

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

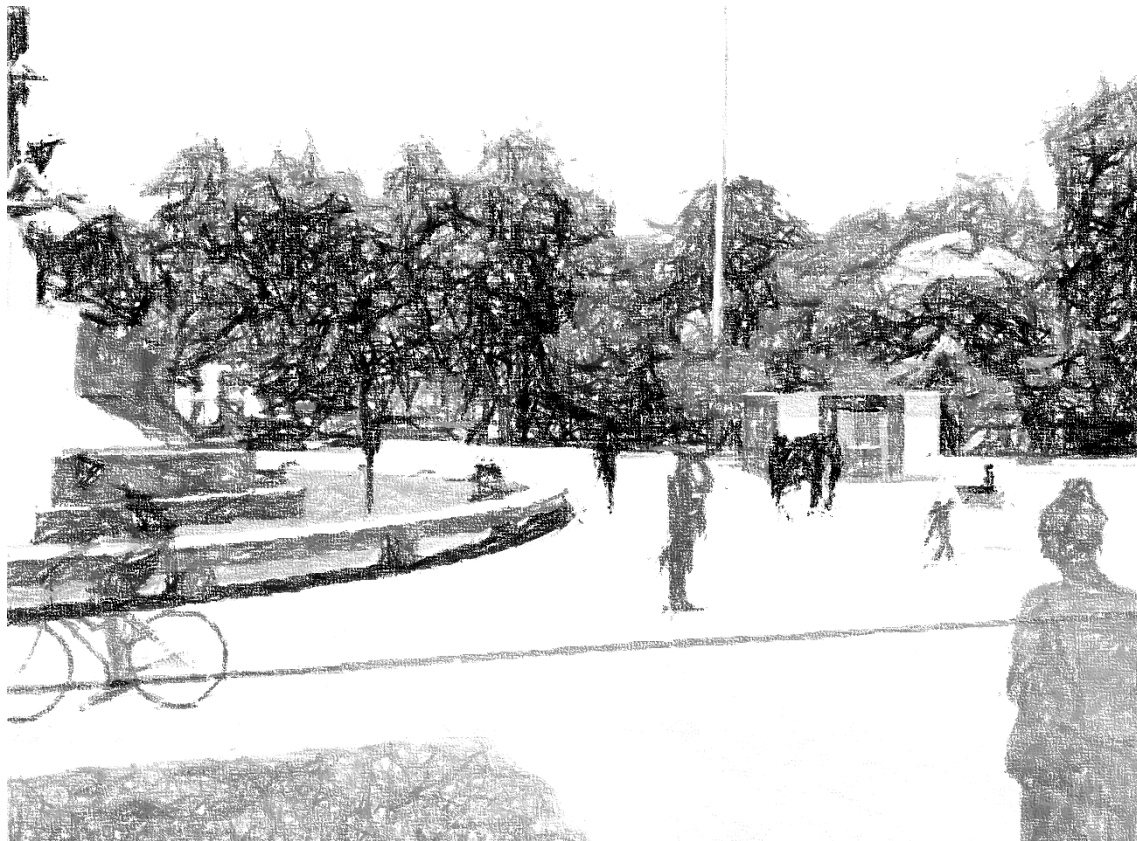
GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

TRABAJO DE FIN DE GRADO



CONSTRUCCIÓN LOW-COST

SISTEMA CONSTRUCTIVO CON WCM



ALUMNO: DELIA SUSANA ENCINAS MATEO

TUTOR: FÉLIX JOVÉ SANDOVAL

TFG JULIO 2018 UVa

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

TRABAJO DE FIN DE GRADO

CONSTRUCCIÓN LOW-COST SISTEMA CONSTRUCTIVO CON WCM

ALUMNO: Delia Susana Encinas Mateo

TUTOR: Félix Jové Sandoval

JULIO 2018

RESUMEN

La finalidad de este trabajo es realizar un análisis y un estudio lo que es la construcción Low-Cost, así como el conocimiento de las diferentes opciones de materiales y técnicas que existen, todo ello con materiales reciclados o reutilizados, numerando algunos ejemplos, sobre todo en el ámbito de construcciones con papel y cartón.

Una vez que se consigue una visión general, se trata estudiar el WCM (Mandrill de cartón soporte de papel higiénico), desde su fabricación y producción, hasta su posible aplicación en la arquitectura, conociendo sus ventajas y desventajas gracias a la realización de una serie de ensayos.

Tras la realización de dichos ensayos se genera una propuesta arquitectónica con la inclusión de un sistema de cerramiento con el material de WCM la cual promueve las ideas de aplicación de materiales reutilizados y su posible recogida y reciclaje. Se desarrolla y propone un Stand temporal de verano para recogida de WCM y actividades de concienciación ciudadana para el reciclado.

PALABRAS CLAVE

Arquitectura

Cartón

Reutilización

Mandrill

WCM

ABSTRACT

The purpose of this work is to perform an analysis and study what is Low-Cost construction, as well as knowledge of the different options of materials and techniques that exist, all with recycled or reused materials, numbering some examples, most of them about construction with paper and cardboard.

When have a general vision is achieved, it is a matter of studying the WCM (Mandrel cardboard supporting toilet paper), from how it is the manufacture and the production, to the possible application in architecture, knowing the advantages and disadvantages thanks to the realization of a series of essays.

After carrying out these tests, an architectural proposal is generated with the inclusion of an enclosure system with the WCM material, which promotes ideas for the application of reused materials and their possible collection and recycling. A temporary Summer Stand for WCM collection and citizen awareness activities for recycling is developed and proposed.

KEY WORDS

Architecture

Cardboard

Reuse

Mandrel

WCM

ÍNDICE

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. CONSTRUCCIÓN LOW-COST**
- 3. ALGUNOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN LOW-COST**
 - 3.1. Botellas PET
 - 3.2. Botellas de vidrio
 - 3.3. Latas de aluminio
 - 3.4. Envases de tetrabrik
 - 3.5. Palets
 - 3.6. Caucho de neumáticos
 - 3.7. Contenedores marítimos
- 4. CONSTRUCCIÓN CON PAPEL Y CARTÓN**
 - 4.1. Definición del material
 - 4.2. Producción del papel y cartón
 - 4.3. Características y propiedades
 - 4.4. Tipos
 - 4.5. Ejemplos de construcción con papel y cartón
- 5. CONSTRUCCIÓN CON TIERRA**
 - 5.1. Definición del material
 - 5.2. Características y propiedades
- 6. ROLLOS DE CARTÓN, MADRILES WCM**
 - 6.1. Definición del material
 - 6.2. Producción y consumo
- 7. PROPUESTA**
 - 7.1. Introducción
 - 7.2. Desarrollo y propuesta
 - 7.2.1. Clasificación
 - 7.2.2. Ensayos
 - 7.2.3. Aplicación práctica, Proyecto de construcción de Stand
- 8. CONCLUSIONES**
- 9. BIBLIOGRAFÍA**
- 10. LISTA DE ILUSTRACIONES**
- 11. LISTA DE TABLAS**
- 12. ANEXO DEFINICIÓN PROYECTO**

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de las construcciones son realizadas actualmente por medio de materiales industrializados, que conllevan una especialización elevada, así como un precio mayor en comparación a las técnicas realizadas con materiales no convencionales, y la utilización de materiales reciclados como es el caso del papel y el cartón, aumentando así su vida útil. Este tipo de materiales son denominados *low-cost* y a día de hoy todavía queda mucho tema por investigar y por descubrir las distintas técnicas para su realización.

Para comenzar con el estudio primero se debe realizar un análisis tanto de en qué consiste y cómo se realiza este tipo de construcción *low-cost*, los distintos materiales que se pueden utilizar, con sus propiedades y técnicas de trabajo, así como el mayor aprovechamiento de la propia materia prima para alargar su vida útil, dándole un uso distinto en el caso de los materiales reciclados, ya sea transformándolos como reutilizándolos incluyéndolos en la ejecución del proceso constructivo.

Para ello se realiza una búsqueda de información y datos en ejemplos de construcciones con este tipo de elementos, para realizar un posterior estudio y análisis con la base de los conocimientos adquiridos.

Tras este proceso, con toda la información necesaria obtenida, se procederá a realizar una propuesta con el material reciclado, de tal forma que se consiga un método constructivo capaz de poseer las características necesarias. Se deberá proceder a realizar ensayos con el propio material reciclado, que junto con los conocimientos adquiridos se podrá demostrar la viabilidad y correcta elección de la propuesta, recolectando los datos obtenidos y los distintos resultados.

2. CONSTRUCCIÓN LOW-COST

La construcción low-cost, de bajo coste, tiene como principio el uso de materiales reutilizables unidos mediante una técnica que no precise de apoyo de gran maquinaria. El material será de coste reducido debido a que puede ser procedente de la naturaleza del entorno en el que se va a realizar la construcción, acción que produce un ahorro en cuanto a coste y energía debido a que no es necesario el transporte de los materiales, por lo que a mayores se reduce la producción de gases contaminantes; o procedente de materiales a los que se les ha terminado la vida útil para la que fueron diseñados y creados, pudiéndoles dar otro uso, de tal forma que se consiga ampliar su función.

La utilización de los materiales propios de la naturaleza es una fuente de recursos prácticamente inagotable, de modo que son ilimitados, y el actual ritmo de explotación y producción está necesitado de una alternativa que colabore con la preservación del medio ambiente.

Con esto se consigue reducir el impacto medioambiental debido a que por la reutilización se consigue disminuir la generación de desechos y residuos, y además conlleva un ahorro de energía al no ser necesario un posterior proceso de transporte a plantas de residuos y tratamiento de los mismos. Al no ser necesaria la técnica especializada se podrá disminuir también el consumo energético por la ausencia de la maquinaria en obra, pudiéndose alcanzar en algunos casos la propia autoconstrucción.

El término *low-tech* va ligado con este tipo de construcción debido a que para su realización no se precisa de una maquinaria ni técnicas desarrolladas, ligando así con el abaratamiento de la propia obra de edificación que se realiza.

A la hora de realizar una construcción convencional actual el precio puede llegar a ascender un 1.000% debido a los materiales empleados, su creación y producción ya que cada vez se utilizan más piezas prefabricadas, su transporte,

su aplicación en obra por medio de técnicas y maquinaria de elevado coste y dificultad de manejo y uso.



Ilustración 1. Interior de vivienda de 35 m2 de contenedores de aluminio. Fuente.
<https://www.20minutos.es/noticia/1715324/0/construccion/casa/bioconstruccion/>



Ilustración 2. Exterior de vivienda de 35 m2 de contenedores de aluminio. Fuente.
<https://www.20minutos.es/noticia/1715324/0/construccion/casa/bioconstruccion/>



Ilustración 3. Exterior vivienda de superadobe. Fuente.
<https://www.20minutos.es/noticia/1715324/0/construccion/casa/bioconstruccion/>

Un ejemplo de construcción de una vivienda construida con contenedores de aluminio de 35 m2, por un precio de 6.000 euros en el municipio de Novelda (Alicante), sumando a mayores el precio del terreno. Quedándose en unos 175 euros/m2 construido. Esta cifra no se aproxima ni lo más mínimo al precio por metro cuadrado de la vivienda más barata de la zona del municipio, ya que data de 743,80 euros por metro cuadrado.

Otro ejemplo es una vivienda realizada con la técnica del superadobe, la cual consiste en rellenar sacos continuos de tierra estabilizada con cal, esta técnica proviene de tiempos antiguos como las técnicas militares de levantar trincheras a base de rellenar sacos de tierra, como muros. Está perfeccionada por el arquitecto iraní Nader Khalili basándose en la geometría del arco, utilizado en construcciones

de cooperación al desarrollo como respuesta humanitaria con la creación de pequeñas edificaciones que soporten condiciones climáticas extremas.

Esta vivienda dispone de una superficie de 90 m2 construidos, con un precio de 70.000 euros, este aumento de precio es debido a que se realizó contratando

mano de obra, si hubiera sido una autoconstrucción el precio se habría reducido a la mitad aproximadamente. De este proyecto lo destacable a mayores es que la energía eléctrica procede de una instalación de energía alternativa de placas solares, sin ser necesario ningún otro sistema de apoyo debido a que es suficiente con ese suministro. En este sistema el propietario invirtió 12.000 euros, afirmando por medio de una entrevista a la revista que ha rentabilizado la inversión sin problema.



Ilustración 4 y 5. Interior de vivienda de superadobe. Fuente.
<https://www.20minutos.es/noticia/1715324/0/construccion/casa/bioconstruccion/>

Con esto se llega al término de "bioconstrucción", que se caracteriza por tratar de minimizar el impacto medioambiental de los procesos de producción y explotación de los materiales sostenibles, ya sean naturales del entorno o reutilizados aumentando el tiempo de vida útil, de una manera respetuosa con la biodiversidad, y pensando en el futuro de una manera ética con las próximas generaciones.

Este tipo de construcción no está muy desarrollado actualmente en nuestro país, pero sí en otras zonas como América, donde se concientia a la población por medio de diferentes organizaciones o pequeñas empresas que proponen la enseñanza de las técnicas y el uso de materiales naturales como la tierra, paja, bambú, piedras, etc., impartiendo pequeños cursos de autoconstrucción. Aún así este tipo de cursos y promociones de enseñanza no es suficiente, debido a que para crear arquitectura es necesario una especialización, realizar la formación de expertos en técnicas que actualmente no existen en este tipo de construcciones, debido a que se deben cumplir las diferentes normativas que se establecen como con cualquier otro tipo de material. Como en todo proyecto se debe comenzar por un análisis exhaustivo del emplazamiento y el

entorno, las características del clima, del terreno, orientación, necesidades de uso y funciones, etc.

Por otro lado, a mayores de la comparación de costes de los dos tipos de arquitecturas, como análisis medioambiental se debe comparar la producción de desechos en ambos casos.

En la construcción típica actual en nuestro país se produce uno de los impactos más significativos en producción de desechos por medio de la demolición y construcción. Con ello lo que se consigue es aumentar la ocupación significativamente de los vertederos y también el transporte, produciendo contaminación atmosférica, y dificultando las opciones de valorización del residuo por su incremento de coste debido a la necesidad de un posterior reciclaje.

