 kg/m3 y un espesor de 50 mm. el espesor total del elemento resulta ser de 81 mm aproximadamente

Notas: Entre la estructura de madera y el forro que se fija por el lado interior sobre esta estructura debe ir colocada una barrera de vapor (por ejemplo, laminas de polietileno de 0.05 o 0.10 mm espesor). Este tabique forrado que conforma el muro perimetral exterior envolvente podrá ser revestido adicionalmente y/o reforzado para fines de terminación, estéticos y/o estructurales, a criterio, factibilidad y especificaciones del profesional proyectista y/o calculista. La barrera de vapor se colocará siempre lo más próxima al revestimiento de terminación que queda a la vista estética hacia el espacio habitado interior (un revestimiento adherido sobre el plano portante definitivo y a la vista puede ser también la barrera de vapor, como por ejemplo, papeles murales lavables, pinturas impermeables, revestimientos vinílicos, etc).

Corte:

Detalle (opcional)

Figura 4.22. Listado Oficial de Soluciones Constructivas MINVU; Muro Tabique Perimetral Estructura de Madera.

SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	U	VALOR	UNIDAD
TABIQUERIA MADERA	U	0,63	(W /m2 x °K)
FARDOS DE PAJA	U	0,38	(W /m2 x °K)

Figura 4.24. Tabla comparativa de U.

Con esto se concluyó que la Transmitancia Térmica de la solución constructiva en fardos es 1.7 veces mejor que la solución de tabiquería en madera, esto significa que una solución constructiva construida en fardos de paja de espesor 50cm. más su revoque interior y exterior, aporta la condiciones óptimas para que en el ambiente interno no se produzca condensación superficial.

Esquematización.

a) Transmitancia térmica es:

U= W/ m2× Δ T

Datos:
T° exterior = 10°
T° interior = 21°
Δ T° =11°
M2 = 1
U panel de madera= 0,63 W/m2x°k
U panel de fardos = 0,38 W/m2x°k

Muro de Fardos de Paja:
U= W/ m2× Δ T
0,38= W/1x11

Resultado
W=4,18 watt.

Muro de Fardos de Paja:
U= W/ m2× Δ T
0,63= W/1x11

Resultado
W=6,93 watt.

b) Considerando que el Confort térmico de una vivienda 21° C, tomaremos de ejemplo las siguientes temperaturas:

- Temperatura Interior = 21°C
- Temperatura Exterior = 10°C

Se concluyó así que un m2 de superficie de fardos de paja, libera 4,18 watt de energía con una temperatura de confort térmico interior de 21°C mientras que el muro de madera libera 6,93 watt de energía por m2, es decir, un m2 de muro de tabiquería en madera pierde 2,75 watt más de energía que uno de fardos de paja, en las mismas condiciones de temperatura.

4.4.- Conclusiones del Ensayo /.

- Las particularidades de los fardos se ven demostradas con los ensayos expuestos, donde la transmitancia térmica obtenida presenta un valor cercano a cero; bajo estas características un muro de fardos resulta ser una posible alternativa de edificación, para cualquiera de las 7 zonas térmicas presentes en el país.

- Además se concluyó que son enormes los beneficios comparativos en cuanto a la transmitancia térmica que tiene el material.

- Gracias a su bajo valor de U como sistema constructivo en comparación a otros sistemas y a la misma zona en la que se encuentra, se requiere un menor costo económico para aislar dicha solución constructiva, lo que trae como consecuencia un costo cero en la calefacción o refrigeración de los ambientes.

- Los fardos resultan ser una buena alternativa para elevar la calidad de la vivienda, especialmente en el sector rural, ya que es en estos sectores donde se encuentran las viviendas más pobres y menor calidad habitacional, por otro lado se tiene a favor que el gran espesor de los muros no es una limitante en estos sectores, ya que en estos lugares se dispone de amplias superficies de terreno para edificar.

- Frente a la problemática del aumento del consumo energético es que el poseer una vivienda con buena aislación adquiere gran relevancia, ayudando a conservar la energía en su interior. Desde este punto de vista el uso de fardos como material de construcción genera un valioso aporte, contribuyendo al ahorro de energía durante la operación de la vivienda.

CAPITULO V:
Caso de Estudio en los Lleuques._

5.1.-Caso de estudio en “Los Lleuques” v/s Casa de Madera /.

Figura 5.1. Emplazamiento casos de estudio.

Figura 5.2. Casa Fardos de Paja.
Fuente: Autores.

Figura 5.3. Casa Madera.
Fuente: Autores.

Para determinar los beneficios térmicos de la construcción con fardos de paja, se analizó un caso de estudio: “Casa Tierra Verde”, en la localidad de los Lleuques, Chillán, Octava región.

Se hizo un análisis térmico in situ comparativo, con una vivienda construida en madera mediante dataloggers, estableciendo dos parámetros de medición: temperatura y humedad.

Las mediciones se efectuaron en dos épocas del año, durante dos días con lecturas tomadas cada cuatro horas.

- Primera: Mes de Julio, año 2009
- Segunda: Mes Enero, año 2010

El propósito del caso de estudio fue constatar las ventajas térmicas que otorga la construcción con este sistema. Para eso se escogió una casa situada en un sector turístico, donde las construcciones en su gran mayoría son cabañas y casas de madera, además de poseer condiciones climáticas opuestas entre verano e invierno, lo que generó grandes oscilaciones térmicas en la zona.

5.1.1.-Descripción Constructiva Casa Fardo de Paja /.

Figura 5.4. Casa en "Tierra Verde", Los Lleuques. Chillán. Fuente: Autores.

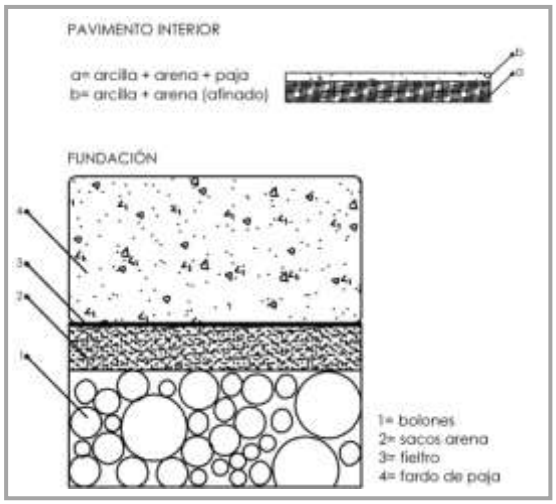


Figura 5.5. Detalles pavimento interior y Fundación. Fuente: Autores.

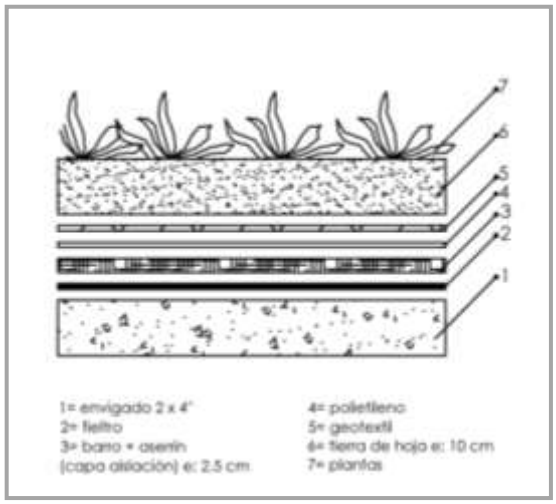


Figura 5.6. Detalle Cubierta. Fuente: Autores.

La casa tiene 60 mt2, de planta circular, con un segundo piso en doble altura.

Los cimientos fueron construidos en base a bolones de tamaños similares además de sacos de arena, y fieltro como barrera de humedad.

El sistema usado en su construcción es el Nebraska, es decir, su cubierta descansa sobre los muros de fardos los cuales fueron amarrados por medio de coligues.

