

Aspectos Técnicos en Construcción Con Balas de Paja

En 1993 tuvo lugar la primera gran conferencia sobre la construcción con Balas de Paja en Arthur, Nebraska (EE.UU.). Esa conferencia dio como fruto la creación del *National Straw Bale Research Advisory Network (Red de Investigación y Consejos Nacional de Balas de Paja)* cuyo objetivo es reunir todas las experiencias, estudios, ensayos e investigaciones en relación con la construcción con balas de paja para publicarlas y difundir e intercambiar todos estos conocimientos.

En el mismo año, el *National Research Council of Canada (Consejo Nacional de Investigación Canadiense)* inició una investigación de un año en una construcción del sistema Nebraska/autoportante en Nova Scotia para reunir conocimientos sobre este sistema constructivo. Hoy en día hay numerosas asociaciones en todo el mundo - destacando en Europa Alemania y Austria- que siguen investigando este material...pero queda mucho por averiguar.

En este apartado sólo se darán los datos más relevantes para tener una noción de los mismos. Al final de la sección se enumeran numerosos estudios, ensayos e investigaciones para aquellos que quieran ampliar sus conocimientos.

Aspectos Estructurales

Aunque ya se han realizado numerosos ensayos a nivel mundial para averiguar el comportamiento estructural de la bala de paja (que responde de forma diferente cuando se trata de todo un muro) resulta difícil llegar a unas conclusiones claras. Existen demasiadas variables que afectan los resultados, sea el contenido de humedad de la paja, la densidad, tipo y espesor de recubrimiento, diseño, la correcta construcción del muro, etc., pero en lo que sí que se está de acuerdo es que las balas colocadas planas tienen una mayor resistencia a compresión que las colocadas de canto, que el espesor del recubrimiento tiene una gran influencia en la resistencia de la bala de paja y que el elemento de coronación (anillo perimetral) tiene que permitir una distribución uniforme y centrada de la carga. Como demuestra el sistema Nebraska, los muros sin recubrimiento son capaces de soportar la carga que recibe de las cubiertas. No obstante aunque el revoco se coloque varios meses después, también ejerce una importante función estructural, ya que la bala de paja transmite la carga al revoco.

Para entender que tipo de comportamientos negativos que puede tener un muro cuando sufre cargas verticales, Bruce King² los ha desglosado en 5 tipos:

1. Pandeo total: El muro completo se curva y se agrieta. Suele suceder cuando el muro está bien construido pero la carga se aplica de forma excéntrica. (Los ensayos realizados demuestran que los recubrimientos disminuyen notablemente los efectos de pandeo)
2. Pandeo local: El muro solo se abulta en una zona localizada del muro. Parte del recubrimiento se suelta de la pared. Puede ser a causa de una mala ejecución del recubrimiento. Suele suceder cuando la carga se transmite directamente al recubrimiento.
3. Agotamiento del recubrimiento. El recubrimiento supera la tensión admisible en la coronación o en la base y se rompe en dichas zonas. Suele ser a causa de un defecto de diseño.

² **Design of Straw Bale Buildings: The State of the Art.** Edited by Bruce King (contributors, John Straube, David Mar, Kelly Lerner, Rene Dalmeijer, and others), Green Building Press, 2006. Este es el libro más reciente, y lleno de pruebas técnicas y datos. Muy bueno para profesionales.

4. Deslizamientos de las capas: Las capas de recubrimiento no encuentran reacción a la carga en un extremo mientras que el núcleo de paja sí, dando lugar a desplazamientos relativos de ambos.
5. Compresión sólo del núcleo de paja: El núcleo de balas de paja se encuentra sometido a carga mientras que el revoco no, al igual que en el caso anterior, se producen desplazamientos.

Según el arquitecto Prof. Dr.-Ing. Gernot Minke los muros de fardos de paja pueden soportar una carga superior a los 500 kg por metro lineal de muro portante (esto corresponde a 1000kg/m^2)³.