TABLA 1. Residuos generados por actividades económicas. Fuente: INE

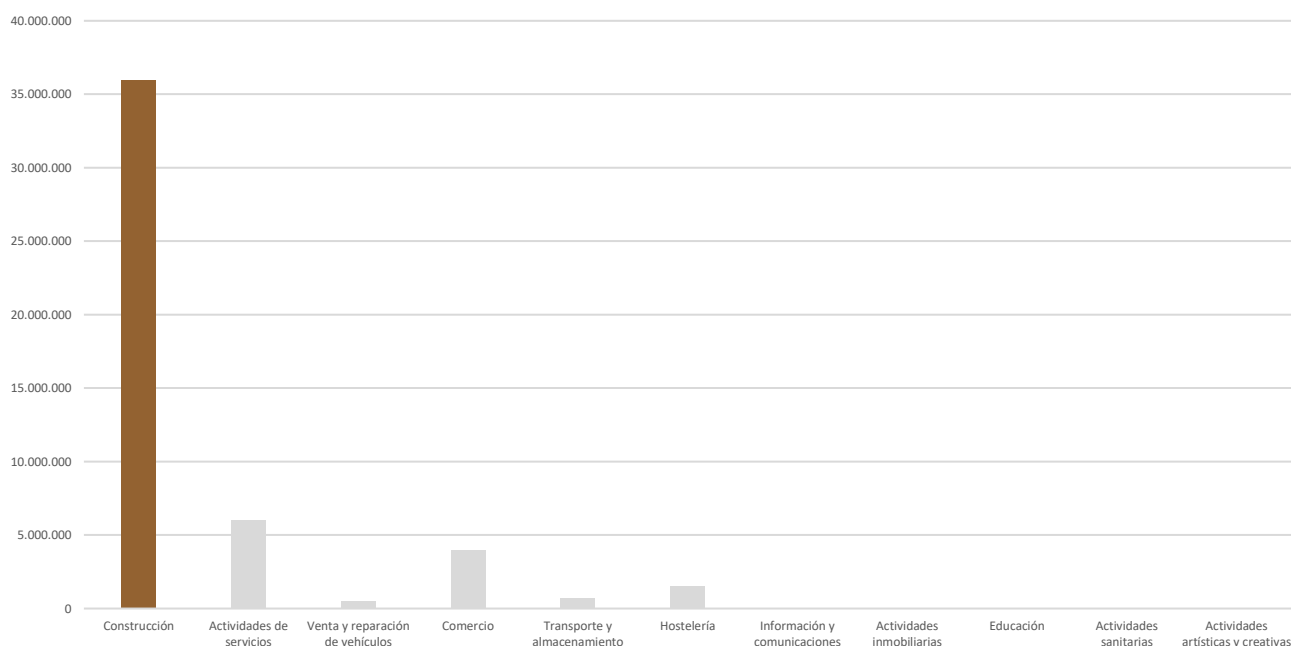


TABLA 2. Residuos generados en el Sector de la Construcción. Fuente: INE

Residuos generados por el sector de la construcción. Año 2015			
Unidades: miles de toneladas (Tm)			
Residuos generados por tipo	No peligrosos	Peligrosos	Total
Minerales	35.566.730	65.568	35.632.298
Madera (incluye envases)	140.327	-	140.327
Metálicos	132.302	-	132.302
Plásticos (incluye envases)	39.298	-	39.298
Papel y cartón (incluye envases)	35.069	-	35.069
Residuos corrientes mezclados	28.145	82	28.227
Residuos animales y vegetales	12.586	-	12.586
Químicos	368	9.096	9.464
Vidrio (incluye envases)	8.967	1	8.969
Equipos desechados	1.458	3.867	5.325
Lodos comunes	2.145	-	2.145
Caucho	449	-	449
Residuos sanitarios y biológicos	15	1	15
Textiles	10	-	10
Residuos que contienen PCB	-	3	3
TOTAL	35.967.869	78.619	36.046.488

Los datos han sido obtenidos del Instituto Nacional de Estadística (INE), según un estudio realizado a base de encuestas en el año 2015.

Como se puede apreciar en la gráfica, la actividad de construcción, según las estadísticas, es el sector que mayor cantidad de toneladas de residuos produce, 36 millones aproximadamente.

Dentro de este sector, si lo clasificamos según el tipo de material de residuo, el mayor porcentaje es de residuos minerales, residuos solidificados y vitrificados, con 35,6 millones.

Con ello lo que se consigue no es solo la acumulación de residuos en vertederos, es un aumento de consumo y contaminación con los procesos asociados de transporte y tratamiento, mientras que con la utilización de materiales naturales o reciclados y reutilizados, el nivel de desecho disminuiría y por lo tanto los valores de contaminación tanto por transporte como por tratamientos serían mucho menores.

Tras un análisis del fracaso de la gestión de los residuos actualmente, hay que encontrar una solución y alternativas disponibles. Un material se fabrica con la finalidad de tener un único uso, y a su vez está compuesto de materiales duraderos y de altas prestaciones, a los cuales se les podrían aumentar su vida útil con otros ciclos de vida o uso, en lugar de tener un final inmediato en vertederos y realizar únicamente el proceso de reciclaje, habiendo más opciones que podrían considerarse como etapa intermedia.

Para solventar estos problemas se puede acudir a la regla de las tres erres:

3R= Reducir + Reutilizar + Reciclar

Ciertamente, la ventaja de reutilizar otorgando otro uso a los materiales, en comparación con el reciclaje, es que se puede aumentar la vida útil sin ser preciso ningún tipo de proceso para cambiar las propiedades del mismo, se puede utilizar así el material directamente con sus condiciones. Con esto, además de conseguir todos los beneficios nombrados anteriormente, se llega a una disminución del consumo de materias primas, e incluso a un ahorro con respecto tratamiento de estas o procesos de fabricación.

Incluyendo imaginación, disposición y entusiasmo se puede llegar a crear ejemplos de arquitectura experimental de todo tipo y con todo tipo de materiales reutilizados aplicados directamente. Este tipo de soluciones se encuentran mayormente en zonas geográficas donde hay una falta de recursos y se trata de conseguir una vivienda que cubra las necesidades mínimas u otras necesidades sin la inversión de capital económico, realizándolo mediante materiales de todo tipo que dispongan a su alcance en el entorno.

Consiguiendo una construcción sin una técnica profesional, pudiendo ser incluso autoconstrucciones, donde el material se utilice de la manera más óptima posible, jugando mayormente con el ingenio, sin precisar la intervención de maquinaria ni equipos especializados.

Ahorrando en conjunto energía, materiales nuevos, fabricación y transporte de los mismos, y produciendo a su vez un menor impacto medio ambiental.



Ilustración 6. Botellas de agua tipo PET. Fuente. <http://xornaldeg Galicia.es/especiales/gente/12287-en-la-cadena-de-consumo-los-microplasticos-comienzan-a-ser-un-verdadero-problema-para-la-salud-sobre-el-que-comienzan-a-alertar-los-expertos>

Ilustración 7. Reutilización de material con otro uso. Fuente. <http://www.gagiers75.info/3145/>

3. ALGUNOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN LOW-COST

3.1. BOTELLAS PET

Este material, de consumo diario, se encuentra en las botellas de aguas. El PET es un tipo de plástico, denominado tereftalato de polietileno, que posee las ventajas de resistir a los ataques de los agentes químicos, rigidez y estabilidad a la intemperie. Lo normal es realizar un proceso de reciclaje para la fabricación de otros elementos plásticos como nuevos envases, pero su vida podría alargarse sin ser preciso ningún tipo de tratamiento, colocándolo directamente como material de construcción. Las características de este material han llevado a que actualmente se realice una amplia diversidad de soluciones constructivas. Se pueden aplicar tanto a nivel estructural como a nivel de cerramiento, ya sea cubierta, fachada, muro, e incluso como instalación de climatización o iluminación. Las botellas pueden encontrarse unidas entre sí, rellenas, aplastadas, atadas, pegadas, vacías, trituradas y mezcladas con otros materiales para conseguir una masa adherente, etc. Además, la variación también puede apreciarse en su método de colocación, ya que pueden disponerse unas encima de otras de manera horizontal, ir unidas entre ellas de forma vertical, de manera mecánica o precisando elementos de unión entre ellas.



Ilustración 8. Muro con botellas PET rellenas de tierra y atadas por el tapón. Fuente. <http://www.ddecoracion.com/arquitectura/construir-con-envases-de-pet/>

Ilustración 9. Cúpula a base de estructura modular de botellas PET. Fuente. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/tag/botellas>

Con ello se conseguirá el tratamiento de un material consumido masivamente como es el plástico, que tarda 450 años aproximadamente en biodegradarse y del que apenas se recicla la mitad de las botellas que se consumen.

3.2. BOTELLAS DE VIDRIO

Este tipo de material, al ser de vidrio puede incluirse en un proyecto de arquitectura incluso buscando una estética de juego con la luz, ya que permite el paso de esta a través. Las botellas en general, al tener la forma que tienen, tanto las de PET como las de vidrio, si se cierran podría conseguirse una cámara de aire, con la ventaja a mayores de que no pierden su color original y son fáciles de limpiar.

Como se aprecia en la ilustración 10, las botellas se pueden reutilizar sin ningún tratamiento de reciclaje, únicamente limpiándolas, como elemento decorativo y característico de una obra arquitectónica.

Por el contrario, en la ilustración 11 en el templo budista Wat Pa Maha Chedi Kaew de Tailandia, se puede ver como las botellas de vidrio pasan a formar parte del propio muro, mezclado con otros elementos constructivos para aumentar considerablemente su capacidad de resistencia, consiguiendo una particular estética.



Ilustración 10. Paramento decorativo de botellas de cristal. Fuente. <https://rolloid.net/ideas-para-reutilizar-las-botellas-de-cristal/>

Ilustración 11. Templo Wat Lan Kuad realizado con botellas de cerveza. Fuente. <https://elcomercio.pe/casa-y-mas/arquitectura/templo-budista-construido-botellas-vidrio-214588>

3.3. BOTELLAS DE VIDRIO

Tipo de fachada denominada Can Cube, sistema de latas de aluminio de desecho de bebida carbonatada, las cuales se encuentran confinadas en un marco de aluminio, este proyecto es de un edificio de vivienda y oficinas en Shanghai, China. El edificio es totalmente eficiente y sustentable.

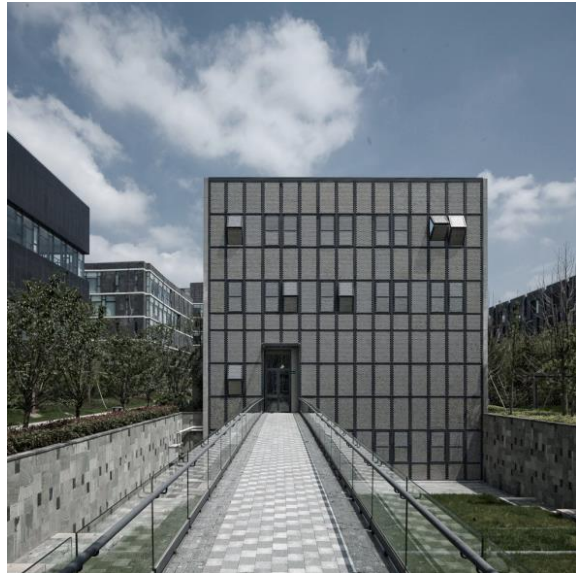
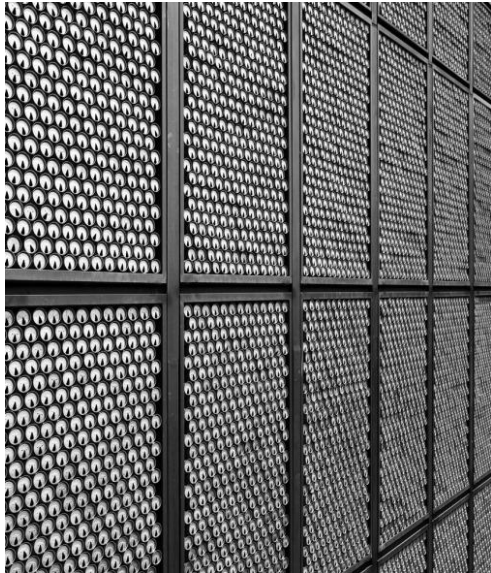


Ilustración 12. Sistema de fachada de latas de aluminio Can Cube. Fuente.
<https://www.taringa.net/posts/offtopic/11146169/Arquitectura-cubo-de-latas-en-Shangai.html>

Ilustración 13. Edificio de vivienda y oficinas en Shanghai, China. Fuente.
<https://www.taringa.net/posts/offtopic/11146169/Arquitectura-cubo-de-latas-en-Shangai.html>



Ilustración 14. Pabellón con latas de refresco. Fuente.
<http://www.arcus-global.com/wp/arquitectura-con-latas/#prettyPhoto>

Otro ejemplo es el caso de Luis Calquín, un alumno de la escuela de arquitectura en Chile, que levantó un pabellón con refrescos en San Vicente de Tagua, donde había excedente de hojalata y consiguió una pieza constructiva a base de aplastar latas de refresco y comprimirlas.

3.4. ENVASES DE TETRABRIK



Ilustración 15. Pabellón de tetrabriks en Granada. Fuente. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-222696/pabellon-de-tetrabriks-cuac-arquitectura-sugarplatform/50e63b00b3fc4b138700002d-pavilion-of-tetrabriks-cuac-arquitectura-sugarplatform-phot>

Un ejemplo de construcción con este material es el Pabellón realizado por CUAC Arquitectura + Sugarplatform en Granada, España. Se utiliza este producto de consumo diario. Posee 45.000 briks reciclados unidos entre sí por medio de grapas y bridas, las cuales permiten unir unas piezas con otras, en ángulos de 135°.

Con ello se consiguen tanto muros portantes, como celosías que permite el paso de la luz.

3.5. PALETS

Material modular también utilizado para el almacenamiento y transporte. Actualmente como en el caso anterior también se están realizando muchas obras con él, sobre todo de carácter temporal. Es rápido de colocar y es suficiente con un montaje en seco, debido a que por si solo, sin hacer falta ningún aglomerante, mantiene la estabilidad. Pueden ser estructurales y para ello se apilarán de manera horizontal y en el caso de cerramiento se colocarán de manera vertical a modo de tabique.

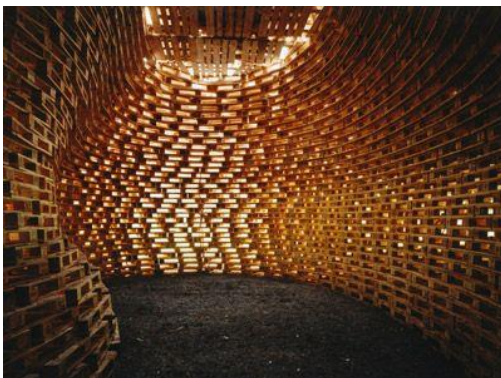


Ilustración 16. Palettenpavilion, pabellón temporal. Fuente. <https://www.pinterest.es/pin/507569820473001184/?lp=true>

Ilustración 17. Casa manifiesto en Chile. Fuente. <http://www.casasecologicas.org/2012/04/casa-con-palets-de-construccion.html>

3.6. CAUCHO DE NEUMÁTICOS



Ilustración 18. Caseta con caucho de neumáticos. Fuente. <https://www.apartmenttherapy.com/recycled-tire-garden-shed-160569>

Debido a que este material es extremadamente duradero, resistente al agua y tarda bastante tiempo en degradarse, es idóneo para utilizarlo como revestimiento, tanto de acabado de fachada como de cubierta, impermeabilizándolo.

Como ejemplo en la ilustración 20, un proyecto de una caseta de jardín donde se utilizan materiales reutilizados como las ventanas verticales que son recuperadas de una vieja tienda, el revestimiento de fachada y techo a base de neumáticos de automóvil, bandejas de acero inoxidable y madera de desecho. Estos neumáticos se encuentran aislados con lana de roca y al interior el revestimiento es de una variedad de madera encontradas, creando un mosaico de materiales reciclados.

3.7. CONTENEDORES MARÍTIMOS

Actualmente están cogiendo fuerza este tipo de arquitecturas. Normalmente son compuestos en base a acero corrugado, aunque pueden encontrarse también de otros materiales como aluminio y madera. Los contenedores han sido diseñados para el almacenaje y transporte de mercancías a largas distancias y con condiciones climáticas extremas, por lo que son la solución más estanca, económica y segura. A mayores se le suma que tienen la escala humana adecuada por lo que son válidos para la realización de espacios habitables en su interior. Son fácilmente apilables, de construcción rápida y bajo coste. Se pueden llegar a realizar proyectos desde lo más simple con una sola planta hasta formas y composiciones complejas.