Posee un techo verde, lo que ayuda a absorber una parte importante de las aguas de lluvia, controlando el escurrimiento superficial de éstas. Además de un alero de 1 metro de ancho que está apoyado en piezas de madera empotradas, las que funcionan como pilares generando a su vez un corredor que envuelve el total de la casa.

A un lado de la casa se construyó una bodega con el mismo sistema de la casa, que en estos minutos funciona para almacenar fardos.

5.1.2.-Proceso Constructivo paso a paso Casa fardo de Paja /.

Figura 5.7. Excavación de terreno para instalaciones.

Figura 5.10. Vista de fundaciones.

Figura 5.8. Instalaciones cubiertas con ripio.

Figura 5.11. Ensamble de fardos conjuntamente con vanos de puertas y ventanas.

Figura 5.9. Sacos de arena utilizados como fundación.

Figura 5.12. Vista de fardos y vanos en construcción.

Fuente: Autores y www.facebook.com/tierraverdeloslleuques.

Figura 5.13. Vista de vano ventana.

Figura 5.16. Vista de casa.

Figura 5.14. Envigado de entrepiso.

Figura 5.17. Mezcla de pavimento.

Figura 5.15. Entrepiso madera.

Figura 5.18. Aplicación de primera capa.

Fuente: Autores y www.facebook.com/tierraverdeloslleuques.

Figura 5.19. Instalación vigas de techumbre.

Figura 5.20. Vista de vigas de techumbre.

Figura 5.21. Vista de estructura de techumbre.

Figura 5.22. Vista estructura instalada.

Figura 5.23. Vista del interior de la casa ya estucada.

Figura 5.24. Vista exterior de la casa ya estucada.

Fuente: Autores y www.facebook.com/tierraverdeloslleuques.

Figura 5.25. Vista aislación cubierta.

Figura 5.26. Vista techo verde con entrada de luz.

Figura 5.27. Vista corredor generado por el alero.

Figura 5.28. Vista alero 1 metro de acho.

Figura 5.29. Materia Prima.

Fuente: Autores y www.facebook.com/tierraverdeloslleuques.

5.1.3.-Vivienda en Madera descripción Constructiva /.

Figura 5.30. Casa Madera, Los Lleuques, Chillán. Fuente: Autores.

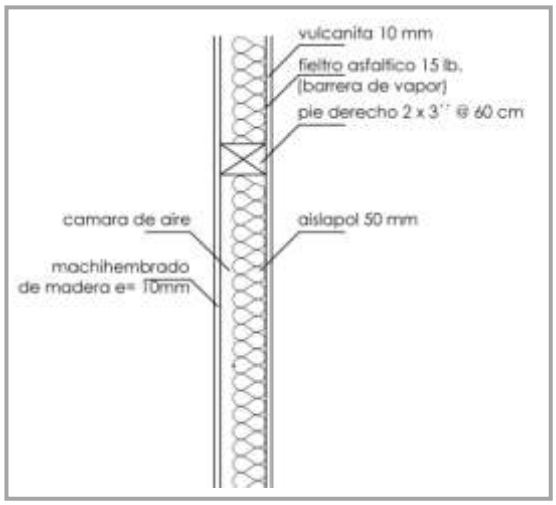


Figura 5.31. Detalle revestimiento muro interior y exterior. Fuente: Autores.

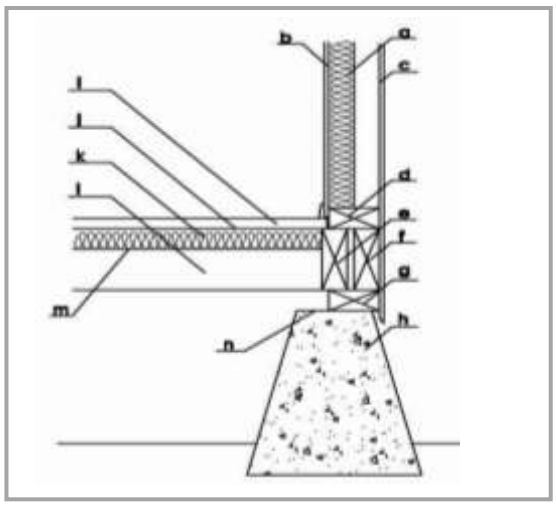
La casa tiene como superficie 70 mt2, de planta rectangular.

Su fundación es en base a poyos de hormigón y tiene como piso un entablado de madera.

El revestimiento interior está compuesta por una placa de vulcanita y en su exterior un machihembrado de madera.

Como estructura de techumbre posee cerchas de madera y como cubierta, planchas de zinc ondulado.

El revestimiento interior de cielo es entablado de madera machihembrado barnizado.



a= aislante 50 mm
b= vulcanita 10mm
c= machihembrado madera
d= solera basal 2x4´´
e= cadeneta
f= friso 2x6´´
g= durmiente
h= poyo hormigón
i= piso entablado madera
j= polietileno
k= aislante 50 mm
l= viga de piso 2 x 6´´
m= malla
n= fieltro.

Figura 5.32. Detalle Fundación. Fuente: Autores.

5.2.- Mediciones con instrumentos dataloggers en Los Lleuques /.

Medición 1

Mes Julio 2009

Temperatura Exterior.

Lectura	Fecha	Hora	Lectura (%H)	Lectura (°C)
1	18-07-2009	2:00:00	100	0,2
2	18-07-2009	6:00:00	100	-0,2
3	18-07-2009	10:00:00	100	4,3
4	18-07-2009	14:00:00	100	6,3
5	18-07-2009	18:00:00	100	5,6
6	18-07-2009	22:00:00	100	2,6
7	19-07-2009	2:00:00	100	2,1
8	19-07-2009	6:00:00	100	2,9
9	19-07-2009	10:00:00	100	5,5
10	19-07-2009	14:00:00	100	9,7
11	19-07-2009	18:00:00	100	7,2
12	19-07-2009	22:00:00	100	2,8
13	20-07-2009	2:00:00	100	0,9

Medición 2

Mes Enero 2010

Temperatura Exterior.

Lectura	Fecha	Hora	Lectura (%H)	Lectura (°C)
1	03-01-2010	2:00:00	90,3	14,8
2	03-01-2010	6:00:00	98,8	11,6
3	03-01-2010	10:00:00	42	30,2
4	03-01-2010	14:00:00	40,5	28,7
5	03-01-2010	18:00:00	45,1	23,8
6	03-01-2010	22:00:00	92,6	15,3
7	04-01-2010	2:00:00	100	13
8	04-01-2010	6:00:00	100	10,2
9	04-01-2010	10:00:00	47,1	25,9
10	04-01-2010	14:00:00	50,5	23,1
11	04-01-2010	18:00:00	61,2	20,7
12	04-01-2010	22:00:00	86,6	14,7
13	05-01-2010	2:00:00	100	12,1

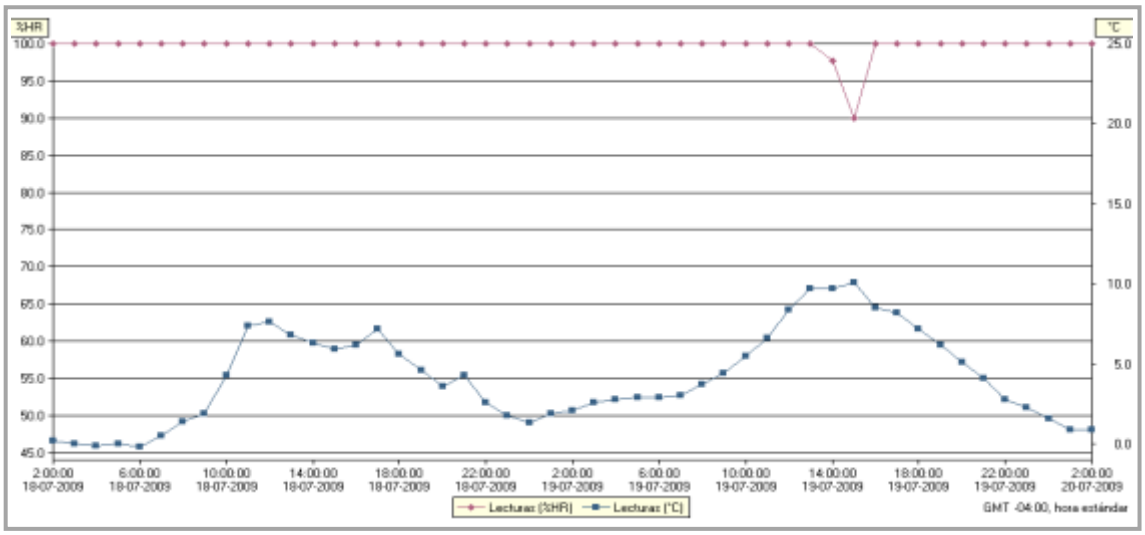


Figura 5.33. Gráfico Humedad (H%) – Temperatura (°C); Mes Julio 2009 ; Temperatura Exterior.