La normativa Californiana, "Strawbale Code" permite una carga vertical en el extremo superior del muro de 1.953 kg/m^2 .⁴

Los muros de balas de paja seguramente soportarían cargas mayores, si luego se estabilizaran correctamente para evitar su pandeo. Es de suma importancia que los muros se estabilicen para poder soportar cargas horizontales como las que puede provocar la fuerza del viento, impactos mecánicos o bien sismos, por ejemplo. Para ello se utilizan elementos horizontales y verticales, así como la pre-compresión de la pared mediante diversos sistemas que hemos ido comentando durante el libro. Los muros que no hayan sido precomprimidos anteriormente pueden sufrir mayor cantidad de deformaciones y daños. Una vez colocada la cubierta (carga), los muros pueden comprimirse más de 12 cm-siendo totalmente normal en balas pequeñas. Según la Red Global de Construcción con paja la media de compresión en una bala pequeña es de 6%. Es preferible escoger aquellas balas de paja que tengan una densidad óptima (110kg/m^3), ya que una que tenga una densidad demasiada baja, nos puede ocasionar graves problemas; tradicionalmente se recomienda una compresión mínima de 90 kg/m^3 . Según los ensayos realizados por el arquitecto Gernot Minke³, la compresión realizada sobre una bala de paja horizontal ejerciendo una carga de 2000 kg/m^2 genera una compresión del material del 1,25% y que con una carga de 7100 kg/m^2 una compresión del material del 5%. Esto significa que la compresión a mayor carga, aumenta proporcionalmente. La deformación de las balas de paja es bastante elástica, por lo que cuando se retiran las cargas, éstas recuperan casi al completo su estado inicial. Los muros de balas de paja tienen un buen comportamiento ante sismos debido a su flexibilidad y su capacidad de deformarse elásticamente y por ello pueden soportar la energía cinética provocada por este fenómeno natural.

El porcentaje necesario de precompresión para estabilizar de forma óptima el muro sin provocar pandeos, suele ser otra de las dudas que suele surgir. Se suele hablar de una cifra del 6% de la altura total del muro, pero aquí volvemos a depender de la calidad de la bala. Si en un futuro se "estandarizara" la densidad de la bala de paja, se podría calcular con mayor precisión el % de precompresión, garantizando la calidad del material.

Resistencia al fuego (EI)

La resistencia al fuego es el tiempo expresado en minutos, en que un elemento constructivo expuesto al fuego mantiene su estabilidad y sus características estructurales y de aislamiento, sin dejar traspasar el calor suficiente para que pueda incendiarse los materiales situados al otro lado del muro. Desde la entrada en vigencia del nuevo Código de la Edificación (CTE) se identifica la resistencia al fuego de elementos compartimentados con las siglas EI (anteriormente RF), mientras que los elementos estructurales se designan con la sigla R (antes EF).

Los ensayos realizados en Austria en el Instituto "Versuchs – und Forschungsanstalt der Stadt Wien" (MA 39-

³ **Building with Straw: Design and Technology of a Sustainable Architecture.** Por Gernot Minke and Friedemann Mahlke, Birkhauser, 2005. Versión inglés. Título original en alemán "Der Strohhallenbau: Ein Konstruktionshandbuch".

⁴ **Buildings of Earth and Straw: Structural Design for Rammed Earth and Straw Bale Architecture.** Bruce King. Ecological Design Press. EEUU. 1996. ISBN 0 964478 1 7.

VFA) se ensayaron con balas de paja con una densidad de 120kg/m³-según estipula la normativa austriaca “ÖNORM B 3800”. En el ensayo realizado sobre una estructura de madera con cerramiento de balas de paja con un acabado interior de tierra y exterior de cal, se extrajo el resultado de que **las balas tienen una resistencia al fuego de 90 minutos**. El mismo resultado lo consiguió en el año 2003 la red de construcción alemana FASBA. La diferencia fue que ambos lados del muro fueron revestidos por 3cm de tierra arcillosa, consiguiendo una clasificación F-90 según DIN 4102-2. Con estos resultados se podría construir incluso construcciones multifamiliares siguiendo la normativa alemana (recordemos que el sistema autoportante no está permitido en este país). Diferentes ensayos realizados en los Estados Unidos incluso superan los 120 minutos de resistencia al fuego, ya que ésta depende mucho del grosor del acabado final.⁵

La resistencia al fuego es debida sobre todo a la estanqueidad. El oxígeno contenido en las balas de paja no puede circular debido a los acabados de tierra, cal, etc. Además, por la compresión a la que están sometidas las mismas balas de paja, no hay suficiente aire. En el momento que se genera una grieta y pueda comenzar a quemar la bala de paja, ésta fuente de calor carboniza la primera capa de paja, impidiendo la entrada de oxígeno por lo que dificulta seguir ardiendo.