Ilustración 19. Casa Huiini con cuatro contenedores. Fuente. <http://blog.is-arquitectura.es/2017/03/28/huiini-casa-con-4-contenedores-de-40pies/>

Ilustración 20. Oficinas en Israel con siete contenedores Fuente. <http://projects.archiexpo.es/project-27420.html>

Estos son algunos ejemplos de los infinitos materiales, así como de las técnicas o soluciones que puede haber a la hora de realizar una construcción de tipo low-cost. Solo se precisa compaginar la sostenibilidad y reutilización con el ingenio y la experimentación.

4. CONSTRUCCIÓN CON PAPEL Y CARTÓN

4.1. DEFINICIÓN DEL MATERIAL

PAPEL

Hoy en día este tipo de material se encuentra presente en casi todo nuestro alrededor y productos que consumimos, ya sea como composición del mismo, envase, elemento de transporte y protección, etc. Por ello es una opción que actualmente se está experimentando en la arquitectura y mobiliario, sobre todo en aquellos que tienen un carácter temporal.

La constitución del papel es a partir de una lámina elaborada de celulosa, proveniente de la madera de los árboles principalmente. Se genera una pasta de fibras vegetales que se tritura y posteriormente, para ser transformadas en papel, deben pasar una serie de procesos. Primero se remojan las fibras en agua, una vez conseguida la pasta deberá someterse a un proceso de blanqueamiento, para conseguir el tono preciso; lo siguiente es dejar que sequen para que consigan endurecerse, añadiendo ciertos productos químicos como polipropileno o polietileno para otorgarles una serie de características o propiedades especiales. La unión de las fibras se consigue a partir del fenómeno de enlaces por puentes de hidrógeno.

La definición en la RAE de papel:

“Del cat. *paper*, este del lat. *papyrus* 'papiro', y este del gr. πάπυρος *pápyros*

1. m. Hoja delgada hecha con pasta de fibras vegetales obtenidas de trapos, madera, paja, etc., molidas, blanqueadas y desleídas en agua, que se hace secar y endurecer por procedimientos especiales.”

Material muy común e importante a lo largo de toda la historia ayudando al progreso de la humanidad y la transmisión de hechos y conocimientos. Ha sufrido un largo proceso de transformación, evolucionando notablemente hasta ser el material que utilizamos hoy en día en las tareas cotidianas. El papel ha pasado a ser uno de los materiales más populares debido a su simpleza y bajo

coste. Desde el inicio de la historia ha estado presente, ya que era necesario un soporte para plasmar los pensamientos, acontecimientos, etc.

Durante la prehistoria al no existir este material, en su lugar se utilizaban piedras o paredes. En el antiguo Egipto el material fue adquiriendo sofisticación apareciendo el uso y producción del papiro, así como es el caso del pergamino en la Edad Media europea.

Las primeras existencias de experimentos con papel se remontan al siglo II a.C. en el imperio chino, donde utilizaban la seda o pasta de arroz como soporte para la escritura. Tuvieron que transcurrir aproximadamente 600 años para que la fabricación de papel llegara a Europa y extenderse por otras zonas. Después de China se desarrolló por Japón, después por las zonas árabes y estos últimos fueron los que lo introdujeron en Europa. Se consiguió un desarrollo mayor en torno a mediados de siglo XIV ya que se realiza con fibras de algodón y por aquella época se popularizó el uso de ropa de algodón, lo cual conllevó a disponer de suficientes residuos de ropas viejas para poder generar papel de manera continua. Con este desarrollo más adelante se llegará a la creación de la imprenta con la difusión de la cultura y la transmisión de conocimientos.

Después de todo este proceso el papel ha conseguido modernizarse y convertirse en un material cotidiano y de coste bajo, produciéndose así otras variaciones del mismo como pueden ser el cartón, papel higiénico, muebles, decoración, etc.

CARTÓN

Material compuesto de varias capas de papel superpuestas, provenientes de fibra virgen o papel reciclado. La diferencia con el papel es que al tener un mayor número de capas, el cartón consigue un mayor espesor, dureza y resistencia. Es un material barato en cuanto a su fabricación por lo que es el idóneo para utilizarlo como paquete o embalaje de otros productos y protegerlos en su transporte o almacenaje. Al estar compuesto por lo general de unas fibras más largas y fuertes el cartón permite pasar el proceso de reciclaje varias veces.

La definición en la RAE de cartón:

“De *carta* 'papel'.

1. m. Materia formada por la superposición de hojas de pasta de papel adheridas unas a otras con la humedad por compresión y secadas después por evaporación, con lo que adquiere cierta dureza.”

4.2. PRODUCCIÓN DEL PAPEL Y CARTÓN

PAPEL

Diferentes tipos de procesos de elaboración en la fabricación del papel:

-Pulpa de trapos: Creado a partir de fibras de algodón, lino o cáñamo. Esta técnica era más popular en la antigüedad, hasta mediados del siglo XIX ya que entonces fue cuando se comenzó a producir a partir de la pulpa de la madera.

-Pulpa mecánica de madera: La mayoría de la pulpa proviene de procesos mecánicos, ya que las fibras son pequeñas y débiles y cuentan con un porcentaje de lignina en su composición, por ello con el tiempo se vuelve amarillo y quebradizo.

-Pulpa química de madera: en este tipo durante el proceso se elimina la lignina por lo que se generan así unos tipos de papeles mucho más resistentes que los de la pulpa mecánica y consiguiendo un acabado liso sin verjurado.

-Pasta morena: se obtiene mediante un proceso de desfibrado de la madera, una vez que ha sido lavada y hervida para eliminar así las materias que estuvieran incrustadas. A partir de la pasta formada por fibras largas y resistentes se crea y producen cartones, papel para embalar, sacos de papel, y todo aquel tipo de papel que precisa tener una mayor resistencia para su aplicación.

-Pasta de paja: a partir de cereales y arroz. Este tipo de papel tiene la característica de poseer un color amarillento y su aplicación es para el interior del cartón ondulado o los comunes papeles de carnicería.

-Pasta de recortes: se consigue mediante la mezcla de recortes de papel con pastas para así conseguir abaratar los costes. Los recortes pueden ser de bobina, de guillotina, domésticos para papeles de baja calidad o de la calle o impresos que son los utilizados para fabricar el cartón gris.

CARTÓN

Diferentes procesos de elaboración en la producción del cartón:

-Materia prima cruda: Proveniente principalmente de los pinos como materia prima. Al ser una especie arbórea de rápido crecimiento, las fábricas poseen grandes cultivos. La parte utilizada son los troncos que son enviados a una fábrica de pasta, en las cuales se mezclan también con materiales reciclados.

-Proceso Kraft: este término es alemán y significa fuerte. En este proceso se utiliza la parte del tronco del árbol la cual se parte en trozos de menor tamaño para pasar posteriormente por la máquina trituradora en la cual, al estar a alta presión, se consigue eliminar la lignina disolviéndola. Las fibras resultantes se limpian y se envían a la posterior fabricación del material final.

-Máquina de corrugado: la característica principal de este proceso es que posee unos rodillos pesados para conseguir la ondulación del papel. Estos rodillos son o de precalentamiento o de ondulación (cubiertos con estrías o rebordes que ondulan el papel para convertirlo en cartón corrugado).

-Encolado: Una vez conseguido tanto el papel Kraft como el ondulado, este último se coloca entre dos hojas del primero. Para realizar el encolado se precisa de un conjunto de rodillos con cola de almidón para fijar las diferentes capas de hojas de papel.

-Los espacios en blanco de caja: por último, una vez conseguido las grandes hojas de cartón, se realizan los cortes necesarios para formar el desarrollo de una caja, después se pasará por una máquina flexográfica que realizará los doblajes para conseguir el producto acabado, la caja.

En muchos países actualmente es obligatorio el uso parcial o total de materiales reciclados para la fabricación del cartón. Éste a su vez se puede usar como material reutilizado una vez que se ha acabado la vida útil para la que se había creado, pudiendo ser utilizado para mobiliario, decorado, arquitectura...

España utiliza un 84% de papel para reciclar, por lo tanto, la industria española es la más recicladora de Europa, superada sólo por Alemania y empatada con Francia.

También puede darse una serie de tratamientos para conseguir que aumente su resistencia y poder resistir las inclemencias medioambientales.

El consumo de papel y cartón en España se ha ido incrementando de manera continua durante los últimos años. Se ha pasado de un consumo medio de papel y cartón de 116 kilos por habitante en la época de los años noventa, a unos 176 kilos anuales por persona.

En 2017 en España se produjeron 7,9 millones de toneladas en total, 1,7 millones de celulosa y 6,2 millones de papel y cartón. Actualmente en nuestro país existen diez fábricas de celulosa y sesenta y ocho de papel y cartón. Quedándose así la industria española como la sexta productora de la Unión Europea de papel como de celulosa. **(ASPAPPEL)**

Según los informes de la competencia municipal en España del I Plan Nacional de Residuos Urbanos, la composición de los residuos en cuanto a la proporción de papel y cartón en cuanto al total es del 21%, en el cual se incluyen envases, embalajes y papel gráfico, siendo de tal manera la segunda fracción predominante en los residuos de competencia municipal. **(MAPAMA.GOB.ES)**

Composición de residuos de competencia municipal en España

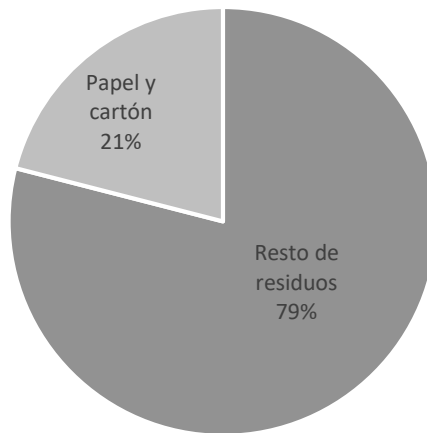


Ilustración 21. Composición de residuos de competencia municipal en España. Fuente. <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujo/domesticos/fracciones/papel-y-carton/Cuanto-donde-se-genera.aspx>

Producción anual de papel y cartón en España (miles de toneladas)

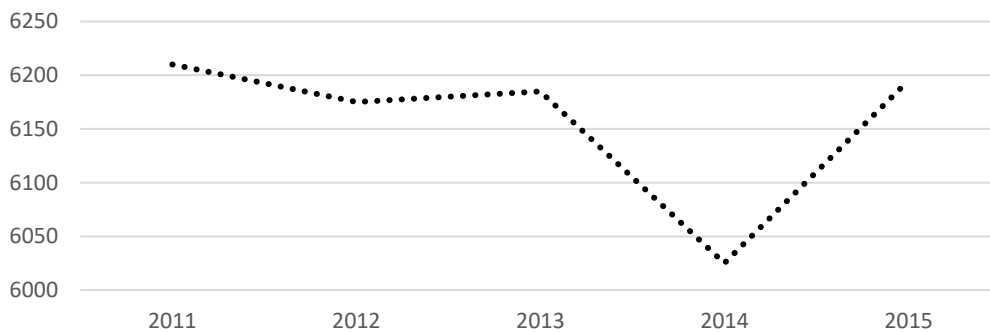


TABLA 3. Producción anual de papel y cartón en España. Fuente. ASPAPEL

Consumo anual de papel y cartón en España (miles de toneladas)

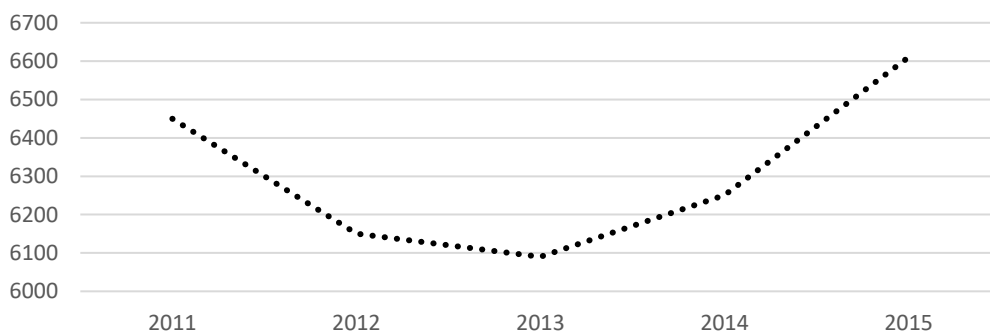


TABLA 4. Consumo anual de papel y cartón en España. Fuente. ASPAPEL

4.3. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES

-Durabilidad: capacidad de cumplir sus funciones con uso continuado sin pasar largos periodos de almacenaje. Puede ser durable, lo que significa un uso intenso en un periodo corto de tiempo, o no permanente debido a agentes que puedan degradar la celulosa.

-Estabilidad dimensional: capacidad para mantener las dimensiones y planitud bajo la acción de la humedad. Este es uno de los grandes problemas que puede tener este material, ya que presenta una gran vulnerabilidad a la misma. Deberá por lo tanto protegerse de agentes abióticos (agua, fuego, agentes químicos, luz y cambios de temperatura) como en el caso de la madera, ya sea de manera física o por medio de aditivos y protectores que se le puedan añadir como son el almidón o adhesivos de acetato de polivinilo (PVA).

-Ascensión capilar: altura en milímetros que alcanza el agua en una muestra parcialmente sumergida.

-Opacidad: reduce o previene el paso de la luz a través del material.

-Rigidez: Resistencia que muestra el material al proceso de doblado.

-Porosidad: cantidad de aire que lo atraviesa.

-Dobles pliegues: cantidad de dobleces que soporta una muestra hasta su rotura.

-Mano: relación entre espesor y gramaje. Esto está relacionado en cuanto a la compactación y densidad del material.

-Permanencia: retención de las propiedades significativas del producto, ya sea el color, su capacidad de resistencia mecánica, etc.

-Resiliencia: Capacidad de volver a su forma original después de haber pasado un proceso de deformación.

-Carteo: Combinación de tacto y sonido que realiza el material al ser deformado manualmente.

-Gramaje: Peso del material medido en g/m² generalmente.

-Grosor: distancia entre las dos superficies de la lámina, se mide generalmente en milésimas de milímetro.

-Densidad: Grado de compactación que tiene el material. Se mide en kg/m³.

-Calibre: Data lo mismo que la densidad, pero expresa la superficie de cartón en metros cuadrados por cada 10 kg de peso, con ello lo que se consigue es indicar el número de hojas de tamaño 70x100 centímetros que conforman 10 kilogramos.

Todas estas características vienen definidas por el proceso de producción del material, como están colocadas las fibras de celulosa y espacio que hay entre las mismas ya que trabaja de la misma forma que la madera.

Estructuralmente un papel o cartón puede ser más o menos resistente, pero por lo general posee una estabilidad elevada en cuanto a la relación con su propio peso. A la hora de realizar estructuras, o elementos de separación e intermedios puede tenerse en cuenta la prefabricación, con la creación de módulos para una rápida y fácil ejecución.

A mayores el cartón posee la capacidad de aislamiento acústico y térmico gracias a sus características físicas que dejan huecos interiores de aire debido a la capa de papel curvado. Esto aún se puede aumentar más si se compone de más de una cada ondulada.

Por lo tanto, si el cartón quiere aplicarse a la construcción tendrá que tenerse en cuenta una serie de factores a cumplir como la resistencia al fuego, la durabilidad, la resistencia a la humedad y al cambio de temperatura, consiguiendo funcionar como aislante térmico y acústico, protección frente ataques biológicos o abióticos, control del comportamiento mecánico, control de la toxicidad y de los olores, a la oxidación, al foxing (deterioro químico de manchas de color ocre)

4.4. TIPOS

PAPEL

-Papel cristal: translucido, muy liso y resistente a las grasas, sensible a las variaciones de humedad y temperatura. Se utiliza generalmente debido a su calidad a empaquetados de piezas de alto valor como puede ser perfumería, farmacia, confitería y alimentación.