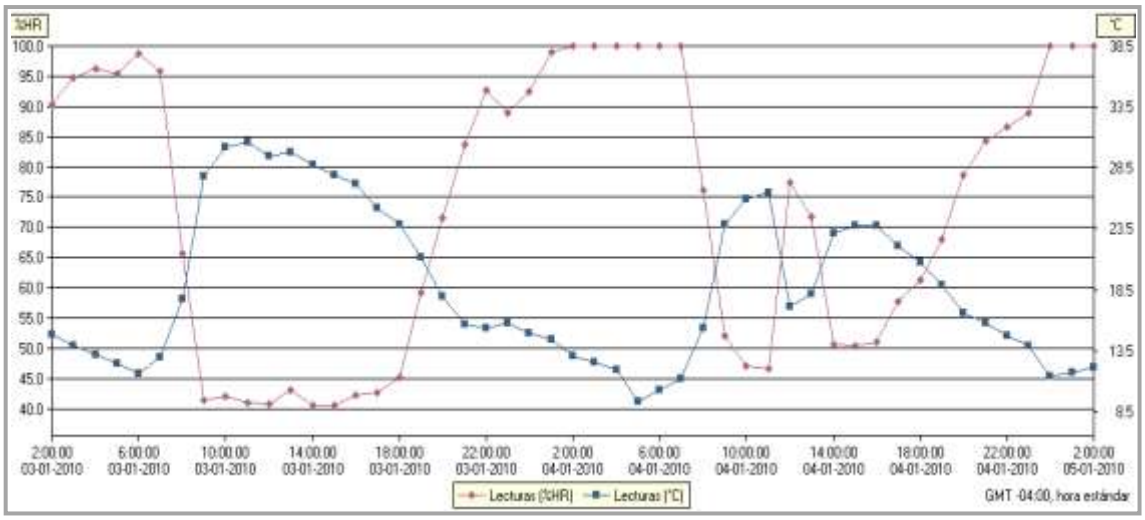


Figura 5.34. Gráfico Humedad (H%) – Temperatura (°C); Mes Enero 2010 ; Temperatura Exterior.

Medición 1
Mes Julio 2009
Casa Fardos de Paja
Recinto: Dormitorio.

Lectura	Fecha	Hora	Lectura (%H)	Lectura (°C)
1	18-07-2009	2:00:00	95,5	7,8
2	18-07-2009	6:00:00	94	7,1
3	18-07-2009	10:00:00	95,5	6,7
4	18-07-2009	14:00:00	100	7,2
5	18-07-2009	18:00:00	100	7,3
6	18-07-2009	22:00:00	100	7,1
7	19-07-2009	2:00:00	100	6,7
8	19-07-2009	6:00:00	100	6,6
9	19-07-2009	10:00:00	100	6,5
10	19-07-2009	14:00:00	100	7,1
11	19-07-2009	18:00:00	100	7,4
12	19-07-2009	22:00:00	100	7,2
13	20-07-2009	2:00:00	100	6,7

Medición 1
Mes Julio 2009
Casa de Madera
Recinto: Dormitorio.

Lectura	Fecha	Hora	Lectura (%H)	Lectura (°C)
1	18-07-2009	2:00:00	64,7	7,8
2	18-07-2009	6:00:00	71,5	5,6
3	18-07-2009	10:00:00	83,1	7,2
4	18-07-2009	14:00:00	80,5	8,7
5	18-07-2009	18:00:00	75,2	8,4
6	18-07-2009	22:00:00	75,3	6,8
7	19-07-2009	2:00:00	78,2	7,1
8	19-07-2009	6:00:00	81,6	6,7
9	19-07-2009	10:00:00	82,8	7,3
10	19-07-2009	14:00:00	81,6	10,4
11	19-07-2009	18:00:00	74,9	10,7
12	19-07-2009	22:00:00	76,2	8,2
13	20-07-2009	2:00:00	78,7	5,6

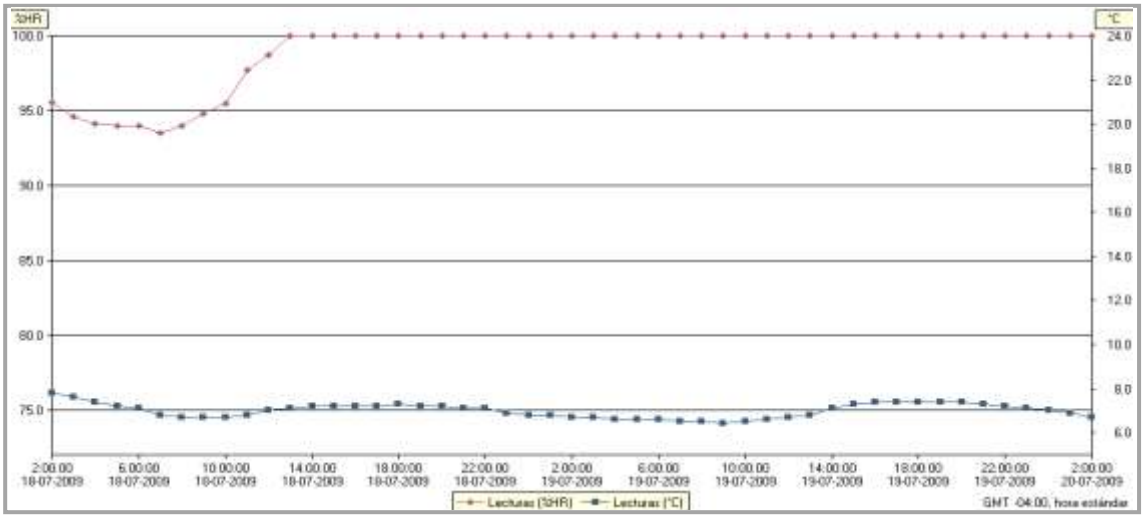


Figura 5.35. Gráfico Humedad (H%) – Temperatura (°C); Casa Fardos de Paja ; Dormitorio.

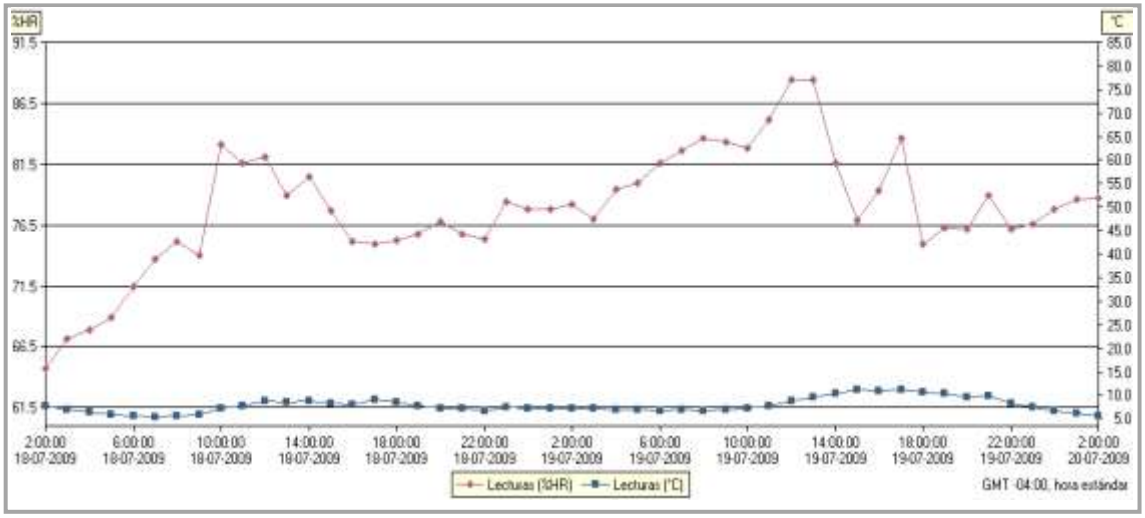


Figura 5.36. Gráfico Humedad (H%) – Temperatura (°C); Casa de Madera ; Dormitorio.