Aunque los muros de balas de paja tengan una resistencia al fuego suficiente para cumplir la normativa vigente, eso no significa que no haya habido casos de incendios. La normativa exige una cierta resistencia al fuego para disponer del suficiente tiempo para poder evacuar la construcción antes de que colapse. Según un informe publicado Bob Theis en el 2003, de 14 incendios que se contabilizaron, 11 sucedieron durante el proceso constructivo y de estos, 8 antes de colocar el revoco.

De los 14 incendios, 6 produjeron pérdida total, el resto solo daños locales. Lo interesante es que de los 6 que se quemaron totalmente, 5 fueron antes de ejecutar el revoco y 1 después. El caso más típico de incendio fue que durante la construcción se inició el fuego en la paja suelta del suelo, propagándose a la paja suelta de la superficie del muro, las causas entre los incendios restantes han sido desde caídas de velas, fuegos de chimeneas y estufas eléctricas, incendios provocados, cortocircuitos eléctricos y la actividad en la construcción (la más relevante).

Por tanto, en cuanto se han construido los muros de balas de paja, se tiene que revocar toda la superficie - no tan sólo para protegerla ante el fuego, sino todos los otros factores que hemos mencionado anteriormente (humedad, insectos, etc.). Es por esto que las fibras sueltas que sobresalen de la bala en sí, sí que se suponen un riesgo (aparte de toda la paja suelta esparcida alrededor de la obra, que son un foco de peligro y por lo cual se prohíbe fumar en la zona). El período en que la casa de paja es más vulnerable al fuego es durante la obra.

No olvides, que parte del proceso de preparar las paredes para revocar es “afeitar” (quitar aquellas fibras de paja que sobresalgan de la bala) el muro. Este proceso no tarda mucho en hacer; así que aunque no tengas tiempo para revocar toda la casa seguida, recomendamos afeitar los muros y aplicar capa la imprimación a la pared en cuanto se acaba la obra. Otra opción, sería “prerevocar” las balas antes de levantar las paredes. Ver Capítulo “Revocos” para más detalles.

⁵ **The Strawbale House.** Atheena Swentzell Steen, Bill Steen, & David Bainbridge. Chelsea Green Publishing Co. EEUU. 1994. ISBN 0 9 300031 71 1.

Comportamiento Térmico

La Conductividad Térmica

Un buen aislante tiene una conductividad baja.

Imagínate que estás construyendo tu hogar en el frío invierno. Para calentarte, te llevas un café calentito en tu termo. Este recipiente está aislado térmicamente y puede conservar el café caliente durante mucho tiempo. Esta botella reduce la transferencia de calor entre el aire frío del exterior y el café caliente. Pero llegará un momento en que el líquido alcanzará la misma temperatura que su entorno, ya que no es un aislante perfecto. Ha ocurrido un proceso de transferencia de calor llamado *conducción*.

Por tanto, la *conducción* se refiere a la capacidad de un material para transmitir el calor en este proceso; el fenómeno de transferencia de calor se puede imaginar a escala atómica como un intercambio de energía. Unas moléculas con mayor energía cinética chocan contra las otras, dando parte de ésta. Las sustancias que son buenas conductoras del calor tienen valores grandes de conductividad térmica, mientras que los que son buenos aislantes térmicos tienen valores bajos. Los metales, por ejemplo, son muy buenos conductores (¿Quién no se ha quemado alguna vez con el mango de una sartén metálica sin estar ésta expuesta directamente a la llama?).

El coeficiente de conductividad térmica (?) caracteriza la cantidad de calor necesario por m^2 , para que atravesando durante la unidad de tiempo, 1m de material homogéneo obtenga una diferencia de $1^\circ C$ de temperatura entre las dos caras.

La conductividad térmica se expresa en unidades de $W/m \cdot K$.

Es una propiedad intrínseca de cada material que varía en función de la temperatura a la que se efectúa la medida, por lo que suelen hacerse las mediciones a 300 K con el objeto de poder comparar unos elementos con otros.

La conductividad térmica en el caso de la paja depende sobre todo de la densidad de la bala, de la situación de las fibras (paralelas o verticales al paso del flujo del calor) y de la humedad de la paja. Una pequeña variación la puede dar el tipo de paja que utilizemos. La influencia del contenido en humedad sobre la conductividad térmica es en el caso de las balas de paja bastante inferior que en materiales de componentes minerales. Según Bauer⁶ (2000) la conductividad térmica aumenta con la humedad solo un 1-7%, mientras que en una pared de ladrillos con igual entrada de humedad, la conductividad térmica aumenta considerablemente más. Aunque parezca contradictorio, según ensayos realizados por diferentes laboratorios a nivel internacional, se ha comprobado que las balas colocadas de canto (35cm) tienen un aislamiento térmico superior a las colocadas planas (45cm). Esto se debe a la orientación de los tallos. En las balas de paja colocadas de canto, las cámaras de aire que forman los tallos tubulares no tienen contacto directo con el entorno, mientras que en las planas sí.