-Papel de estraza: Papel fabricado principalmente de papel recuperado.

-Papel libre de ácido: papel en el cual durante su fabricación se ha tenido en cuenta la eliminación de cualquier tipo de ácido activo para aumentar la durabilidad del acabado del mismo.

-Papel de liar: destaca por su poco gramaje, el cual oscila entre 12 y 25 g/m².

-Papel kraft: tipo de papel de alta resistencia.

-Papel *liner*: gramaje ligero o medio, utilizado en las caras exteriores o intermedias de los cartones ondulados. Pueden ser realizados con la pasta tipo Kraft y se denominaría kraftliner.

-Papel higiénico: papel fino que puede estar perfumado o no. Su formato más común es el rollo de papel, pero es posible encontrarlo también en paquetes. Tiene un diseño que hace posible su descomposición en cuanto está en contacto con el agua para no dañar o atascar las redes de saneamiento.

-Papel sulfurizado: la propiedad más importante que posee es la impermeabilidad, ya que el agua no lo desintegra, incluso en ebullición.

-Papel tisú: de bajo gramaje, con un alto nivel de suavidad, compuesto de varias capas debido a su delgadez. Baja densidad, buena flexibilidad, y alta capacidad para absorber líquidos. También posee la capacidad de rápida desintegración al entrar en contacto con el agua.

-Papel permanente: resiste cambios físicos y químicos durante un largo periodo de tiempo. Generalmente libre de ácido.

-Papel piedra: papel con alto contenido de carbonato de calcio proveniente mayoritariamente de desperdicios de la industria de construcción los cuales son molidos.

CARTÓN

-Cartón ondulado: formado por dos capas lisas de papel kraftliner una o más intermedia corrugada, unidas mediante adhesivo. Este cartón tiene la característica de poseer una mayor rigidez, debido a la capa ondulada intermedia, manteniendo aún así su ligereza. Posee un buen comportamiento frente al aislamiento acústico y térmico.

-Cartón *honeycomb*: Mismo procedimiento que el anterior, mediante dos capas exteriores de papel kraftliner, pero en este caso la capa intermedia está formada por unas celdas con formas hexagonales de papel Kraft. Entre sí la unión también se realiza por medio de adhesivos. La diferencia es que en este tipo se consigue emplear menos material y por lo tanto conseguir una mayor ligereza que en el cartón ondulado.

-Cartón sólido blanqueado o cartulinas (SBS): pastas químicas blanqueadas en las capas interiores y en las caras exteriores, tanto superior como inferior, serán de estuco. Empleado para envasar productos de lujo como cosmética, farmacia...

-Cartón sólido no blanqueado (SUS): igual que el anterior, pero con una mayor resistencia. En este caso como el acabado no está tan trabajado se emplea para el embalaje de bebidas como paquetes de botellas o lotas.

-Cartón *folded* (GC): compuesto por varias capas de pasta mecánica en el interior, mientras que las capas exteriores son de pasta química. Aplicado en el envasado de alimentos congelados y refrigerados, de dulces...

-Cartón de fibras recicladas (GD y GT): fabricado con fibras recicladas consiguiendo así unir varias capas de diversos tipos de fibras. Empleado generalmente para envases de cereales, juguetes, cajas de zapatos, etc.

4.5. EJEMPLOS DE CONSTRUCCIÓN CON PAPEL Y CARTÓN

La facilidad de trabajo de este material debido a su ligereza y resistencia proporciona una rapidez a la hora experimentar o tratar de innovar en la creación de una nueva técnica, composición o sistema constructivo.

Puede emplearse de varias formas, tanto a nivel estructural como muro de carga o cercha con tubos que funciones a modo de perfil, como cerramiento, exposiciones, mobiliario, decorado, arquitecturas temporales o incluso como elemento constructivo mezclado con otros materiales.

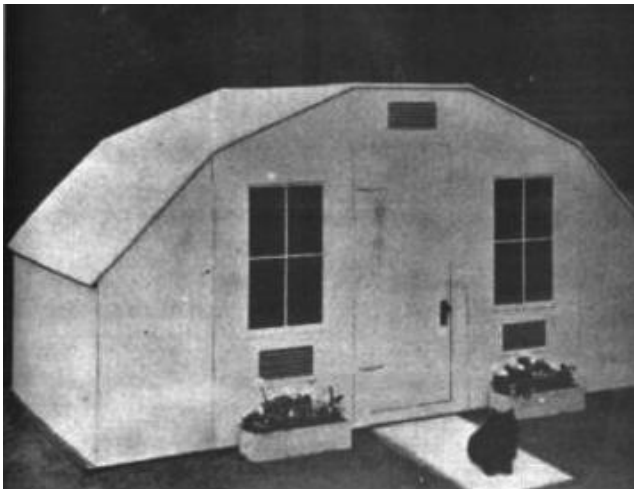


Ilustración 24. Primera casa realizada con cartón The 1944 House. Fuente. Ayan, Ö.; Cardboard in architectural technology and structural engineering: a conceptual approach to cardboard buildings in architecture. DISS. ETH

The 1944 House, es una obra realizada en su mayor parte por cartón. Será de las primeras edificaciones realizadas con este material.



Ilustración 25. ART DOME, Buckminster Fuller, 1963-79. Fuente. http://www.reed.edu/reed_magazine/aug2005/features/vanished_buildings/index.html

Buckminster Fuller (1895-1983), el arquitecto que diseñó y proyectó la cúpula geodésica, es uno de los pioneros en plantear construcciones con una visión innovadora y experimentar, por medio del cartón entre otros materiales y sistemas. Esto se debe a que trabajaba con estructuras modulares en los

cuales trataba de economizar utilizando materiales sostenibles y baratos, maximizando la eficiencia de estos.

Ya adentrados en el proceso total de experimentación con el material se puede encontrar el de maneras diversas. En algunos casos el material ha sido fabricado y diseñado expresamente para su función como elemento constructivo en el proyecto al que va a formar parte. Otras veces se aplican en la obra materiales de desecho sufriendo un proceso de reutilización y prolongación de su vida útil, de tal manera que no sufran ningún tipo de proceso de reciclaje y ninguna o las mínimas modificaciones en su composición inicial. O por otro lado las modificaciones estructurales son más complejas siendo entonces la actuación en la modificación de las fibras de los materiales de desecho reutilizados, como por ejemplo creando la pasta de papel.

Los arquitectos más destacados después de Fuller en este tipo de arquitecturas experimentales con este material serán *Shigeru Ban* y *Buro Happold*, de los cuales se van a explicar algunas de sus obras a continuación.

El arquitecto Shigeru Ban se caracteriza por la composición de su obra en base a materiales no convencionales como pueden ser el papel y los plásticos. Su motivación para construir en cartón radica en la conciencia que tenía con el alto grado de deforestación al que se había llegado por parte de la construcción de refugios, y a mayores para evitar la utilización de elementos metálicos que podían ser vendidos.



Ilustración 26. Paper Arbor, Shigeru Ban, 1989. Fuente. http://www.shigerubanarchitects.com/works/1989_paper-arbor/index.html

Su primera construcción realizada con este material sostenible y económico es *The Paper Arbor*, en Nagoya, Japón, realizada a base de tubos de cartón en el 1989. El material en esta obra fue utilizado de manera estructural como columnas. Es un ejemplo de arquitectura en la cual el material ha sido fabricado expresamente para el proyecto.

Las columnas de cartón de 325 mm de diámetro y 15 mm de grosos con 4 metros de altura estaban tratadas con parafina para protegerlos del agua y montados sobre una base de hormigón.

Otra de sus obras fue la arquitectura de emergencia que tuvo que realizar debido al terremoto producido en Kobe en 1995 donde muchas personas se quedaron sin casa durante varios meses. Entonces Ban realizó *The paper log houses* y *The paper church* de una forma rápida y económica.

La base está realizada mediante cajas de cerveza donadas y soportada por bolsas de arena. Continúa utilizando los tubos de cartón, en este caso de 106 mm de diámetro y 4 mm de grosor. La cubierta se soluciona con una lona, con esto se soluciona el cerramiento de cada una de las unidades de 52 m². Deja un espacio de 1,80 metros entre las casas reservándolo como área común. Las casas se encuentran aisladas por medio de una cinta de esponja impermeable, entre los tubos de cartón, unidas con adhesivo.

Los materiales a la hora de realizar la iglesia de papel fueron donados y construido por 160 voluntarios, los cuales completaron la obra en solo cinco semanas debido a la rapidez y facilidad de construcción con este tipo de material. Revestimiento de láminas de policarbonato corrugado y por dentro 58 tubos de cartón de 325 mm de diámetro, 14,8 mm de espesor y 5 metros de altura. Posee una planta elíptica basada en los diseños de Bernini.



Ilustración 27. The paper log houses, Shigeru Ban, 1995. Fuente.
http://www.shigerubanarchitects.com/works/1995_paper-log-house-kobe/index.html

Ilustración 28. The paper church, Shigeru Ban, 1995. Fuente.
http://www.shigerubanarchitects.com/works/1995_paper-church/index.html

Realiza más proyectos de arquitecturas de emergencia como en la India, Turquía, Japón, entre otras.

The Paper Dome, en Osaka-cho, Gifu, Japón en 1998, es una obra que pretendía cubrir una zona para permitir el trabajo al aire libre incluso en condiciones climáticas adversas. Para ello la estructura debía ser simple debido a que tenía que ser lo suficientemente fácil como para poder ser montado por los trabajadores de manera rápida. Se trata de una cubierta arqueada de 27 metros, con 8 metros de altura en el centro, cubriendo un espacio de 23 metros de ancho. Como los tubos de cartón no permitían esa curvatura, se dividió en módulos de 1,80 x 0,90 metros.



Ilustración 29 y 30. The paper dome, Shigeru Ban, 1998. Fuente.

http://www.shigerubanarchitects.com/works/1998_paper-dome/index.html



Ilustración 31. Museo Nomadic, Shigeru Ban, 2005. Fuente.

http://www.shigerubanarchitects.com/works/2005_nomadic-museum-ny/index.html

Sus obras cada vez fueron adquiriendo mayor fama, otro ejemplo de como pasó de hacer pequeños diseños en base al material de cartón, a realizar grandes obras de dimensiones mayores como es el caso del museo Nomadic, en Nueva York. Es un ejemplo

de mezcla de varios materiales reciclables como son las columnas de tubos de papel, con 148 contenedores marítimos.

Voussoir Cloud de IwamotoScott Architecture + Buro Happold, Los Ángeles, Estados Unidos, 2008. Este proyecto explora un sistema estructural con la búsqueda de lo liviano. Son bóvedas experimentales desde el interior y desde la observación superior, las cuales varían para generar una mayor sensación de densidad en los bordes de las mismas. Trabajan como cualquier sistema de bóveda tradicional, a compresión. Posee catorce piezas segmentadas generando una serie de cinco columnas.

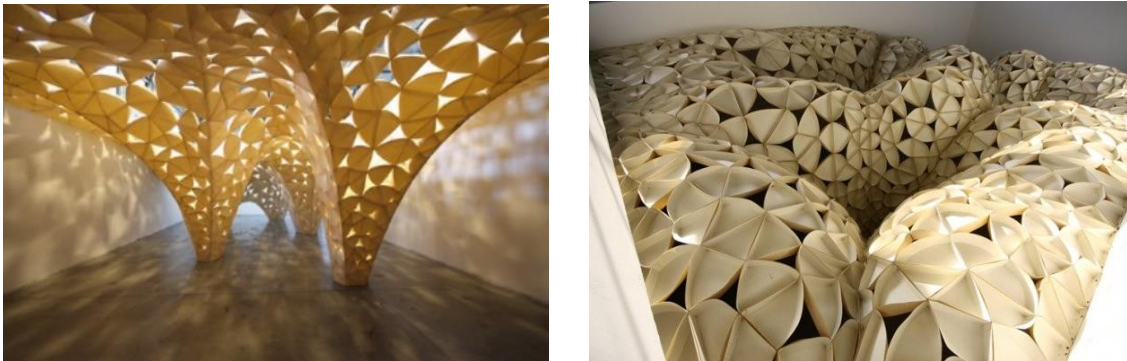


Ilustración 32 y 33. *Voussoir Cloud*, IwamotoScott Architecture + Buro Happold, 2008. Fuente. <https://www.archdaily.mx/mx/750345/voussoir-cloud-iwamotoscott-architecture-buro-happold>

Wikkelpuse, traducida como casa envuelta, de Fiction Factory. Obra de casas personalizables de cartón prefabricadas. Utiliza 24 capas de cartón enrollado en un molde giratorio con forma típica de casa con la cubierta a dos aguas. Se une entre sí mediante pegamento ecológico para así asegurar la durabilidad y el aislamiento. Para protegerla climatológicamente se protege con una lámina impermeable y paneles de madera. Además de uso de materiales ecológicos y tener un bajo impacto mediambiental, son infinitamente reciclables.

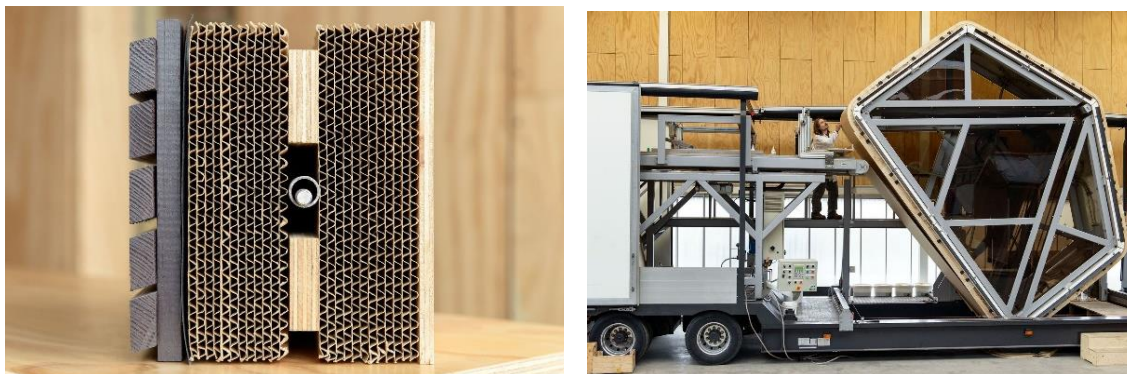


Ilustración 34 y 35. *Wikkelpuse*, Fiction Factory. Fuente. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/890814/esta-casa-se-compone-de-segmentos-modulares-de-carton>

Cada módulo mide 4,60 metros de ancho por 1,20 metros de largo y posee una altura de 3,50 metros, el cual pesa únicamente 500 kilogramos. Al ser modulable se puede ampliar el espacio y personalizar como se quiera.