Medición 1
Mes Julio 2009
Casa Fardos de Paja
Recinto: Estar-Comedor.

Lectura	Fecha	Hora	Lectura (%H)	Lectura (°C)
1	18-07-2009	2:00:00	100	15,7
2	18-07-2009	6:00:00	100	15,7
3	18-07-2009	10:00:00	100	15
4	18-07-2009	14:00:00	100	13,3
5	18-07-2009	18:00:00	100	12,6
6	18-07-2009	22:00:00	100	12,7
7	19-07-2009	2:00:00	100	12,8
8	19-07-2009	6:00:00	100	12,8
9	19-07-2009	10:00:00	100	12,2
10	19-07-2009	14:00:00	100	10,3
11	19-07-2009	18:00:00	100	9,9
12	19-07-2009	22:00:00	100	10,7
13	20-07-2009	2:00:00	100	11,9

Medición 1
Mes Julio 2009
Casa de Madera
Recinto: Estar- Comedor.

Lectura	Fecha	Hora	Lectura (%H)	Lectura (°C)
1	18-07-2009	2:00:00	59,4	8,9
2	18-07-2009	6:00:00	66,1	6
3	18-07-2009	10:00:00	96,4	6,7
4	18-07-2009	14:00:00	97,6	10,4
5	18-07-2009	18:00:00	82,9	9,2
6	18-07-2009	22:00:00	75,3	11,3
7	19-07-2009	2:00:00	72	8,6
8	19-07-2009	6:00:00	80	7,2
9	19-07-2009	10:00:00	89,5	7,1
10	19-07-2009	14:00:00	93,7	10,2
11	19-07-2009	18:00:00	79,6	12,6
12	19-07-2009	22:00:00	80,7	8,9
13	20-07-2009	2:00:00	72,8	7,8

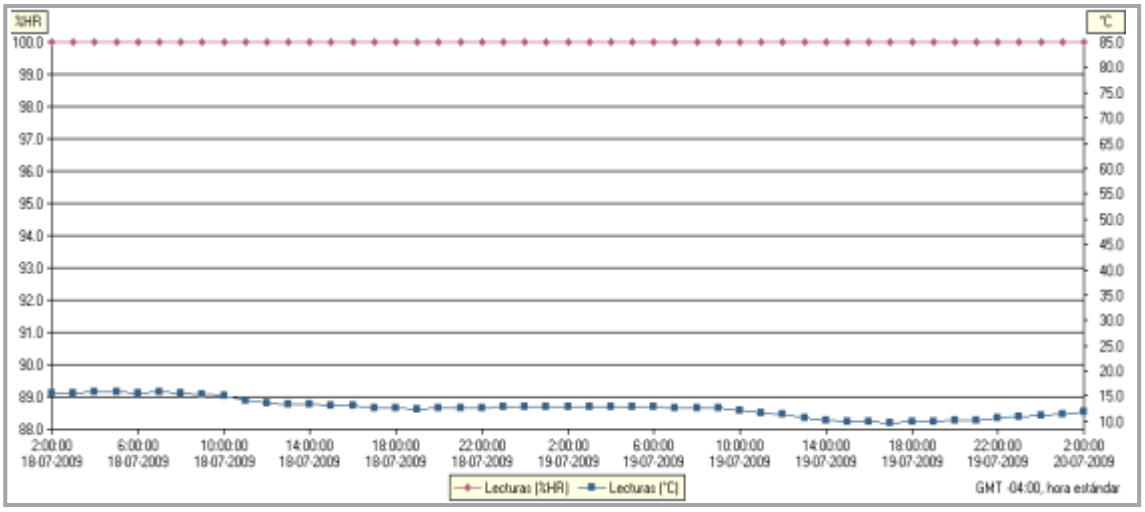


Figura 5.37. Gráfico Humedad (H%) – Temperatura (°C); Casa Fardos de Paja ; Estar-Comedor.

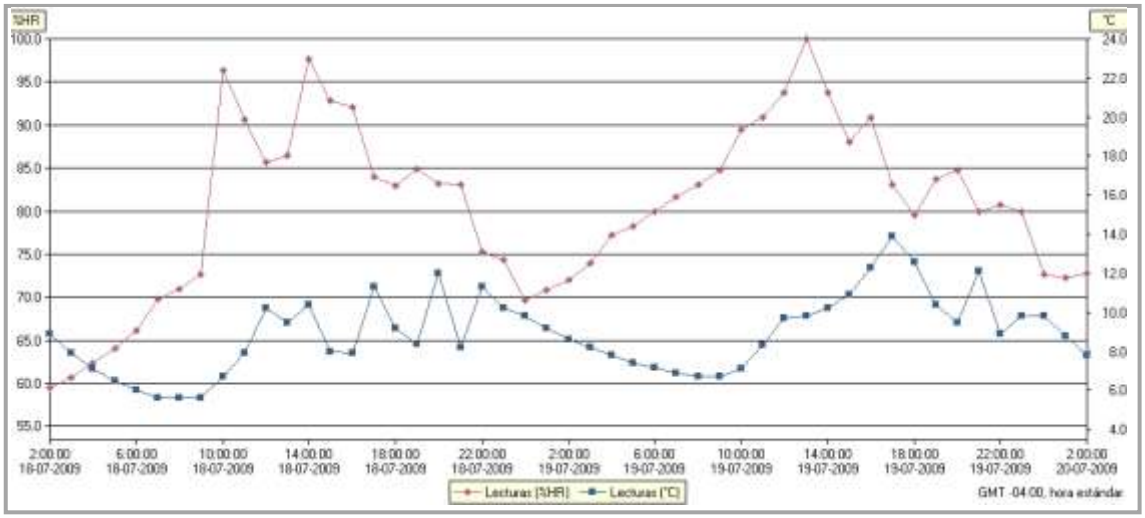


Figura 5.38. Gráfico Humedad (H%) – Temperatura (°C); Casa de Madera ; Estar-Comedor.

Medición 2
Mes Enero 2010
Casa Fardos de Paja
Recinto: Dormitorio.

Lectura	Fecha	Hora	Lectura (%H)	Lectura (°C)
1	03-01-2010	2:00:00	57,7	19,2
2	03-01-2010	6:00:00	58,2	16,7
3	03-01-2010	10:00:00	52,9	26
4	03-01-2010	14:00:00	51,5	27,4
5	03-01-2010	18:00:00	50	24,3
6	03-01-2010	22:00:00	57,4	20,7
7	04-01-2010	2:00:00	60,9	18,4
8	04-01-2010	6:00:00	58,7	14,9
9	04-01-2010	10:00:00	54,3	23,1
10	04-01-2010	14:00:00	56	22,6
11	04-01-2010	18:00:00	56,4	22,7
12	04-01-2010	22:00:00	60	19,2
13	05-01-2010	2:00:00	63,7	16,3

Medición 2
Mes Enero 2010
Casa de Madera
Recinto: Dormitorio.