Para una bala de paja, hay diferentes valores de ?. Los valores oscilan entre 0,0337 y 0,086 W/mk (Mc Cabe⁷ 1993, GrAT 2001, feb.2000)

Según varios ensayos realizados en diferentes países centroeuropeos, se considera que la bala de paja, con una densidad de $100kg/m^2$ tiene un ? = 0,045 W/mK .

⁶ Nota al editor: no encuentro la referencia, tendremos que pedirlo a Maren
⁷ lo mismo

TABLA COMPARATIVA: Coeficiente de conductividad térmica

Material	W/m.K
Aire	0,02
Fibra de Vidrio	0,03 - 0,07
Corcho	0,04 - 0,30
Paja	0,045
Madera	0,13
Agua	0,58
Ladrillo	0,80
Acero	47,00 - 58,00
Aluminio	209,30
Oro	308,20
Cobre	372,10 - 385,20
Plata	406,10 - 418,70

Como vemos en esta tabla, la paja, el aire estanco, el corcho, la fibra de vidrio con un coeficiente bajo son muy buenos aislantes térmicos, mientras que el oro, la plata, el cobre con un valor muy elevado, son grandes conductores. Cuando un material tiene una elevada resistencia térmica, significa que es un buen aislamiento térmico y el valor es inversamente proporcional a la conductividad térmica.⁸

Inercia Térmica⁹

Es la propiedad que opone un cuerpo al cambio de temperatura. La masa de un edificio tiene la capacidad de almacenar energía en forma de calor, ésta puede ser liberada nuevamente al ambiente cuando la temperatura del entorno es menor a la temperatura de los materiales, así se consigue evitar las variaciones de temperatura dentro de la construcción. Si se somete un edificio a una variación del flujo de calor en forma periódica (variación típica a lo largo del día), la inercia térmica produce un desfase de la onda de temperatura en el tiempo y una amortiguación de esta onda al atravesar un elemento constructivo. La inercia térmica de un edificio depende de la masa de los elementos que lo constituyen, de la conductividad térmica, de la capacidad calorífica específica y de la ubicación relativa de cada una de las capas que conforman el elemento.

Un elemento de la envolvente de un edificio constituido por una serie de capas, almacena parte del calor que incide sobre la capa exterior y el remanente pasa a la segunda capa, almacenándose en esta; el remanente, a su vez, pasa a la capa siguiente y así sucesivamente hasta alcanzar la capa en contacto con el aire interior. Lo mismo ocurre desde dentro hacia fuera.

Por un lado, nos resulta sumamente cómodo que estos grandes bloques de “construcción” (la bala de paja) sean tan ligeros, ya que facilitan enormemente su colocación, pero por otro lado, esta falta de masa disminuye notoriamente su capacidad de almacenamiento térmico. Por tanto, deberemos solucionar este aspecto de otra

⁸ Es decir que para que un edificio sea eficaz térmicamente un coeficiente baja de conductividad es preferible.

⁹ En alguna parte del libro hemos referido a “masa térmica” esto refiere al hecho de que materiales con mucha masa (peso, densidad) tiene buena inercia térmica.

forma y es aquí cuando el revestimiento de los muros (en especial del interior) adquiere de nuevo gran relevancia, ya que además estabiliza y protege el muro. El arquitecto y científico Dr. Gernot Minke, de la Universidad de Kassel, Alemania, **recomienda la aplicación de revocos de tierra con un alto contenido de arenas y gravas finas** con un peso propio total de 1900 a 2100kg/m³ que con revocos de 3 -6cm ayudan a equilibrar la temperatura de la construcción. (FuenteLibro: Der Strohballenbau, Editorial Konstruktionshandbuch, Gernot Minke . Friedemann Mahlke).

Cuando tienes una estufa encendido dentro de la casa en invierno el revoco de barro de tus muros de paja pueden retener esta calor (siendo de que tiene mucho masa) y la paja (que es de baja conductividad) evite que esta calor llega a salir de la casa. El más grueso que sea el revoco interior, mayor masa tendrá y mayor capacidad de retener el calor. También se recomienda la utilización de suelos cerámicos macizos o de barro, construir la fachada sur con tierra u otro material con macizo, levantar los tabiques interiores con un material que tenga mucha masa, etc...