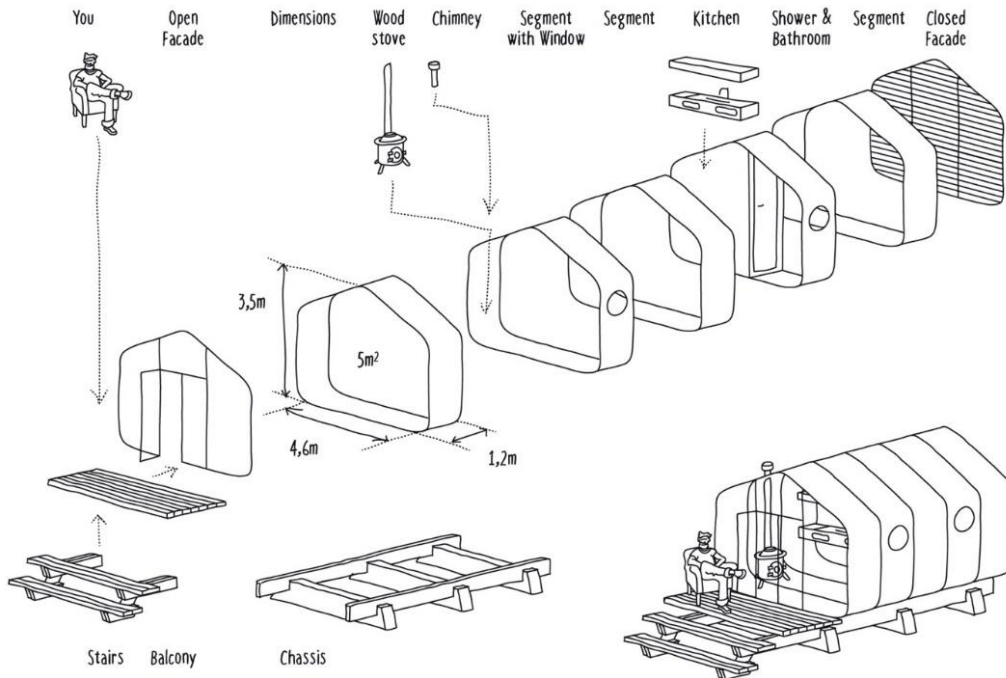


Ilustración 36. Diagrama de sistema modular. Fuente. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/890814/esta-casa-se-compone-de-segmentos-modulares-de-carton>



Ilustración 37 y 38. Wikkelpuse, Fiction Factory. Fuente. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/890814/esta-casa-se-compone-de-segmentos-modulares-de-carton>

Get high without drugs, realizado por seis estudiantes de arquitectura de cuarto curso de la Universidad de Nicosia. Es un pabellón de cartón y papel reflectante ganador del premio FAB FEST 2017 en Londres. Este pabellón surge de la combinación de un zonohedro y una cúpula. Posee 72 superficies hexagonales, está realizado a base de módulos de cartón corrugado con una lámina reflectante que recubre el interior, consiguiendo reflejos y distorsionando lo que sucede alrededor por medio de distorsiones visuales. Sus dimensiones son 4,50 m2 de superficie con 2,70 metros de altura, pesa únicamente 60 kilogramos.



Ilustración 39 y 40. *Get high without drugs*. Fuente.

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/884735/pabellon-de-carton-y-papel-reflectante-gana-el-premio-fab-fest-2017>

Este material además de poderse utilizar en arquitectura de pequeñas dimensiones como estructura, cerramiento, aislamiento, en las de mayores dimensiones, pabellones, cubiertas, etc., también es adecuado a la hora de realizar obras con procesos más modernizados como las casas prefabricadas o elementos expositivos como se ha mostrado anteriormente. Además, se ha experimentado a niveles de usuario, generando los elementos que componen el interior de estas obras, siendo un material que puede ser utilizado como mobiliario. Ya sea para muebles, elementos decorativos, luminarias, etc.



Ilustración 41. Muebles temporales para refugiados, 2017. Rehome. Fuente. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/881359/estudiantes-diseñan-muebles-temporales-para-refugiados-en-madera-y-cartón>

Diez estudiantes de tercer año de la Universidad de Ciencias Aplicadas Lahti-Instituto de diseño crean el sistema *Rehome*, son muebles temporales para refugiados en madera contrachapada y cartón corrugado. Posee una fabricación rápida, fácil y de bajo coste. La característica es que no precisa del uso de herramientas

con la ayuda de una serie de ranuras que permiten la construcción rápida y fácil, en sólo una hora se puede levantar una cama de cartón. Son muebles destinados al uso de funciones de descanso, privacidad, comunidad y almacenamiento, ya que son las necesidades humanas más necesarias.

Otros arquitectos famosos también optaron por la creación de mobiliario de diseño realizado con papel y cartón. Tal como:



Ilustración 42. Paper Tube and Plywood Stool, Shigeru Ban, 1997. Fuente. http://www.shigerubanarchitects.com/works/1997_paper-tube-and-plywood-stool/index.html

Ilustración 43. Serie Carta, Shigeru Ban, 1998. Fuente. http://www.shigerubanarchitects.com/works/1998_carta-series/index.html

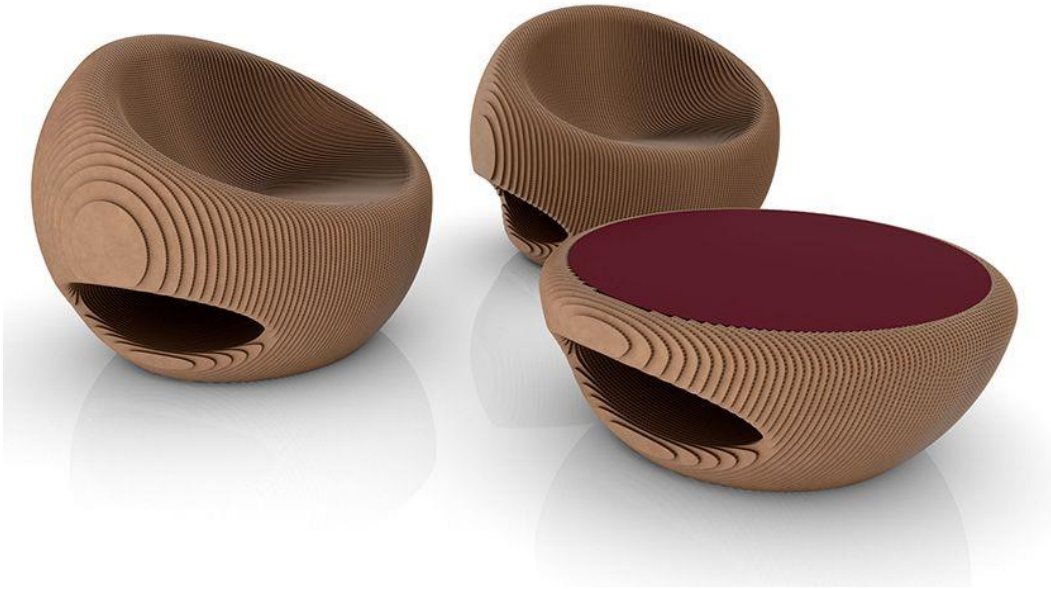


Ilustración 44. Mobiliario en cartón honeycomb, Giancarlo Zema. Fuente. <http://www.disup.com/mobiliario-en-carton-por-giancarlo-zema/>

5. CONSTRUCCIÓN CON TIERRA

5.1. DEFINICIÓN DEL MATERIAL

La tierra es uno de los materiales de construcción más antiguos, ya que es uno de los primeros utilizados por el ser humano a la hora de realizar un refugio o espacio habitable. Desde las culturas antiguas se han utilizado para todo tipo de edificaciones, ya fueran viviendas, espacios de fortaleza, religiosos, palacios, etc. Aproximadamente un tercio de la humanidad vive en casas realizadas con este material, dato que trasladado a los países en vías de desarrollo constituye una cantidad mayor al 50%. Tantos años de trabajo han llevado a que la experiencia y conocimiento acumulado durante tantos años se consolide llevando a cabo la realización de edificaciones con un alto nivel de calidad y confort. Es de uso mundial, debido a que no hay continente que no tenga arquitectura autóctona fabricada a base de tierra, desde la casa más modesta hasta grandes construcciones.

Por definición la tierra es básicamente el material desmenuzable que compone el suelo natural, por lo tanto, es un recurso prácticamente ilimitado.

Por otro lado, el suelo es la parte superficial de la corteza terrestre, la cual proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de los seres vivos que se asientan sobre ella.

Cada tipo de suelo posee una característica que lo diferencia, esto se puede producir tanto por su composición como por otros procesos que pueden contribuir a su particularización como puede ser la acción del viento, agua, la meteorización o la inclusión de material orgánico.

La definición en la RAE de tierra:

Del lat. *terra*.

2. f. Superficie del planeta Tierra, especialmente la que no está ocupada por el mar.
2. f. Material desmenuzable de que principalmente se compone el suelo natural.

Para la construcción casi todos los tipos de tierra son factibles y utilizables, ya que si pudieran surgir problemas a la hora de utilizarlo debido a sus características se le pueden añadir estabilizantes como cal o cemento para así conseguir un mejor comportamiento del propio material. Por ello es un sistema que no ha tenido ningún problema a la hora de expandirse por toda la humanidad.

Es un material inocuo por lo que no causa un impacto ambiental ya que es totalmente reciclable y no conlleva ningún problema como el caso de la deforestación en la obtención de la madera o la minería extractiva que implican otros materiales constructivos. Posee la facilidad de obtención en la localidad donde se vaya a realizar el levantamiento, ya que cualquier tipo de tierra es válido y útil para construir, e incluso para realizar mezclas con otros materiales como puede ser la paja.

Las primeras civilizaciones que aparecieron tenían en común que sus condiciones climáticas eran muy similares y la tierra fue el material principal con que se construyeron sus ciudades.

En el tratado de la arquitectura de Mayamata, donde describe la vivienda hindú definida como *Vastu Shastra*, se describe como los constructores tamules llegaban a reconocer la tierra por medio de sus sentidos:

“Cuando el olor de la tierra es parecido al de los rebaños, el suelo es compacto, untuoso y agradable al tacto; su color puede ser blanco, rojo, amarillo o “moirée” como el de los pichones; y puede poseer uno de los seis sabores: picante, amargo, astringente, salado, ácido o dulce.”

Y siglos después en casi todas las zonas con un clima cálido-seco o templados se continuó construyendo con este material.

5.2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES

Primero hay que entender las características que puede tener un suelo para pasar después a reconocer las propiedades que posee en la construcción:

-Física: Textura, estructura, capacidad de drenaje, aireación. Dependiendo de ello los suelos pueden ser arenosos, si los gránulos son más grandes, y por lo tanto son más sueltos y se trabajan más fácilmente pero no tienen estabilidad y el agua se filtra fácilmente. Pueden ser suelos limosos si el tamaño de los gránulos es intermedio, siendo suelos pesados. Otra opción es que sean suelos arcillosos, los cuales están formados por partículas muy pequeñas, también son suelos pesados, pero tienen el problema de que ni drenan ni se desecan con facilidad, por lo que una vez que pierden la humedad son muy difíciles de trabajar. Otra variante son los suelos francos, los cuales son mezcla de arena, limo y arcilla. Son buenos y fáciles de trabajar ya que mantiene la humedad, pero a la vez es drenante.

-Química: determina la proporción de minerales y sustancias orgánicas que componen un suelo: fósforo, nitrógeno, calcio, potasio, magnesio, carbono, oxígeno entre otros.

-Fertilidad: determina cuando un suelo tiene los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de plantas.

-Erosión: desgaste, arrastre y pérdida de partículas de suelo por acción de agua y viento en zonas no protegidas.

-Contaminación: debido a la composición del suelo.

-Reservorio de patógenos: muchas bacterias y hongos pueden sobrevivir en el suelo durante años, los cuales pueden causar enfermedades en humanos, animales y plantas.

-Posibilidad de cambio: en un periodo de a largo plazo debido a acciones exteriores al mismo.

La tierra cruda utilizada para la construcción posee una serie de propiedades:

-Gran capacidad como aislante térmico: actuando con la gran inercia que posee, en una vivienda se podrá instalar un sistema de climatización con un menor consumo sin modificar el confort en el espacio interior. Se consigue que sean frescas en verano y cálidas en invierno. Su coeficiente de conductividad térmica es de $0.25 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, mientras que el del ladrillo es de $0.85 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ y el del hormigón $1.50 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$.

-Gran capacidad como aislante sonoro: al igual que anteriormente, funciona como un buen aislante acústico de los ruidos exteriores, funcionando con una mayor eficacia que las construcciones a base de materiales industriales convencionales. Además, al poseer una superficie rugosa e irregular el sonido se difumina.

-Eficiencia y ahorro energético: debido a las características anteriores en las construcciones con este material se reduce el consumo e incluso se evita la inclusión de sistemas de climatización. Esto conlleva a un ahorro económico además de una disminución en las emisiones de contaminantes al medio ambiente.

-Bajo impacto medioambiental: Para la fabricación del material constructivo y su procesado se utiliza una cantidad muy reducida de energía en comparación con otros sistemas industrializados convencionales, ya que se evita en cierta medida su fabricación industrial y transporte, al ser una materia prima de la zona, sin necesitar procesos de tratamiento sofisticados y ser un recurso natural prácticamente ilimitado.

-Posible reintegración a la naturaleza: una vez que el edificio ha concluido con su vida útil se puede reintegrar completamente en la naturaleza.

-Resistencia: no llega a resistir lo mismo que los industriales como el hormigón o el ladrillo, pero un edificio perfectamente construido con este material puede llegar a superar fácilmente los 100 años en buen estado. Y si el edificio posee un mantenimiento adecuado no tendría por qué tener ningún tipo de deficiencia.

-Resistencia al fuego: presenta gran estabilidad y resistencia al fuego, de una manera superior al de los materiales industrializados como el ladrillo o el hormigón.

-Autoconstrucción: no requiere la utilización de ninguna técnica ni maquinaria compleja, se puede realizar de forma manual sin complicación. Con esto se consigue rapidez y bajo coste.

-Limitación en altura: debido a la resistencia del material.

-Vulnerabilidad a la acción del agua: produce un efecto de erosión, pero existen diversas técnicas que resuelven el problema.

-Debilidad sísmica: a temblores y terremotos, aunque también existen técnicas que resuelven el problema.

-Material inerte: no sufre de pudrición ni de ataque de insectos.

-Transpirable: permiten la regulación natural de la humedad de los espacios interiores evitando las condensaciones.

-Bajo coste

Se realiza el estudio del comportamiento de este material debido a que la propuesta de la realización del muro de WCM será con la unión mediante tierra húmeda.

6. ROLLOS DE CARTÓN, MANDRILES WCM

6.1. DEFINICIÓN DEL MATERIAL

El mandril es un cilindro hueco de cartón, formado por varias capas de manera compacta de un color gris generalmente. Proviene el material principalmente de cartón reciclado. Cada una de las capas tiene forma de rombo y se encuentra enrollado de una manera helicoidal, unido mediante un adhesivo que evita que se separen entre sí.

La definición en la RAE de mandril:

Del fr. *mandrin*.

3. m. Med. Vástago de madera, metal, etc., que, introducido en ciertos instrumentos huecos, sirve para facilitar la penetración de estos en determinadas cavidades.



Ilustración 45. Mandriles de cartón. Fuente.
<http://www.tuleje.com.pl/ru/index.html>

Para comenzar a realizar el estudio de este material lo primero que se necesita es conocer bien su composición, proceso de fabricación, etc.

Un mandril está compuesto de cartón ondulado (OCC) que además principalmente es reciclado, proveniente de los embalajes de cartón usado.

Este cartón pasa por un proceso de transformación en el cual se limpian para eliminar las impurezas que pueda contener como plásticos y metales que se encuentran en multitud de envases. Posteriormente se genera su aplicación en el material y después se aglomeran utilizando como unión un adhesivo.



Ilustración 46. Cartón de envases para reciclado en producción de mandriles. Fuente. <http://www.manufactura.mx/industria/2014/05/21/el-papel-higienico-de-material-100-reciclado>

Las impurezas que han sido eliminadas del cartón, tales como plásticos y metales, en ciertas empresas de fabricación se eliminan, y se transfieren a una central eléctrica de biomasa para poder aprovecharlo generando energía.