Lectura	Fecha	Hora	Lectura (%H)	Lectura (°C)
1	03-01-2010	2:00:00	63,7	20,8
2	03-01-2010	6:00:00	63,4	19,8
3	03-01-2010	10:00:00	67	21,1
4	03-01-2010	14:00:00	60,5	23,3
5	03-01-2010	18:00:00	49,6	23,6
6	03-01-2010	22:00:00	58,8	22,4
7	04-01-2010	2:00:00	59,3	21,8
8	04-01-2010	6:00:00	62,8	20,8
9	04-01-2010	10:00:00	62,5	19,9
10	04-01-2010	14:00:00	61,9	20,6
11	04-01-2010	18:00:00	61,1	21,5
12	04-01-2010	22:00:00	62,3	20,8
13	05-01-2010	2:00:00	63,4	20,2

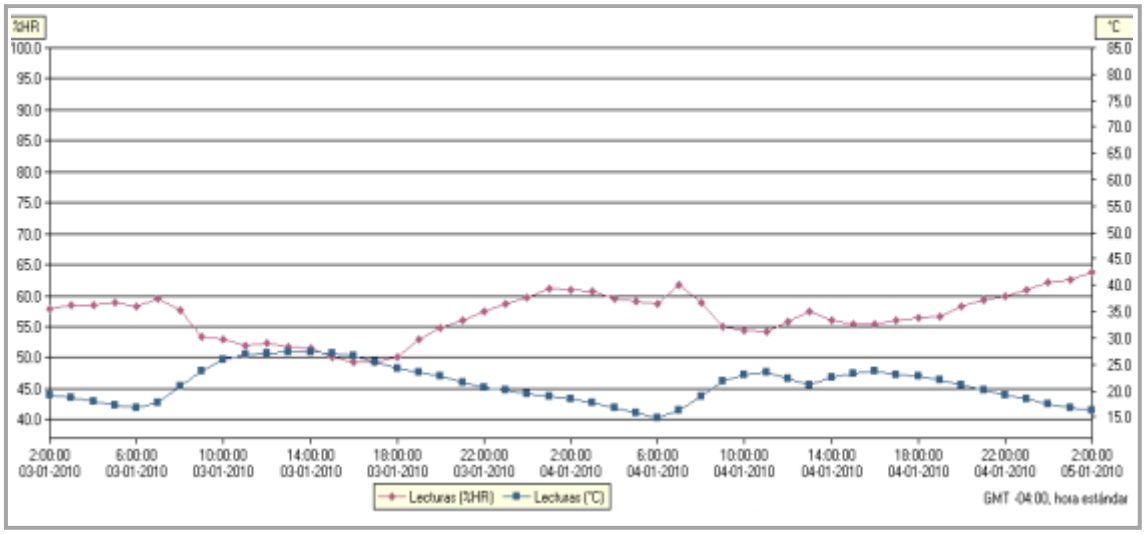


Figura 5.39. Gráfico Humedad (H%) – Temperatura (°C); Casa Fardos de Paja ; Dormitorio.

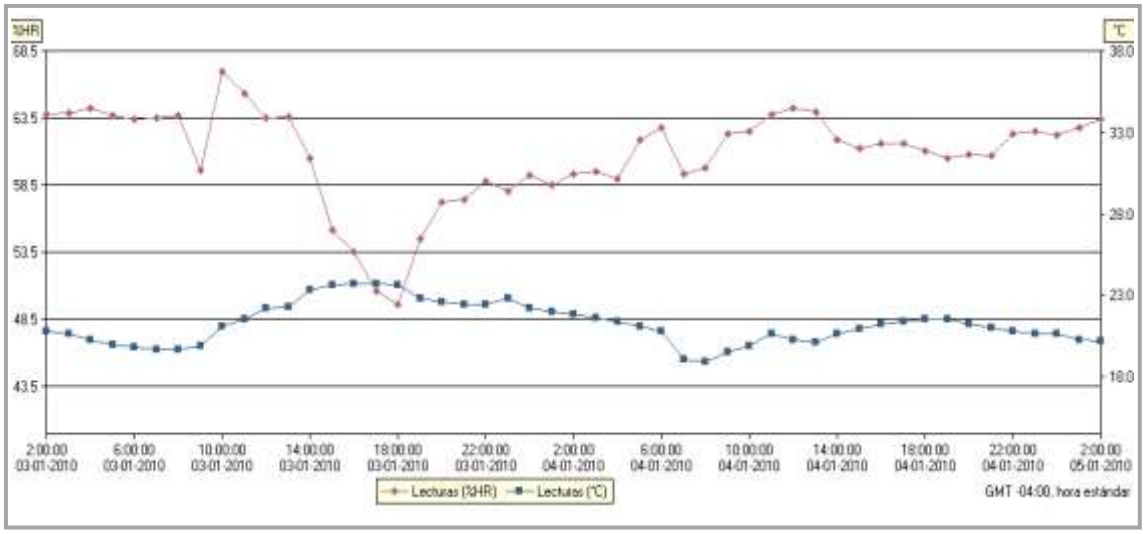


Figura 5.40. Gráfico Humedad (H%) – Temperatura (°C); Casa de Madera ; Dormitorio.

Medición 2
Mes Enero 2010
Casa Fardos de Paja
Recinto: Estar- Comedor.

Lectura	Fecha	Hora	Lectura (%H)	Lectura (°C)
1	03-01-2010	2:00:00	53,6	21,8
2	03-01-2010	6:00:00	54,2	20,5
3	03-01-2010	10:00:00	47,5	26,7
4	03-01-2010	14:00:00	52	24,7
5	03-01-2010	18:00:00	45,5	25,2
6	03-01-2010	22:00:00	52,3	23,7
7	04-01-2010	2:00:00	53,2	22,7
8	04-01-2010	6:00:00	52,2	21,3
9	04-01-2010	10:00:00	45,6	25,4
10	04-01-2010	14:00:00	54,9	21,4
11	04-01-2010	18:00:00	55,2	22,4
12	04-01-2010	22:00:00	53,5	21,7
13	05-01-2010	2:00:00	54,3	20,8

Medición 2
Mes Enero 2010
Casa de Madera
Recinto: Estar-Comedor.

Lectura	Fecha	Hora	Lectura (%H)	Lectura (°C)
1	03-01-2010	2:00:00	56,1	19,7
2	03-01-2010	6:00:00	58,6	17,2
3	03-01-2010	10:00:00	65,2	21,8
4	03-01-2010	14:00:00	55,2	24,9
5	03-01-2010	18:00:00	50,8	22,7
6	03-01-2010	22:00:00	59,8	20,8
7	04-01-2010	2:00:00	65,7	18,4
8	04-01-2010	6:00:00	63,7	15,3
9	04-01-2010	10:00:00	69,4	18,9
10	04-01-2010	14:00:00	62,5	22,1
11	04-01-2010	18:00:00	59,1	23,2
12	04-01-2010	22:00:00	62,5	19,5
13	05-01-2010	2:00:00	66,6	16,6

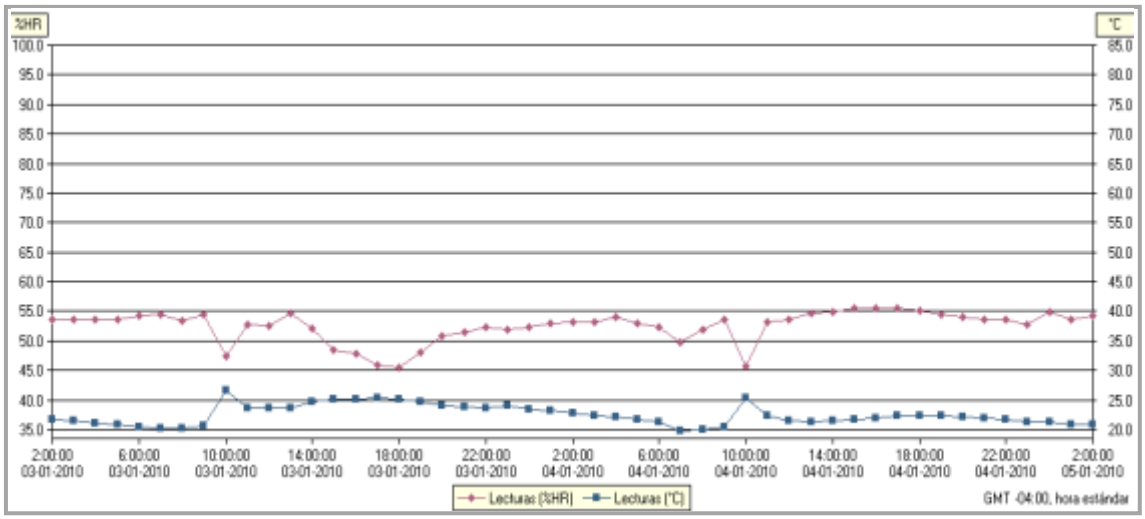


Figura 5.41. Gráfico Humedad (H%) – Temperatura (°C); Casa Fardos de Paja ; Estar-Comedor.