Estanqueidad: ni viento, ni aire.

En viviendas eficientes energéticamente se tiene que conseguir la mayor estanqueidad posible, ya que el viento y el aire que pueda penetrar (a través de fisuras, aperturas no estancas, etc.) reduce el aislamiento obtenido a través del muro de balas de paja.

En los muros de paja solo se puede garantizar la estanqueidad si se hace un trabajo a conciencia de relleno de las juntas entre bala y bala. Debido a que la colocación es en seco y que las caras de las balas no son planas, se generan muchas oquedades que tienen que ser correctamente rellenadas con paja. Otros puntos vulnerables son todas las zonas en que hay cambios de material, como alrededor de ventanas, puertas, zunchos, estructura, etc. donde se puede generar fisuras. Una vez hecho este trabajo de preparación, se puede conseguir una buena estanqueidad a través del acabado de tierra.

Protección ante la humedad

La humedad es el principal inconveniente de la construcción con balas de paja, por lo cual es muy importante conocerlo y prevenirlo.

Podemos distinguir los siguientes orígenes de humedad:

1. Humedad por capilaridad
2. Humedad por condensación
3. Humedad por salpicadura
4. Humedad accidental
5. Humedad incorporada durante la construcción

1. Humedad por capilaridad

El fenómeno de las humedades por capilaridad está causado por la hidrófila de los materiales de construcción, lo cual actúa como cuerpo esponjoso debido a la humedad y el agua presentes en la proximidad.

Las humedades que aparecen en muros y tabiques se producen generalmente por el ascenso de agua del terreno a través de la cimentación y de la estructura del edificio. Ello es debido a que la tierra está constantemente transpirando, absorbiendo el agua del ambiente o de la lluvia y conduciendo las aguas subterráneas, las posibles fugas de las redes de suministro y del alcantarillado.

Cuando no existen edificaciones, parte del agua se evapora por la superficie y el resto circula por debajo hasta encontrar un acuífero o el nivel freático. En cambio, la situación es muy distinta cuando se realizan obras en la superficie como es el caso de la pavimentación de aceras y calzadas o la ejecución de cimentaciones de edificios. En este caso, la corriente de agua subterránea se ve interrumpida y busca la salida a través de los muros enterrados, lo cual (por ser de un material poroso) facilita su ascenso por un mecanismo similar al de la salida de los humos de las chimeneas.

En el caso de la paja – y en cualquier otro tipo de construcción – es necesario protegerse ante estas humedades mediante una lámina impermeabilizante. Ésta actúa como barrera y no permite la penetración de la humedad. En el caso de que se coloquen láminas asfálticas, et c. encima de los sobrecimientos recomendamos alejar siempre la bala de paja, ya que por condensación, agua accidental, etc. pueden quedar restos de agua que penetran en la bala de paja pudriéndola. Colocando un marco inferior de madera, como muestran los detalles constructivos, el fardo de paja queda protegido.

2. Humedad por condensación

En invierno, si el techo o la pared exterior de la vivienda no se han aislado térmicamente, la cara interior de ese cerramiento se encontrará a baja temperatura.

En esa situación, el aire de la habitación que toque esa superficie se enfriará rápidamente, provocando que el vapor de agua contenido en el aire se condense, o es decir que pase de estado gaseoso (vapor de agua) a estado líquido —depositándose gotitas sobre la pared. Este fenómeno se conoce como condensación superficial. Sobre esa humedad crecerán los hongos, produciendo la tan indeseada "mancha de humedad".

También puede suceder que estas condensaciones se produzcan en el interior de la pared, azotea, o techo (condensación intersticial) con que se podrían dañar los materiales que componen la construcción. Por esta razón, es poco recomendable colocar materiales "fríos," como el hierro, dentro del muro de paja.

Este tipo de humedad tiene que ser eliminada con la mayor rapidez, ya que no deteriora únicamente los materiales que componen la construcción, sino que puede ser muy perjudicial para la salud (problemas respiratorios, alergias, etc.).