Además de ese material de desecho, las aguas residuales utilizadas para la limpieza del cartón ondulado también pueden ser mandadas a plantas de tratamiento de agua, donde pueden procesarse y volver a su origen.

Con esto se consigue un círculo sostenible de productividad.

Una vez obtenido el material, el cartón se enrolla en un eje de una máquina bobina en espiral para generar la forma del mandril. La unión de las diferentes capas que lo componen se realiza mediante unos adhesivos naturales o biológicos, los cuales son biodegradables, con base de almidón para realizar el encolado.



Ilustración 47. Máquina bobina. Fuente. <http://cartontubos.com/proceso-de-produccion/>

Ahora que el mandril posee la forma que se desea, se retira de la bobina y se deja secar para que se solidifique el adhesivo y permitir que tenga una correcta eficacia en el acabado final. Para realizar el secado se hace generalmente con una máquina de secado de calor, que para mejorar en eficiencia, en algunas plantas se utiliza una central de biomasa, a la que anteriormente se mandaron los desechos de plásticos tras la limpieza del cartón ondulado, que genera la energía térmica y eléctrica la cual calienta el aceite térmico necesario en el proceso de secado.

Posteriormente deben pasar el proceso de embalaje y envío del producto al destino de uso en cada uno de los tipos de mandriles que existen.

El WCM (Water Closet Mandril), es el tubo de cartón destinado a la fabricación de papel higiénico. Estos mandriles se mandan una vez realizados a las plantas industriales de fabricación de papel WC.

Para la elaboración de papel higiénico lo primero que se hace es utilizar la fibra vegetal, descrita en el apartado anterior de papel, a la cual se la mezcla con sustancias químicas y agua hasta generar una pasta. Esta pasta se pasa por una prensa para eliminar todo el exceso de agua que contenga y aplastarlo para formar un pliego. Una vez conseguida esa forma se debe secar por una máquina que contiene un tubo caliente y un secador. Con este proceso ya tendríamos lo que es el papel higiénico, pero para mejorar su calidad se pasa por un tratamiento.



Ilustración 48. Máquina corte conjunto papel higiénico. Fuente. <https://www.youtube.com/watch?v=YqIFmI7ZA>

Ahora se pasa a la unión del papel con el tubo de cartón. El mandril se encuentra con una gran longitud, por ello el papel se enrolla en el gran cilindro y es una máquina la que posteriormente marca y realiza los cortes al conjunto de papel y rollo de cartón en la distancia establecida por el fabricante.

6.2. PRODUCCIÓN Y CONSUMO

El papel higiénico es un producto de consumo diario y habitual en la mayoría de los países del mundo.

En España en 2015 el gasto total de papel higiénico fue de 488 millones de euros, esto da un total aproximado de unos 1.726.132.000 rollos de papel higiénico vendido durante ese año, lo da una media de unos 37 rollos de papel higiénico por persona. Por lo tanto, si lo convertimos en peso, cada habitante de España ha consumido una media de 17 kilos anuales.

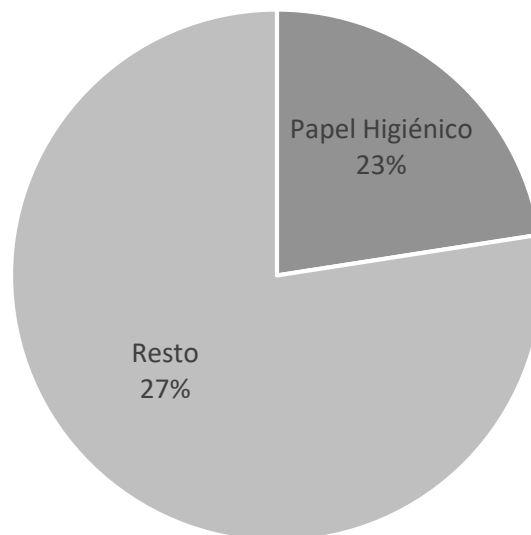
TABLA 5. Evolución de la producción y el consumo. Fuente: ASPAPEL

Evolución de la producción y el consumo				
Unidades: miles de toneladas (Tm)				
Año	Producción papel	Consumo papel	Producción celulosa	Consumo celulosa
2006	6.353	7.868	2.038	1.992
2007	6.713	7.707	2.080	2.020
2008	6.414	7.266	2.009	1.965
2009	5.700	6.213	1.739	1.743
2010	6.193	6.448	1.865	1.794
2011	6.203	6.428	1.976	1.771
2012	6.177	6.158	1.981	1.847
2013	6.181	6.085	1.977	1.921
2014)	6.036	6.257	1.863	1.813

TABLA 6. Elaboración de productos de papel. Fuente: Estudios Económicos Scotiabank

Elaboración de productos de papel		
Unidades: miles de toneladas (Tm)		
Productos de papel	2015	2016
Caja de cartón	279,400	313,471
Papel higiénico	169,056	169,172
Cartones diversos	74,545	92,239
Papeles diversos	57,310	53,553
Papel bond	55,885	31,957
Papel corrugado	43,140	48,147
Papel toalla	25,236	27,982
Servilletas	14,717	13,872

Elaboración de productos de papel en 2016

**Ilustración 49. Elaboración de productos 2016. Fuente. Estudios Económicos Scotiabank**

7. PROPUESTA

7.1. INTRODUCCIÓN

Se trata de conseguir desarrollar un sistema constructivo donde prime la utilización de un material reutilizado, de uso cotidiano, que tiene finalizada su vida útil, para tratar de alargarlo de una manera longeva como puede ser incluyéndolo en un proyecto de edificación. Para ello se propone el sistema de WCM, mandriles de rollos de papel higiénico. Se debe probar la viabilidad y posibles aplicaciones a la hora de realizar la propuesta proyectual con el sistema. Realización un material reutilizado al que se le ha terminado la vida útil para la que estaba creado, el soporte en el que se enrolla el papel higiénico. Este producto a su vez estaba realizado mediante el reciclaje de papel y cartones de otros productos, como envases, que ya habían terminado la función para la que fueron creados. Por ello se consigue un continuo aumento de la vida útil, impactando en menor medida en el medio ambiente.

Realización de todas los ensayos con mandriles recogidos en la ETSA de Valladolid por una campaña del Grupo Tierra de la Universidad de Valladolid y la colaboración de la asociación ArquitectUva.

TUS MANDRILES SÍ IMPORTAN

GRUPO TIERRA
Universidad de Valladolid

¡Tráenos tus mandriles antes de tirarlos!

¿Quieres participar?
Los recogeremos en estas cajas y servirán para un proyecto de investigación del Grupo Tierra. Reciclado y construcción sostenible. Low_tech.

Dirige: Félix Jové/fjove@arqu.uva.es
Colabora: ArquitectUva

Más info: <http://www.uva.es/grupotierra/>

WHAT WOULD MAGYVER DO?

Ilustración 50. Campaña de recogida de mandriles. Fuente. Grupo Tierra.

7.2. DESARROLLO Y PROPUESTA

7.2.1. CLASIFICACIÓN

Lo primero se trata de realizar una clasificación y separación de los distintos tipos de mandriles que se han conseguido en la campaña de recogida. Para ello se distinguen los diferentes tipos de mandriles de manera visual. El problema surge cuando la clasificación se hace de estricta por medio de medidas, intentando clasificar por número de capas que lo componen, longitud y diámetro. Aparece el inconveniente de que la longitud de cada uno de los mandriles es distinta, debido al proceso de fabricación explicado anteriormente. Por ello a la hora de realizar un sistema constructivo esto es una característica para tener en cuenta debido a que no se consigue una superficie por igual si se coloca de manera vertical. Como conclusión en el intento de clasificación se optó por realizarla agrupando aquellos que fueran más semejantes, debido a que no se podía conseguir unas medidas exactas entre los mismos y a partir de ahí, medirlos y realizar una media entre todos.

Se propone la toma de doce mandriles semejantes para ser estudiados. Todos ellos con espesor similar debido a que se seleccionaron aquellos compuestos por dos capas de cartón.

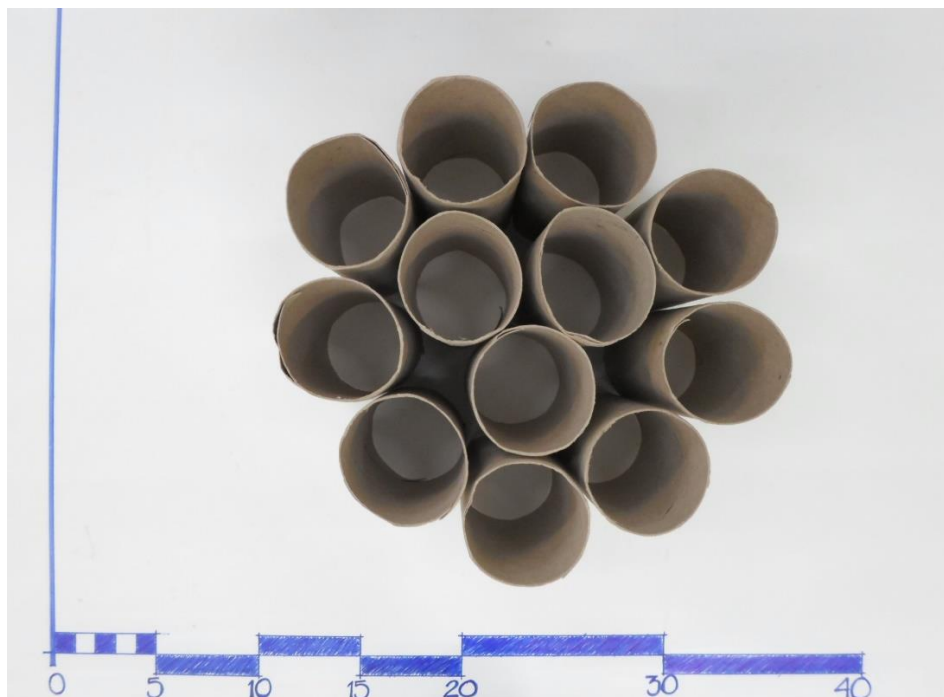


Ilustración 51. Doce mandriles seleccionados. Fuente. Elaboración propia.

Lo primero es conseguir las características físicas por medio de las medidas de cada uno de ellos, y posteriormente se realiza la media de todas ellas.

TABLA 7. Medidas de doce mandriles similares

Medidas madriles		
Unidades: miles de toneladas (Tm)		
Designación	Longitud	Diámetro exterior
Mandril 1	9,20	4,85
Mandril 2	9,50	4,75
Mandril 3	9,30	4,80
Mandril 4	9,20	4,85
Mandril 5	9,20	4,75
Mandril 6	9,35	4,80
Mandril 7	9,25	4,90
Mandril 8	9,50	4,90
Mandril 9	9,10	4,85
Mandril 10	9,40	4,80
Mandril 11	9,60	4,60
Mandril 12	9,10	4,80
MEDIA TOTAL	9,308	4,804

7.2.2. ENSAYOS

Primero se procede a introducir doce mandriles en un recipiente con 2,50 litros de agua, y se dejan sumergidos durante tres días completos, 72 horas.

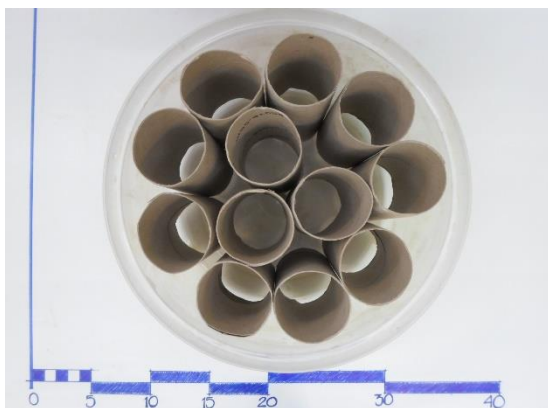


Ilustración 52. Doce mandriles introducidos en recipiente. Fuente. Elaboración propia.

La primera hipótesis planteada es que se transformara en una pasta de papel, homogénea, cual la cual se pudiera trabajar de forma fácil posteriormente.

En los primeros minutos se aprecia que los WCM se comienzan a ablandar, despegándose las capas en juntas de puntos más desfavorables como los vértices, pero aún así la forma se mantiene debido al recipiente que los contiene. El agua comienza a absorberse de manera rápida debido a la porosidad que posee el material.

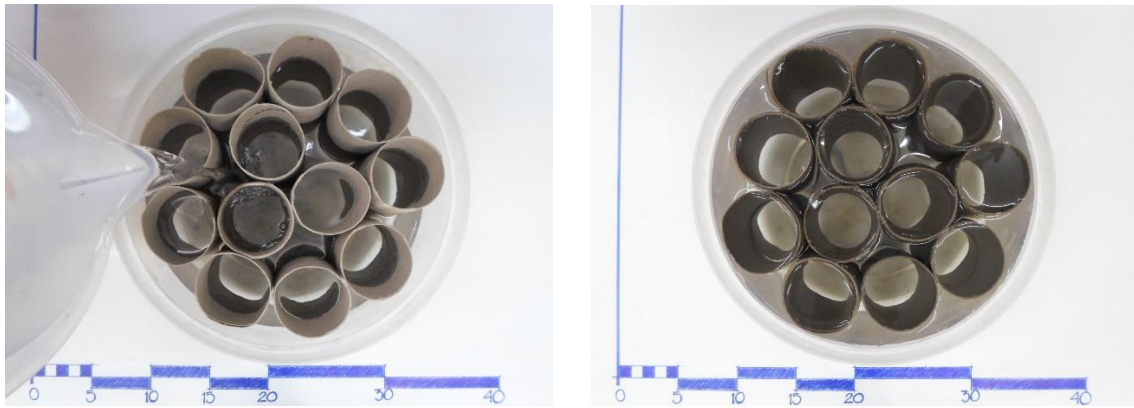


Ilustración 53 y 54. WCM sumergidos en agua. Fuente. Elaboración propia.

Pasadas las 72 horas se puede apreciar como siguen manteniendo todos los WCM su forma, el agua ha adquirido un color amarillento y una parte del agua se ha perdido debido a la absorción de la misma por los WCM así como por un proceso de evaporación.

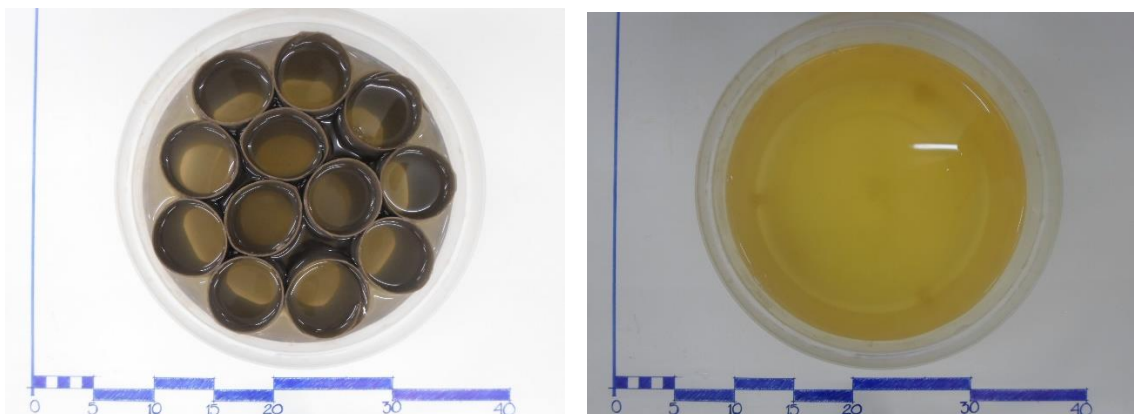


Ilustración 55 y 56. WCM sumergidos en agua 72 horas. Fuente. Elaboración propia.