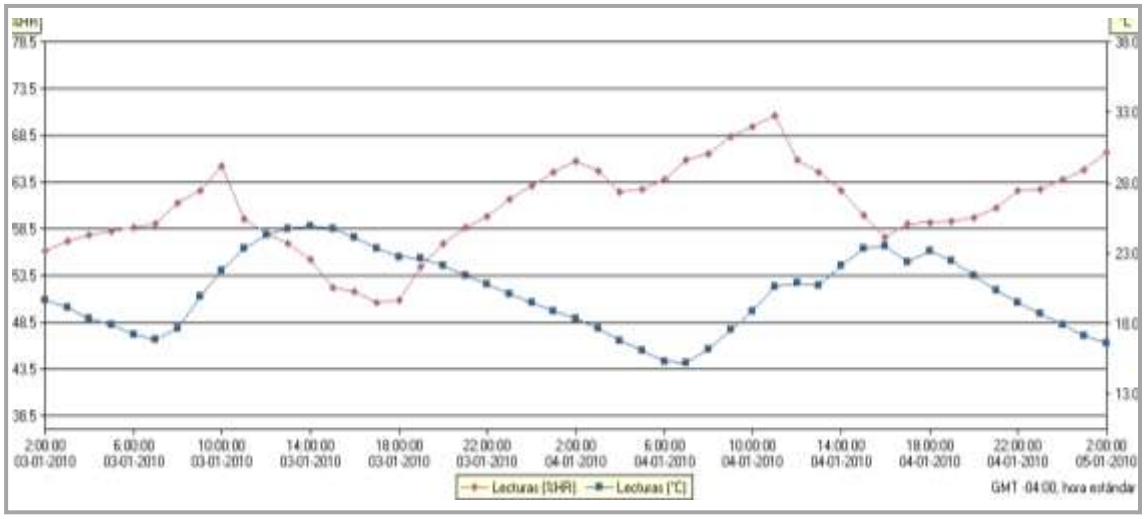


Figura 5.42. Gráfico Humedad (H%) – Temperatura (°C); Casa de Madera ; Estar-Comedor.

5.3. Análisis Comparativo Interpretación de Resultados /.

Chillán es un centro con características climáticas claramente identificadas con el resto del Chile Central.

Domina el clima templado cálido, estación seca y lluviosa semejante.

El mes más caluroso es enero que registra temperaturas medias de 19,7 °C.

Las máximas absolutas se registran a mediados del mismo mes, donde alcanzan valores superiores a los 34 °C a la sombra.

El mes más frío es julio que anota temperaturas que oscilan entre los 1°C y 5°C. Entre las mínimas absolutas más significativas se registran también en el mes de julio, donde alcanzan hasta -6 °C.

A continuación, las tablas resumen comparativas del estudio:

Tablas Resumen Comparativas
Medición 1 Mes Julio 2009

Tabla A
Dormitorio Casa Fardos

	% H	T°
Mayor	100	7,8
Menor	94	6,5
Oscilación	6	1,3

Tabla B
Dormitorio Casa Madera

	% H	T°
Mayor	83,1	10,7
Menor	64,7	5,6
Oscilación	18,4	5,1

Tabla A-A
Estar/ Comedor Casa Fardos

	% H	T°
Mayor	100	15,7
Menor	100	9,9
Oscilación	0	5,8

Tabla B-B
Estar/ Comedor Casa Madera

	% H	T°
Mayor	97,6	12,6
Menor	59,4	6
Oscilación	38,2	6,6

Medición 2 Mes Enero 2010

Tabla a
Dormitorio Casa Fardos

	% H	T°
Mayor	63,7	27,4
Menor	50	14,9
Oscilación	13,7	12,5

Tabla b
Dormitorio Casa Madera

	% H	T°
Mayor	67	23,6
Menor	49,6	19,8
Oscilación	17,4	3,8

Tabla a-a
Estar/Comedor Casa Fardos

	% H	T°
Mayor	55,2	26,7
Menor	45,5	20,5
Oscilación	9,7	6,2

Tabla b-b
Estar/ Comedor Casa Madera

	% H	T°
Mayor	69,4	24,9
Menor	50,8	15,3
Oscilación	18,6	9,6

La oscilación tanto de temperatura como de humedad en ambos meses de medición es considerablemente menor en la casa construida con Fardos de Paja. Ya que el fardo posee una gran inercia térmica, lo que significa que puede acumular el calor y liberarlo lentamente en la noche, protegiendo del calor o frio externo durante el día.

Permite así minimizar los costos de temperar los ambientes construidos, ya que requiere un menor costo para calefaccionar o refrigerar la vivienda.

5.4.-Conclusiones del Estudio /.

A continuación se presenta una tabla resumen con los parámetros a comparar entre la casa construida con fardos versus la de madera:

Casa de Fardos de Paja

	Térmico	Acústico	Luz	Ventilación	Lluvia
Techumbre	✓	✓	✓	✓	✓
Muros	✓	✓	✓	✓	✓
Pavimento	✓	⊘	⊘	⊘	⊘

Figura 5.43. Tabla resumen comparativa

Casa de Madera

	Térmico	Acústico	Luz	Ventilación	Lluvia
Techumbre	✓	✓	✓	✓	✓
Muros	✓	✓	✓	✗	✓
Pavimento	✓	⊘	⊘	⊘	⊘

Figura 5.44. Tabla resumen comparativa vivienda en madera.

Se concluye que la Casa de Fardos de paja posee a la vez otra gran cualidad además de acumular calor por su gran inercia térmica, controla el frio o el calor que ingresa al interior, es decir, es capaz de controlar la humedad evitando la condensación del aire, regulando así el confort térmico de los recintos.

CAPITULO VI:
Conclusiones._

- De los diversos sistemas constructivos existentes, el que presenta las mejores características para ser desarrollado en el país es el sistema no auto-portante, o sistema de pilares y vigas; sistema muy similar a la tradicional albañilería de ladrillos. En el caso del sistema no auto-portante la utilización de fardos no presenta inconvenientes, ya que solo son utilizados como material de relleno, cumpliendo como función principal la aislación de la vivienda.

- Al igual que la mayoría de los materiales de construcción, los fardos poseen ventajas y desventajas que deben ser consideradas al momento de realizar cualquier proyecto de construcción.

VENTAJAS :

- Una de las principales ventajas de la construcción con fardos son sus características térmicas, donde se concluye que los fardos de paja son un excelente material aislante, proporcionando confort en invierno y verano. El gran espesor de sus muros y su baja conductividad térmica ayuda a mantener la habitabilidad.

- En cuanto a la aislación acústica, dada la porosidad y espesor del fardo, la aislación que ofrece al ruido un muro ciego de este material, es equivalente al de una sala de grabación. Esta condición es conveniente para construir salas de ensayo, estudios de grabación o academias de música pero también es favorable para evitar sentir los ruidos exteriores y que desde afuera se escuchen los sonidos que se emiten dentro de la casa.

- El uso de la paja es ecológicamente limpio y puede ser usado tantas veces como sea posible y si no fuera así, es fácil eliminar al ser materia orgánica sin alterar o provocar riesgo en el medio ambiente.