3. Humedad por salpicadura

Es aquella originada por la propia lluvia. Ésta, al rebotar en el suelo, puede salpicar el base del muro de paja creando daños graves. Por eso es tan importante construir unas "buenas botas y un buen sombrero." Eso se refiere a un buen sobrecimiento/banqueta de un material que eleve las balas de paja del suelo y una cubierta que proteja toda la vivienda. Otra alternativa es tener aleros suficientes anchos que la lluvia no llega a tocar el suelo cercano a la pared o utilizar un material muy absorbente en el suelo alrededor del muro para que no salpique la lluvia cuando lo toca. En zonas donde se padecen fuertes vientos que traen lluvia es aconsejable aumentar la altura del sobrecimiento o proteger la base de muro con un material de mayor resistencia que un revoco normal (baldosas, piedra, etc.).

4. Humedad accidental

Es aquella que se produce cuando revienta alguna cañería, un alcantarillado, etc. Ésta fuente accidental de agua tiene que ser inmediatamente arreglada y en el caso de la paja es recomendable diseñar de tal manera el muro que las balas de paja no estén a nivel con el pavimento interior por si acaso se inunda el edificio.

5. Humedad incorporada durante la construcción

Muchos materiales contienen un porcentaje de humedad. Por ejemplo el mortero o el revoco de tierra arcillosa tienen un elevado contenido en agua cuando acaban de pastarse, por lo que ha de dejarse secar antes de cerrar por completo la obra.

Descomposición de la Paja: Microorganismos

¿A quien no se le ha podrido alguna vez la fruta, un trozo de pan o cualquier otro comestible? Aunque nos resulte molesto que nuestros alimentos se nos pudran, es un proceso natural de suma importancia. También la paja se ve afectada por microorganismos como bacterias, hongos.. Cada uno de estos microorganismos tiene su propio funcionamiento, pero tienen necesidades similares en cuanto a energía, nutrientes orgánicos o minerales, agua y temperatura. En el caso de los hongos, éstos reciben sus nutrientes a través de la descomposición de la sustancia orgánica. Tienen la capacidad de descomponer celulosa y lignina, dos de los componentes básicos de las plantas (y de la paja). Aparte de los hongos, hay pocos organismos (bacterias) con esa capacidad.

Como hemos dicho, la función de estos microorganismos es fundamental para el equilibrio natural, pero en el caso de la construcción con balas de paja no lo es, sino es además perjudicial. Los hongos pueden aparecer en cualquier lado donde hay nutrientes y como la paja en sí misma lo es para ellos, deberemos regular otros factores que precisan para su supervivencia.

Nos quedan las siguientes posibilidades: controlar la humedad, temperatura, oxígeno, ph y el empleo de funguicidas.

Como resulta muy difícil controlar la temperatura, ya que los hongos proliferan en abanicos de temperatura muy amplios (prefieren el calor, no obstante todos hemos tenido alguna vez alimentos podridos en nuestra nevera), la paja contiene un alto porcentaje de oxígeno por su forma tubular y rechazamos el uso de sustancias tóxicas.

Recomendamos el control de la humedad para evitar el crecimiento de hongos. Según los expertos, se precisa aproximadamente una humedad relativa del 70% para la proliferación de estos organismos.

Cuando las condiciones son adversas para la supervivencia de los hongos, éstos disponen de un medio de propagación muy eficaz mediante esporas. Éstas son muy ligeras – por lo que el viento es un medio de transporte óptimo- y soportan condiciones ambientales muy adversas durante mucho tiempo. O sea que seguramente todos los cereales y otros vegetales presentan esporas, pero de lo que se trata es que no germinen.

Por tanto, cuando pasa la cosechadora por el campo y siega el cereal, mata la planta, a partir de este momento ya no ofrece ninguna resistencia a los microorganismos responsables de su descomposición. Si no recogemos enseguida la paja, la combinación entre las altas temperaturas y la humedad crearán un hábitat idóneo a los microorganismos iniciando el proceso de putrefacción. Por tanto **es de suma importancia que este proceso de recolección de la paja se haga correctamente**, ya que influirá totalmente en una buena calidad del material. ¡Se ha demostrado en muros de construcciones antiguas de balas de paja que bien almacenadas y protegidas pueden presentar un estado de salud óptima!

¿Pero qué pasa si se es alérgico a la paja? ¿Y los asmáticos?

Una paja seca y dorada, que huele bien, produce pocas alergias. Según expertos, el problema surge cuando se trata de paja en estado de descomposición, ya que suele ser el moho, hongos y las esporas que producen estas reacciones alérgicas. **Una vez revocada la paja, aunque no se trate de paja en tan buen estado, ya no presenta un problema a los asmáticos.**

La entomóloga Linda Wiener de Nuevo México recomienda la utilización de revocos transpirables, para que la paja que pudiera estar afectada por hongos, etc. pueda secarse, pereciendo de esta manera estos organismos. La científica recomienda que se evite la incorporación de malas hierbas y de cereal en la bala de paja, además de mantenerla seca durante la cosecha, el almacenamiento y durante la construcción así como revocar cuanto antes una vez finalizada la construcción.