Se procede a la observación de los doce WCM, apreciándose que continúan manteniendo su forma, pero pierden su característica de resistencia, una vez sacados, la función de unión del adhesivo prácticamente se pierde, siendo posible la separación de las distintas capas que los componen.

Aunque pierda resistencia, al ser un producto que ya ha pasado un proceso de reciclaje y una serie de tratamientos, el WCM no se transforma en pasta ni se

diluye al entrar en contacto con el agua, incluso manipulándolo con las manos, la celulosa que lo compone sigue igual y lo que falla es el propio adhesivo.

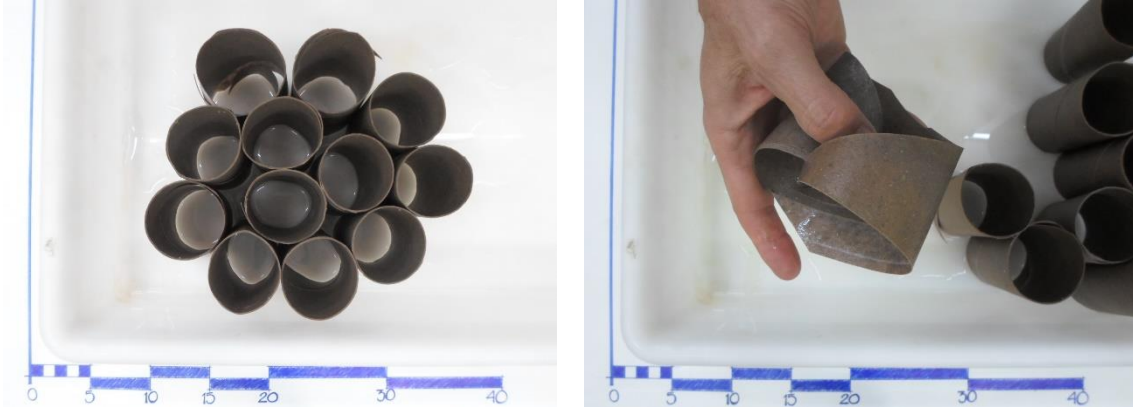


Ilustración 57 y 58. WCM extraídos del agua después de tres días sumergidos. Fuente. Elaboración propia.

Se procede a dejarlos secando al aire durante otras 72 horas, tres días completos, para ver como se comportan al perder la humedad. El resultado es que los 12 mandriles han recuperado la resistencia inicial y su forma circular de cilindro, anterior a ser sumergidos en el agua, y el adhesivo vuelve a unirlos, siendo imposible separarlos en las capas que los componen con la facilidad con la que se puede realizar cuando están húmedos.

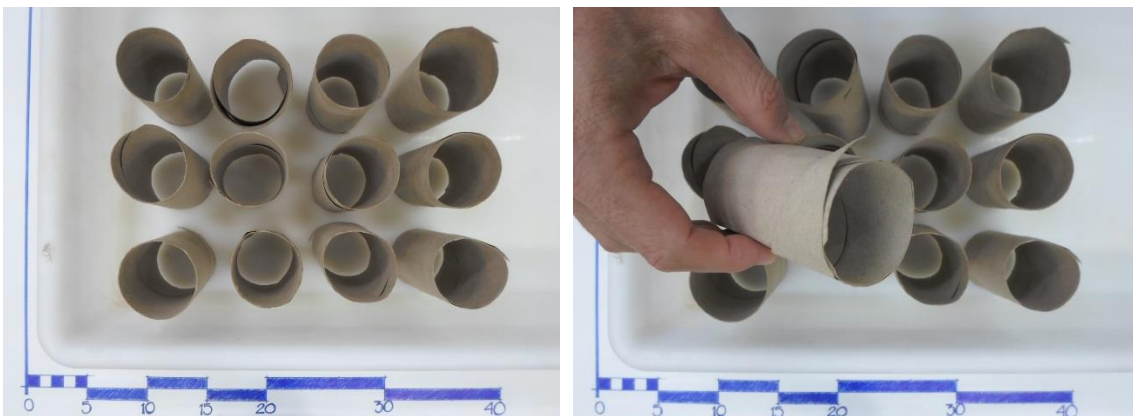


Ilustración 59 y 60. WCM secados al aire. Fuente. Elaboración propia.

Se repite el proceso para llevar la situación de los WCM al límite y se comprueba que sigue ocurriendo lo mismo.

Lo primero que se ensaya es la posibilidad de la creación de una pieza constructiva, compuesta con WCM, para ello se necesita encontrar un material de unión de las distintas piezas a modo de crear lo que sería una especie de ladrillo de cartón. Se propone la unión mediante grapas o cuerdas de atado, que rápidamente se desecha a la hora de ver el comportamiento de WCM unidos y la dificultad de trabajo manual que supondría la construcción con estas uniones debido a su posible rotura. Por lo tanto, se procede a utilizar con elemento de unión la tierra, ya que es también otro material natural, que no produce impacto medioambiental en su utilización, y es un material prácticamente ilimitado.

Para ver el comportamiento de la unión de estos dos materiales se realizan una serie de ensayos, con WCM individuales y con piezas de mayor tamaño por la unión de seis WCM. Se rellena, se rellena y se recubre el mandril con la tierra, se unen de forma perimetral o se rellenan y se unen.

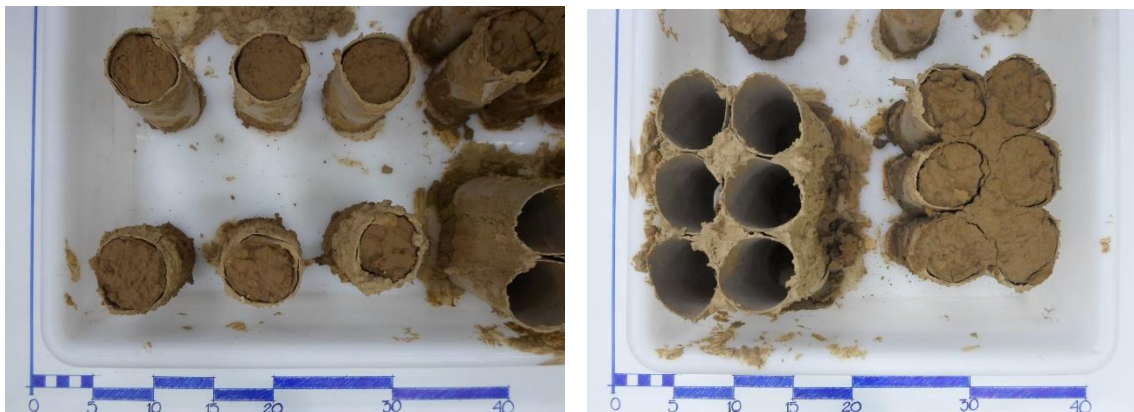


Ilustración 61 y 62. Ensayos de unión WCM con tierra. Fuente. Elaboración propia.

La composición de la mezcla de la tierra es arcilla de pasta roja tradicional en pasta, con una humedad del 22%, mezclada con arena limpia en un 10% de la composición, y adicción de agua hasta conseguir el punto de plasticidad necesario.

Se deja secar y una vez endurecido se aprecia que, al juntar el barro con el cartón, la retracción producida ha sido mucho mayor, debido a que el secado se realiza más rápido por la absorción del agua por parte del cartón del WCM, apareciendo fisuras y separándose en el caso de los WCM rellenos el barro del cartón. El WCM recupera, como en el caso de ser sumergido en agua, la forma y resistencia una vez que se seca.

Para tratar de buscar un adhesivo natural que pueda funcionar como otra posibilidad de unión se procede a hervir el agua del proceso anterior, donde habían sido sumergidos los WCM, para ver si queda algún resto de adhesivo, ya que era lo que fallaba a la hora de realizar ese ensayo. Se colocan tres litros de esa agua en una cazuela y se cuece a fuego lento durante dos horas y media hasta que se evapora todo el agua. El resultado previsto era una pasta de adhesivo, pero en su lugar lo que ocurrió fue que lo único que contenía el agua eran algunas fibras del cartón.



Ilustración 63 y 64. Cocción de agua de WCM sumergidos. Fuente. Elaboración propia.

La siguiente opción propuesta era la posibilidad de realizar una pieza, con tamaño para ser manejable, mediante la unión mecánica por compresión y aplastamiento de los WCM. Se realiza mediante dos métodos, aplastamiento en seco y aplastamiento posterior a un proceso de humedecimiento de los WCM.

Para ello primero se estudia el posible trabado de las hiladas del material ya que las dimensiones del WCM es "a x 2a".

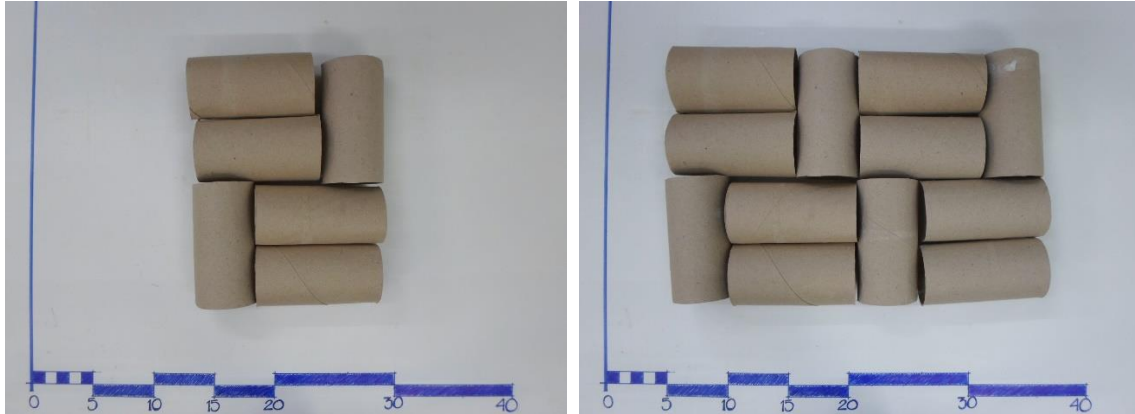


Ilustración 65 y 66. Proporciones de los WCM. Fuente. Elaboración propia.

Una vez aplastados, el material pierde esas proporciones, siendo más complicado el aparejo, ya que la proporción es casi "2a x 3a" pero sin serlo exactamente.



Ilustración 67 y 68. Proporciones de los WCM aplastados. Fuente. Elaboración propia.

Además, otro problema que surge en esta técnica es la tendencia que posee el WCM de volver a su forma, imposibilitando su completo aplanamiento, incluso con carga de dos ladrillos perforados (LP) durante más de un mes, en el caso de las piezas con la acción en seco. En el caso de las piezas con aplastamiento

en húmedo poseen la desventaja, que imposibilita su uso en la construcción, de poseer una fácil separación entre ellas.

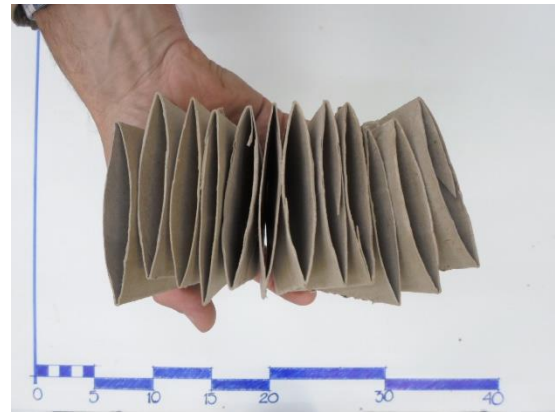


Ilustración 69 y 70. WCM aplastados en seco. Fuente. Elaboración propia.

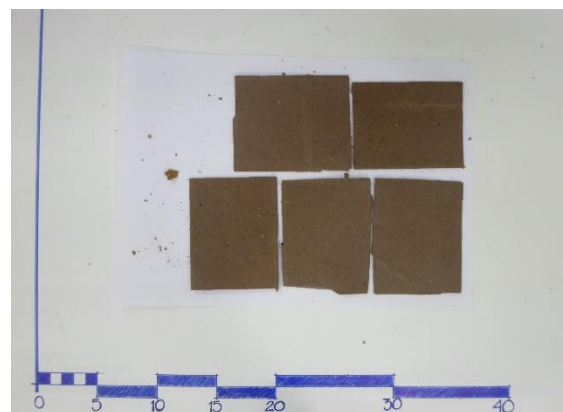
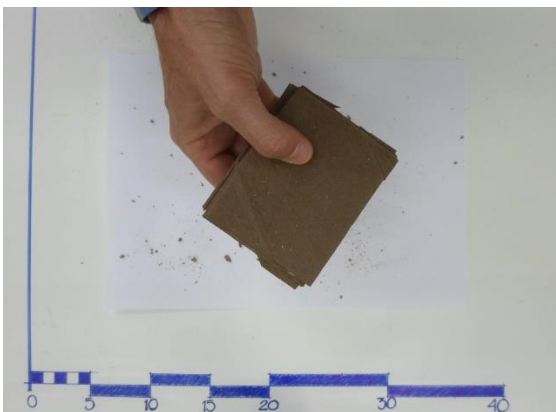


Ilustración 71 y 72. WCM aplastados en húmedo. Fuente. Elaboración propia.

MURO DE WCM

Una vez conocidas algunas de las posibilidades, comportamientos y características de este material, se propone realizar un muro de WCM, colocando de manera horizontal las piezas, para solventar los problemas de distintas longitudes que posee, y unirlas mediante barro por el perímetro. Esto se realizará como material de cerramiento, pudiendo dejarse los huecos del propio WCM libre, para jugar con perforaciones de luz y ventilación, o enfoscarlo para conseguir un cerramiento que además funcione de aislante gracias a la cámara de aire que quedaría en el interior debido a su forma. Además, con el enfoscado también se conseguiría una protección frente al agua.

Los WCM tendrán la función de cerramiento y no poseerán carácter estructural, por lo que se realiza entre dos machones que posean la estabilidad y soporten las cargas y los esfuerzos. Así el cerramiento de circunferencias quedará confinado, impidiendo su deformación, y por lo tanto resistiendo una carga mínima.

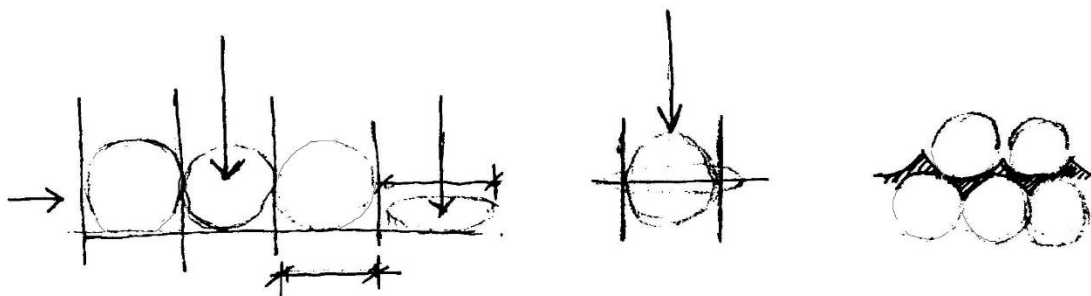


Ilustración 73. Croquis funcionamiento muro WCM. Fuente. Elaboración propia.