- Por el tema del fuego y las necesidades estructurales se deben escoger los fardos más densos y apretados posibles. En estas condiciones se ahoga la propagación del fuego ya que no existe oxigeno para que se produzca la combustión. Es como si se tratara de quemar una guía telefónica. Teniendo en cuenta el espesor y densidad del muro, según un ensayo realizado por la IDIEM (Instituto de investigaciones y ensayes de materiales de la Universidad de Chile, año 2003) este retarda al fuego con un factor de F-120 pudiendo considerar el muro de fardo como un muro cortafuego según la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

- Una gran ventaja es que se reducirá significativamente los costos de flete de encontrarse la paja en el lugar de obtención del material, es decir al alcance de la mano o muy cerca de donde se construirá, lo segundo es que la paja posee un bajo costo, ya que se le tiene como material de desecho , ya que en la mayoría de los lugares en donde se produce el trigo gran parte de la paja es quemada y tan solo una pequeña parte es ocupada como forraje para los animales, debido a que esta posee un bajo aporte nutritivo, ya que se usa principalmente la fibra para alimentación.

- En contraste con la madera usada en construcción, la paja requiere de menos de un año para ser obtenida, y sólo requiere ser enfardada para su uso, ya que se sabe que en la producción de una pulgada maderera hay involucrados tiempo, recursos humanos y tecnológicos para obtener este producto como material de construcción.

DESVENTAJAS:

- Una de las dificultades que posee este tipo de construcciones es la estacionalidad de la materia prima. Por tratarse de un residuo de las cosechas se hace imprescindible esperar los periodos en que éstas se realizan, para obtener el material. Además, al no ser un material convencional, como lo es el hormigón o los ladrillos, no es posible su compra inmediata en el comercio de la construcción sino que ésta se debe realizar en forma directa con el agricultor. Estos motivos hacen precisar de una buena programación de obra, pudiendo avanzar con otras tareas como preparación del terreno, fundaciones, y estructura de madera, en los períodos en que no se disponga del material.

- Otra dificultad que presenta este tipo de construcciones, lo constituye la humedad que se pueda generar al interior del material, pues ésta es causal de la aparición de hongos, creando putrefacción, lo que se traduce en una descomposición de la estructura. Por esta razón es que se hace indispensable una buena protección contra la humedad. Lo mejor para mantener un fardo sin humedad y conservar su calidad es almacenarlo bajo techo, aislándolo del suelo mediante polietileno. Se debe elegir y mantener con un máximo de 10% de humedad, si no se cumple con esta condición mejor no comprarlos. Al momento de construir, estucos con aditivos impermeabilizantes resultan ser una alternativa viable para la aislación del material.

- El ataque de plagas, es otro temor común. El estuco y la malla hexagonal que envuelve el muro de fardos evitan el paso de insectos y roedores; y como las fibras de los fardos poseen un bajo contenido de pared celular, resulta ser un alimento poco predilecto para las termitas, pero si se considera necesario previo a la construcción del muro, se aplica sobre la superficie un insecticida. Una vez estucado y terminado el muro, los fardos quedan sellados e invulnerables al desarrollo de vida biológica dentro de ellos.

- Otra desventaja depende de la ubicación de la obra, la latitud y las condiciones climáticas que posea. Ya que si se trasladan los fardos a una zona donde no se pueden conseguir fácilmente se aumentan los costos de la obra. Aún así para las zonas desérticas este sistema en base a muros de fardos sigue siendo ventajoso. Por el contrario, la construcción en zonas muy húmedas o con serios riesgos de inundación también puede ser una desventaja, ya que se obliga a tomar mayores resguardos.

- Por último la restricción del sistema está referida a la altura de la edificación, ya que esta no puede sobrepasar los dos pisos y requiere de refuerzos y piezas de mayores escuadrías y dimensiones. Entonces aumentar la altura de los muros, implica aumentar los refuerzos y por ello los costos, esto quiere decir que si se acoge la normativa y clasifica la edificación según la clase F (adobe) la altura máxima será de 3mt. mientras que si se clasifica según la clase E (madera) la altura máxima seria de 7mt. incluyendo mansarda cubierta.

CONCLUSIONES ENSAYOS REALIZADOS :

- Las particularidades de los fardos se ven demostradas con los ensayos expuestos, donde la transmitancia térmica obtenida presenta un valor cercano a cero; bajo estas características un muro de fardos resulta ser una posible alternativa de edificación, para cualquiera de las 7 zonas térmicas presentes en el país.

- Gracias a su bajo valor de U como sistema constructivo en comparación a otros sistemas y a la misma zona en la que se encuentra, se requiere un menor costo económico para aislar dicha solución constructiva, lo que trae como consecuencia un costo cero en la calefacción o refrigeración de los ambientes.

- Se concluye que la Casa de Fardos de paja posee a la vez otra gran cualidad además de acumular calor por su gran inercia térmica, controla el frio o el calor que ingresa al interior, es decir, es capaz de controlar

la humedad evitando la condensación del aire, regulando así el confort térmico de los recintos.

CONCLUSIONES FINALES DEL SEMINARIO :

- Frente a la problemática del aumento del consumo energético es que el poseer una vivienda con buena aislación adquiere gran relevancia, ayudando a conservar la energía en su interior. Desde este punto de vista el uso de fardos como material de construcción genera un valioso aporte, contribuyendo al ahorro de energía durante la operación de la vivienda.

- Los fardos resultan ser una buena alternativa para elevar la calidad de la vivienda, especialmente en el sector rural, ya que es en estos sectores donde se encuentran las viviendas más pobres y menor calidad habitacional, por otro lado se tiene a favor que el gran espesor de los muros no es una limitante en estos sectores, ya que en estos lugares se dispone de amplias superficies de terreno para edificar.

- El aumento del consumo energético constituye una de las actuales preocupaciones a nivel de país. Como una forma de controlar dichos aumentos es que se están creando nuevas políticas que ayuden desarrollar una construcción energéticamente eficiente. Esta eficiencia se refiere puntualmente a mantener o mejorar el confort o estándar de una construcción utilizando menores recursos energéticos. Los principales aspectos que contribuyen sustancialmente a hacer esto posible son: el diseño arquitectónico, la elección de materiales según su ciclo de vida, y la incorporación de tecnología. Frente a esta problemática es que el poseer una vivienda con buena aislación adquiere gran relevancia, ayudando a conservar la energía en su interior.

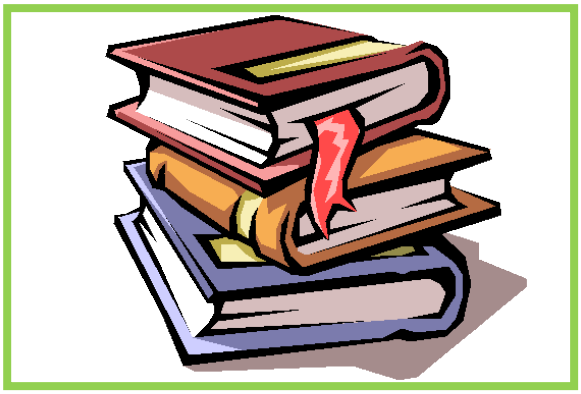
- En la práctica podemos apreciar que los esfuerzos por parte de las autoridades en las políticas sociales de construcción ha utilizado y siguen utilizando el empleo de tecnologías y materiales los cuales podríamos denominar tradicionales e industrializados, como el empleo de albañilería con refuerzos de hormigón armado, los cuales por los costos que implican muchas veces no pueden ser enfrentados por las personas y deben ser subsidiados.

- Existe también la necesidad de contar con terrenos amplios que permitan absorber los anchos de muro y las mayores dimensiones de las fundaciones y de los recintos, por su uso se recomienda más para el sector rural.

- La utilización de la paja como alternativa de construcción de bajo costo, podría ser introducida en programas de autoconstrucción, orientada al mundo rural, en la cual los individuos (propietarios o no) construyeran sus viviendas mediante una supervisión técnica en manos de profesionales idóneos en la materia.