Aislamiento Acústico

El aislamiento acústico pretende proteger un recinto contra la penetración de sonidos del exterior. Se trata de reducir el ruido, tanto aéreo como estructural, que llega al receptor a través del obstáculo (muro, etc.). Un buen aislamiento acústico pretende que la energía transmitida sea mínima. Los materiales adecuados para el aislamiento acústico son aquellos que tienen la propiedad de reflejar o absorber una parte importante de la energía de la onda incidente.

Para conseguir un aislamiento acústico efectivo se depende de una masa elevada del elemento constructivo: a mayor peso, mayor aislamiento acústico, especialmente en las bandas de frecuencias bajas. Pero también existe otra forma de conseguir un buen aislamiento acústico que consiste en una estructura tipo sándwich formado por dos membranas no demasiado rígidas con suficiente masa y un núcleo de material poroso como la bala de paja. (Fuente: Bruce King, René Dalmeijer, *Design of Straw Bale Buildings*, 2006).

En el caso de los muros de balas de paja, en el interior de la bala hay una absorción en que se mejora la acústica de un local de tal forma que se reduce el sonido que vuelve al mismo. Mediciones realizadas en muros de balas de paja de 45cm de espesor de un estudio de música en Australia dieron un valor interior de 114-117 Db y ruido exterior de 62-71 Db dentro del espectro de frecuencias entre 500-10.000Hz. Esto significa una diferencia entre 43 y 55 Db (John Glassford, mencionado en GrAT 2001).

Lo que todo esto quiere decir, es que **la paja es un aislamiento acústico excelente.**

Investigación y pruebas técnicas internacionales

En Internet hay muchísima información relacionada con estudios científicos relacionados con la construcción con balas de paja. Para simplificar, hemos enumerado algunas de las páginas Web que más información contienen sobre estudios, investigaciones, normativa, etc. que han hecho una gran labor de unificar toda esta información:

EBNet: Ecological Building Network. (Red de Bioconstrucción, EE.UU.)

<http://www.ecobuildnetwork.org/strawbale.htm>.

Su director es Bruce King, conocido por el trabajo de investigación que realiza. Entrando en el menú principal verás el “strawbale testing program” (programa de pruebas de balas de paja). Esta página Web contiene una extensa lista de pruebas y ensayos de resistencia al fuego, humedad, aspectos estructurales, etc. que pueden ser descargados. Es una de las páginas que hemos encontrado con mayor información sobre ensayos y estudios realizados con las balas de paja. Bruce King con otros muchos colaboradores ha publicado el libro “*Design of Strawbale Building*”¹⁰, especializado en estos ensayos. A continuación adjuntamos un listado de los ensayos y estudios realizados que se pueden descargar:

Aspectos estructurales:

Load-Bearing Straw Bale Construction (Construcción con muros de carga de paja)

Properties of Earth, Lime, and Lime-cement Plasters (Propiedades de revocos de tierra, cal, y cal con cemento)

Bearing on bales plastered 2 sides (Peso sobre balas revocados)

¹⁰ **Design of Straw Bale Buildings: The State of the Art.** Edited by Bruce King (contributors, John Straube, David Mar, Kelly Lerner, Rene Dalmeijer, and others), Green Building Press, 2006.

Mesh bond development (Desarrollo de adhesión de mallazo)

Mesh tension and shear at wood plates (Tensión de mallazo y zunchos de Madera)

Load-bearing and Creep (Muros de Carga y deslizamiento)

Out of plane load on wall (Cargas fuera de plano en un muro)

Aspectos térmicos:

Thermal Performance of Straw Bale Wall Systems (Actuación térmica de sistemas de muros de paja)

Humedad:

Monitoring Ridge Winery (Observación de una bodega de paja)

Moisture and Thermal Conditions for Degradation of Rice Straw (Humedad y condiciones térmicas para degradación de paja de arroz)

Moisture properties of straw and plaster/straw assemblies (Propiedades de humedad de paja y revoco/ y muros de paja)

Resistencia al fuego:

1-Hour Fire Resistance of a Non-Loadbearing Wall w/ Earth-Plaster (Prueba de resistencia al fuego de 1 hora en un muro de paja sin carga y revoco de tierra)

2-Hour Fire Resistance of a Non-Loadbearing Wall w/ Cement-Stucco (Prueba de resistencia al fuego de 2 horas en un muro de paja sin carga y revoco de cemento)

DCAT : Development Center for Appropriate Technology (Centro de desarrollo de tecnologías apropiados, EE.UU.)

www.dcat.net

Mirar en “*current work/resources*” (Trabajos actuales/recursos) www.dcat.net/about_dcat/current/codes.ph. Encontrarás numerosos documentos en formato pdf para descargar, desde numerosas normativas americanas, ensayos, videos, artículos y publicaciones. Aquí hay mucha información sobre normativas para construir con paja según de regiones: *Alternative Material Codes including strawbale and earth* (normativas de materiales alternativos: paja y tierra), *Austin Straw Bale Code*, *Boulder Straw Bale Code*; *California Straw Bale Code*, *Tucson/Pima County SB Code*; *Tucson/Pima County Earthen Code* (normativas de: Austin, Texas; Boulder, Colorado; California; Tucson/Pima County, Arizona).

Ontario Straw Bale Building Coalition (Coalición de Construcción con Paja de Ontario, Canadá):

<http://www.strawbalebuilding.ca/documents.shtml>

Aquí encontrarás muchísima información técnica. Podrás descargar en el apartado de “*RESOURCES*” (Recursos) alrededor de 40 ensayos, investigaciones, etc. relacionadas con la construcción con balas de paja que se han realizado en todo el mundo. Esta asociación ha realizado el trabajo de unificar muchos de los ensayos realizados alrededor del mundo.

Wikipedia

http://en.wikibooks.org/wiki/Straw_Bale_Construction/Resources/Technical_Studies

Aquí podrás encontrar también de forma unificada gran número de ensayos y sobretodo normativa americana.

Tabla de contenidos de estudios técnicos, informe y ensayos

- 1.1 *General*
- 1.2 *Acústica*
- 1.3 *Aislamiento térmico*
- 1.4 *Resistencia al fuego*
- 1.5 *Normativa*
- 1.6 *Aspectos estructurales*
- 1.7 *Humedad*
- 1.8 *Estudios en otros idiomas que no sea el inglés.*

CASBA: Californian Straw Building Association (EE.UU.)

<http://www.strawbuilding.org/>

En el menú principal verás un título que es “*Technical Information*” (Información técnica). No es demasiado extenso, pero contiene normativa sobre seguridad y salud, etc. La Web de esta asociación publica la normativa de construcción con balas de paja en California

Fasba: Fachverband StrohballenbauDeutschland e.V (Alemania)

www.fasba.de

La red alemana de construcción con balas de paja es la primera que ha conseguido una normativa explícita que permite el uso de las balas de paja como material de construcción en Europa. Hay numerosos documentos, ensayos y certificados oficiales colgados en formato pdf. De los ensayos más interesantes está el de resistencia al fuego que supera los 90min. En “info”, veréis un listado en que la primera palabra es “*downloads*” (descargas), encontraréis toda la información necesaria.

ASBN: Österreichisches Strohballennetzwerk (Austria)

www.baubiologie.at

Aquí encontrarás en el menú principal “Bücher, Studien, Certificate, Berichte”. Entrando verás que hay mucha información que se puede descargar en formato pdf. Casi toda la información es en alemán. Podrás encontrar mucha información sobre “Haus der Zukunft” (<http://www.baubiologie.at/asbn/hausderzukunft.html>).

Certificados de resistencia al fuego (clase B2 y F90) y conductividad térmica, etc.:

<http://www.baubiologie.at/download/zertifikate/b2.html>

<http://www.baubiologie.at/download/zertifikate/F90.html>

<http://www.baubiologie.at/download/zertifikate/lambda.html>

La Maison en Paille (Francia)

<http://www.lamaisonenspaille.com/>

Esta asociación ofrece un resumen de numerosos ensayos realizados tanto en Francia como de otros países. En la página principal hay que entrar en “*Tests Réalisés*” (pruebas realizadas).

TLS: The Last Straw

www.thelaststraw.org

Revista especializada en la construcción con balas de paja publica a menudo artículos relacionados con ensayos técnicos, investigación y normativa. Una de las revistas que discute estos aspectos con mayor detenimiento es el número “TLS#53/primavera2006”: Puesta al día de ensayos, investigación y normativa- por Joyce Coppinger, Andre de Bouter, Lars Keller, Chris Magwood, Mark Piepkorn y otros.