- En conclusión podemos decir que todos los procedimientos experimentales térmicos realizados, indican y corroboran que el sistema constructivo de fardos de paja podría ser incorporado a la categoría de material constructivo, siendo avalado térmicamente por los ensayos expuestos, dejando en evidencia las desventajas térmicas que poseen otros materiales frente a ese sistema.

BIBLIOGRAFÍA._



BIBLIOGRAFÍA /.

Publicaciones:

- BROUGHTON W., Jorge. “Manual de Autoconstrucción con Fardos de Paja”. JONES, Barbara y NAILS, Amazon. “Una Guía de Construcción con Balas de Paja”. Santiago, Chile. 2001.
- MAC DONALD, S.O. “Una Introducción Visual a la Construcción con Fardos de Paja”. Diciembre, 1999.
- MAC DONALD, S.O. & MAC DONALD, Orien. “Construcción con Fardos de Paja”. Utah, E.U.A., Instituto Benson Brigham Young University Provo, 1991. 2°.
- TRUCCO Cid, Juan Carlos. “Seminario Construcciones con Fardos de Paja”. Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío, 2000.153h.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, “Acondicionamiento térmico – envolvente térmica de edificios- calculo de resistencia y transmitancia térmica”, Nch 853 Of. 91, Santiago, Chile.
- MINVU, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007, “Manual de aplicación reglamentación térmica”, 1ª Edición, Santiago, Chile, Noviembre 2007.

Sitios Web:

- Red de construcción con fardos de paja, www.casasdepaja.org.
- Arquitectura en fardos, Arquitecto Jorge Broughton,www.arquitecturaenfardos.cl
- Straw bale construction, www.strawbale.com.
- www.ecoaldea.com/Biohabitat/cap9.htm.
- www.balewatch.com.
- www.facebook.com/tierraverdeloslleuques.

Revistas Electrónicas:

- Red de construcción con fardos de paja, www.casasdepaja.com.
- Revista natural, Julio 2005, “Bio-construcción con balas de paja: la última revolución de las casas naturales”, Nº 54, www.revistanatural.com.
- Revista natural, Febrero 2006, “Casas de balas de paja: una alternativa al problema de la vivienda”, Nº 57, www.revistanatural.com.
- Revista Ecohabitar, “Bioconstrucción, Construyendo con balas de paja: los pro y los contra de la construcción con balas de paja”, www.ecohabitar.org.

ANEXOS
Terminología._

Terminología /.

Al hablar de construcción con fardos de paja, instantáneamente surgen términos asociados a esta forma de construir como: bioconstrucción, autoconstrucción, construcción sostenible, Permacultura, entre otros, todos conceptos conocidos alrededor del mundo y que están ligados a la construcción ecológica y comunitaria. Al tener en conocimiento ésta terminología resulta más fácil comprender los inicios de la construcción con fardos de paja, que esta entrando cada vez con más fuerza en la construcción.

Además de los términos asociados a éste tipo de construcción en particular, existe otra terminología ligada a obras de construcción que es importante conocer para facilitar la comprensión del contenido de este trabajo.

- **Aislación Térmica:** es la capacidad de oposición al paso del calor de un material o conjunto de materiales, y que en construcción se refiere esencialmente al intercambio de energía calórico entre el ambiente interior y exterior.

- **Aislante Térmico:** material o elemento de alta resistencia al flujo de térmico.

- **Ambiente:** se define como ambiente, al espacio tanto interior como exterior a la envolvente del cierre, en el cual se incluyen todos aquellos parámetros físicos que intervienen en los procesos de transferencia de calor.

- **Bioconstrucción:** deriva de la palabra “Baubiologie”, término alemán que significa biología de la construcción. La bioconstrucción tiende, en definitiva, hacia una construcción responsable, a través de la utilización de materiales que no dañen la salud ni el medio ambiente, tiene en cuenta el lugar donde se construye, el clima y su entorno, utilizando la sabiduría tradicional y los avances técnicos mas recientes. Pretende recuperar las bonanzas de la construcción tradicional, pero ayudada por la maquinaria y tecnología de hoy. (De la Rosa, R., 1997).

- **Conductividad térmica (λ):** cantidad de calor que bajo condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras plano paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Se determina experimentalmente según norma NCh 850. Of. 83 y se expresa en (W/m K).

- **Construcción auto-soportante:** consiste en edificaciones, especialmente viviendas de un piso, que no

están estructuradas a base de vigas y pilares, siendo el muro el que recibe directamente las cargas vivas y/o muertas de la techumbre traspasándola a las fundaciones.

- **Construcción no auto-soportante:** consiste en edificaciones, especialmente viviendas, que están estructuradas a base de vigas y pilares, siendo la estructura la que recibe las cargas vivas y/o muertas de la techumbre y las traspasa a las fundaciones.

- **Construcción Sostenible:** la Construcción sostenible, que debería ser la construcción del futuro, se puede definir como aquella que, con especial respeto y compromiso con el Medio Ambiente, implica el uso sostenible de la energía. Cabe destacar la importancia del estudio de la aplicación de las energías renovables en la construcción de los edificios, así como una especial atención al impacto ambiental que ocasiona la aplicación de determinados materiales de construcción y la minimización del consumo de energía que implica la utilización de los edificios (Casado, 1996).

- **Flujo térmico (Ø):** es la cantidad de calor transmitida por unidad de tiempo a través de elementos de la envolvente, verticales u horizontales, que separan ambientes de diferente temperatura. Es proporcional a la diferencia de temperatura, característica conductora del elemento y la superficie de éste. Se expresa en (Kcal/hora), ó (watt/hora).

- **Inercia térmica:** se define como la dificultad que ofrece un cuerpo a cambiar su temperatura, o dicho en otras palabras a la capacidad de un elemento constructivo de retrasar el paso del calor de un ambiente a otro.

- **Permacultura:** esta palabra es el resultado de la contracción formada con las palabras Permanente y Cultura. Se trata de una cultura permanente, es decir, una forma de vivir y de trabajar que puede ser practicada por todos los habitantes del Planeta sin causar problemas. El principio básico de la Permacultura es el de trabajar "con", o "a favor de", y no "contra" la naturaleza. Los sistemas permaculturales son construidos para durar tanto como sea posible, con un mínimo de mantenimiento. Los sistemas son típicamente energizados por el sol, el viento y/o el agua, produciendo lo suficiente para su propia necesidad, como para la de los humanos que lo crean o controlan. De esta manera, el sistema es sostenible."

- **Resistencia al fuego:** cualidad de un elemento de construcción de soportar las condiciones de un incendio, durante un cierto tiempo. Esta

cualidad se mide por el tiempo en minutos durante el cual el elemento conserva la estabilidad mecánica, la estanquidad a las llamas, el aislamiento térmico y la no emisión de gases inflamables. Se determina de forma experimental a través de la Nch 935/1 Of. 97.

- **Resistencia térmica (Rt):** oposición al paso del calor que presenta un material o elemento de construcción, de caras planas o paralelas, de espesor **"** *e* **"**, bajo condiciones unitarias de superficie y de diferencia de temperatura. Puede determinarse en forma experimental, según la norma NCh 851, o bien mediante cálculo, según la norma NCh 853. se expresa en (m2 k/w).

- **Rse:** resistencia térmica de una superficie al exterior de una edificación. Se expresa en (m2 k/w).

- **Rsi:** resistencia térmica de una superficie al interior de una edificación. Se expresa en (m2 k/w).

- **Termocupla:** instrumento para la medición de la temperatura interior del horno al instante en que se realiza un ensayo de resistencia al fuego.

- **Transmitancia térmica (U):** flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento. El valor de la transmitancia térmica "U" es el inverso de la resistencia térmica (Rt) que puede ofrecer un muro al paso del calor, es decir: U= 1/Rt. Se expresa en W/ (m2 K).

- **Transmitancia térmica lineal (K):** flujo de calor que atraviesa un elemento por unidad de longitud del mismo y por grado de diferencia de temperatura. Se determina mediante el cálculo según la Nch 853. Of. 91. Se expresa en W/ (m K).