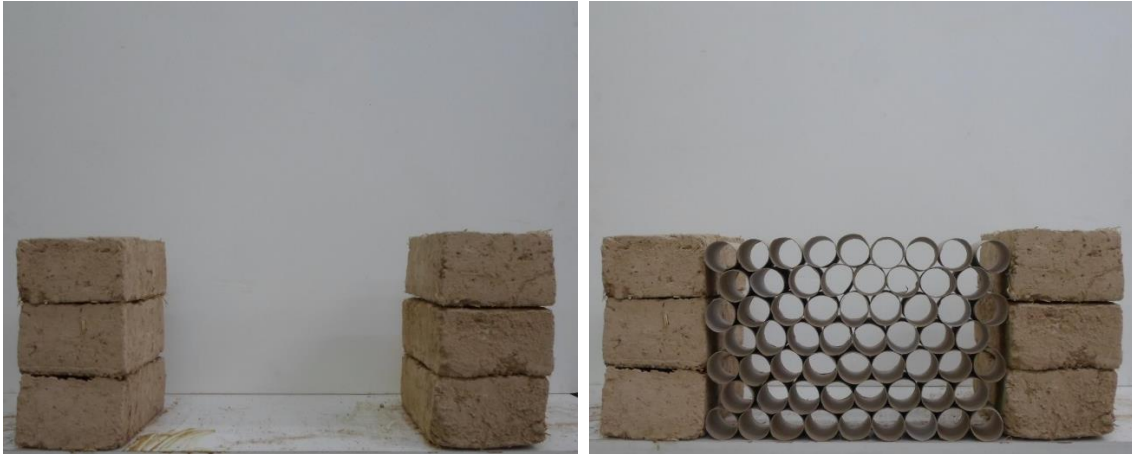


Ilustración 74 y 75. Inicio creación muro WCM. Fuente. Elaboración propia.

Se realizarán las distintas hiladas y en la zona superior del muro se colocará una capa de mayor espesor para conseguir un nivelaje correcto. A su vez en los extremos donde por forma no se pueda colocar un WCM debido a que no hay el espacio suficiente, se rellenará con la mezcla de barro también.

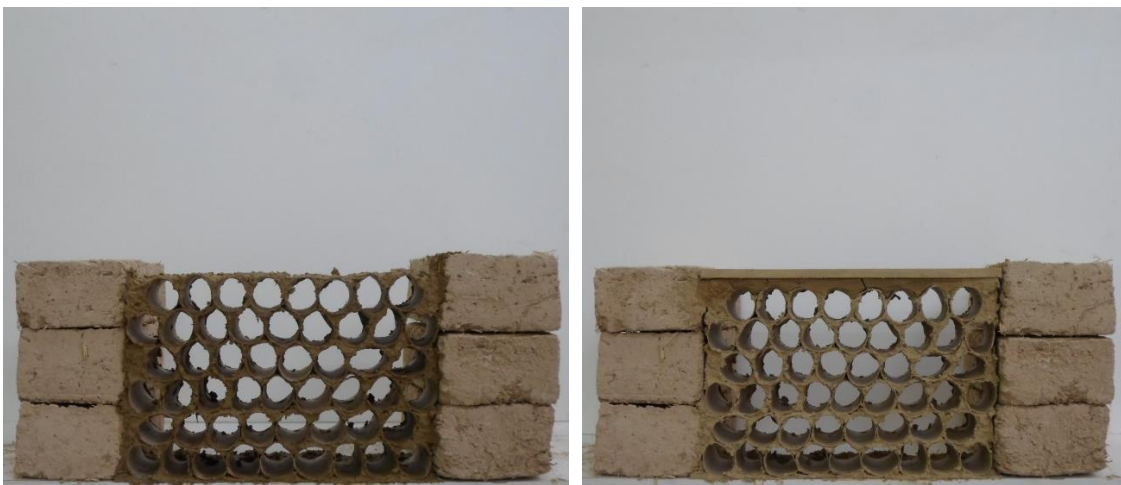


Ilustración 76 y 77. Muro de WCM. Fuente. Elaboración propia.

Se deja secar y se aprecia que el muro ha sufrido una retracción mayor en la zona superior, con la aparición de fisuras, y en los bordes. Esto es consecuencia de que tanto el cartón de los WCM como los machones de adobe han adsorbido el agua, desencadenando en un secado rápido de la mezcla de barro.

Una vez realizado el muro, se trata de comprobar la cantidad de peso que resiste. En un principio se estima que soportará unos diez kilogramos aproximadamente.

CARGA ESTIMADA 10Kg

Primero se procede a numerar y pesar, así como medir la carga que se va a colocar. Dicha carga se va a realizar con ladrillos cerámicos perforados (LP).

TABLA 8. Pesos de la carga

Peso de los doce ladrillos perforados (LP)	
Unidades: gramos (g)	
Designación	Pesos
L1	1.704,9
L2	1.701,0
L3	1.684,1
L4	1.669,6
L5	1.681,6
L6	1.684,0
L7	1.672,4
L8	1.628,4
L9	1.684,4
L10	1.717,0
L11	1.658,4
L12	1.729,2
PESO TOTAL	20.215 (20 KILOS)

Las medidas de los ladrillos LP se realizaron con una "Báscula Digital Electronic", modelo AND/FY-3.000, con desviación máxima de 0,1 g.



Ilustración 78 y 79. Muro de WCM con 20 kg de carga. Fuente. Elaboración propia.

Se colocan los ladrillos de diferentes formas para obtener distintas cargas y se espera unos 15 minutos para ver si el muro reacciona en un periodo de tiempo, pero se comprueba que no sufre ninguna deformación y puede de sobra con los 20 kilogramos aproximadamente de peso, sobrepasando con mucho las estimaciones iniciales de que soportaría aproximadamente diez kilogramos.

Se va añadiendo más carga poco a poco. A los doce ladrillos se le añaden dos paquetes de arcilla, SIO-2 con dimensiones 85 x 190x 370 mm, con un peso de 12.500 gramos cada uno, lo que hace un total de 25 kg, que sumados con los doce LP (20 kg) da un total de 45 kg aproximadamente.



Ilustración 80. Muro de WCM con 45 kg de carga. Fuente. Elaboración propia.

El muro sigue sin sufrir ningún tipo de deformación, por lo que se procede a añadir más peso con un bloque de hormigón Split con dimensiones 39 x 14 x 19 cm, con un peso de 12,80 kg, haciendo un total con la suma de los dos paquetes de arcilla y diez LP de 54.627,4 gramos, 54,6 kilos aproximadamente.



Ilustración 81. Muro de WCM con 54,6 kg de carga. Fuente. Elaboración propia.

CARGA RESISTIDA 54,6 Kg

Como el muro de WCM tiene 404 cm² de superficie, el cálculo de resistencia del mismo sería de 0,13 Kg/cm²

RESISTENCIA MURO WCM 0,13 Kg/cm²

Con ese peso el muro sigue resistiendo, por lo tanto, se procede a cambiar el bloque de hormigón por uno igual, pero con mayores dimensiones y peso. Este nuevo bloque de hormigón Split, de dimensiones 39 x 20 x 19 centímetros, posee un peso de 20,60 kilogramos, que sumados con los diez LP y los dos paquetes de arcilla hace un total de unos 62,40 kilogramos aproximadamente. Con este peso el muro cede ya que no es capaz de resistir el esfuerzo, rompiéndose justo por la segunda fila de WCM.



Ilustración 82 y 83. Muro de WCM con rotura y desplome después de acción de 62,40 kg. Fuente. Elaboración propia.

CARGA DE ROTURA 62,4 Kg

7.2.3. APLICACIÓN PRÁCTICA

Se propone la aplicación del muro realizado en los ensayos en un proyecto de creación de un **Stand de verano para recogida de WCM y actividades de concienciación ciudadana para el reciclado.**

El proyecto se pretende situar en la ciudad de Valladolid, en la plaza Colón, debido a que posee un uso peatonal y es tránsitada por un gran número de personas a lo largo del día, posibilitando de esta manera la participación de una gran parte de la población del entorno.



Ilustración 84 y 85. Planos de situación. Fuente. Elaboración propia.



Ilustración 86 y 87. Planos de implantación. Fuente. Elaboración propia.

CERRAMIENTO Y ELEMENTO SUSTENTANTE

Planta rectangular, donde juega a intercalar los machones de tierra con huecos realizado con muros de WCM, los cuales no se esfoscan, ya que es una arquitectura temporal de verano, pensada para sombreamiento, pero no para proteger de la lluvia ni poseer aislamiento e inercia con respecto al exterior. Además, el no revocado de los muros permite la ventilación cruzada en el interior del espacio.

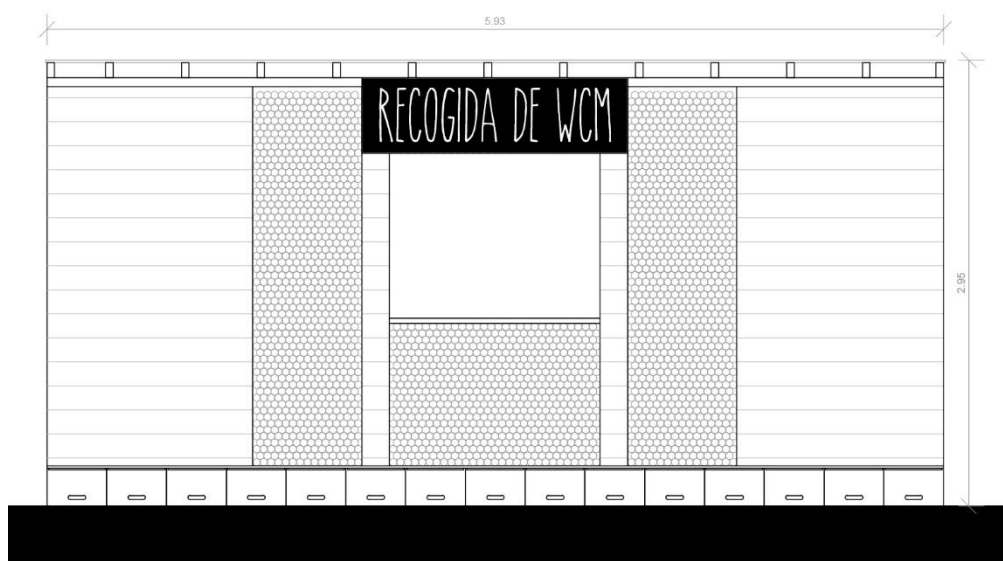
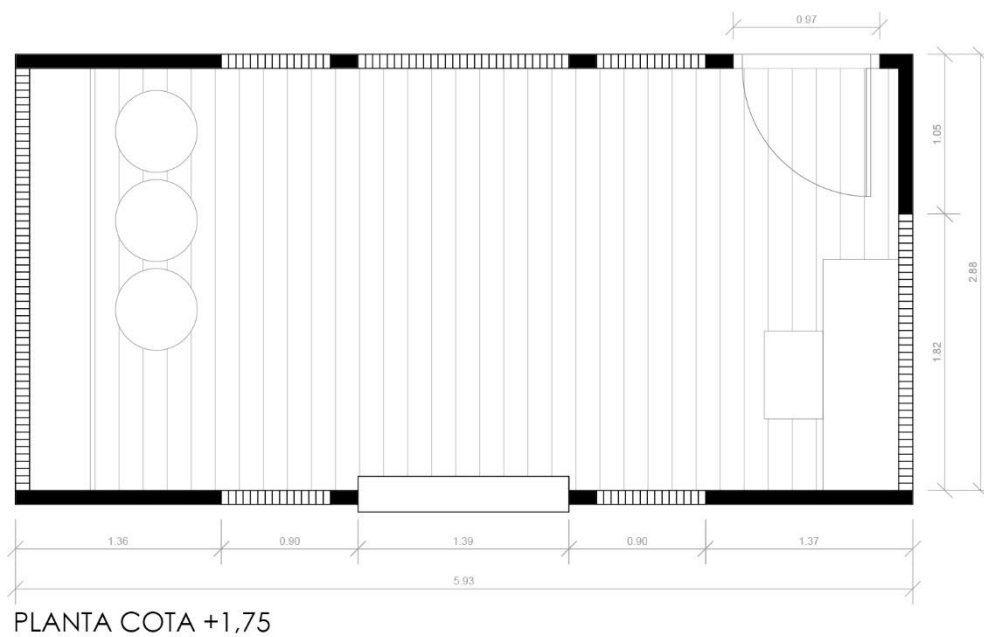


Ilustración 88. Planta Stand y alzado oeste. Fuente. Elaboración propia.

CIMENTACIÓN Y ARRANQUE DEL EDIFICIO

Los muros se soportan sobre unas cajas de plástico de transporte de botellines de cerveza, sobre los cuales se colocan unos tableros contrachapados hidrófugos de 15 mm de espesor y con dimensiones de 244 x 122 mm.

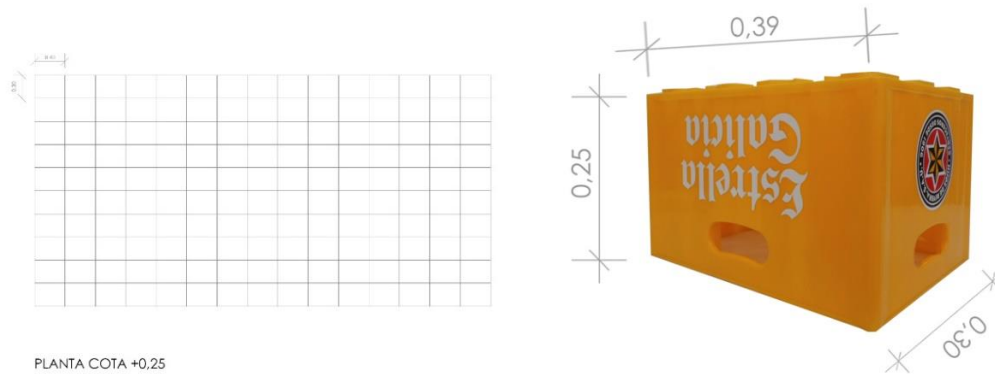


Ilustración 89. Planta cajas y caja de plástico. Fuente. Elaboración propia.

CUBIERTA

Sobre los muros se colocará un zuncho perimetral de madera de 90 x 60 mm. Y unido en los vértices mecánicamente por medio de una unión madera-madera de tipo cola de milano. Sobre el mismo se sitúan unos rastreles cada 0,50 metros, de madera, con dimensiones de 50 x 100 mm., los cuales soportan la cubierta de cañizo que permite el sombreado. Esta cubierta no está pensada para evacuar agua, tiene huecos de ventilación y protege del sol al usuario que se encuentre en su interior.

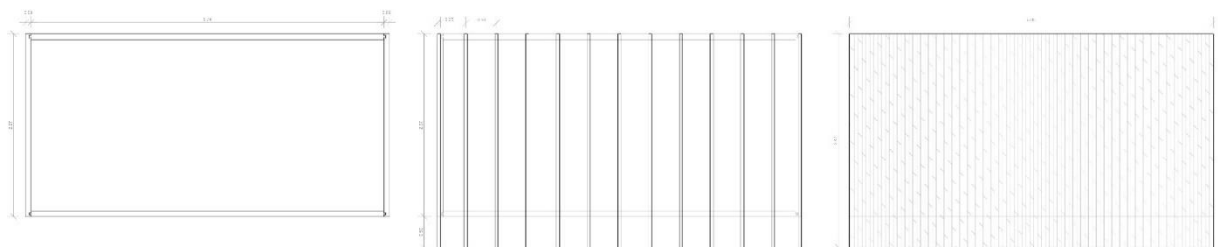


Ilustración 90. Plantas constructivas de cubierta. Fuente. Elaboración propia.

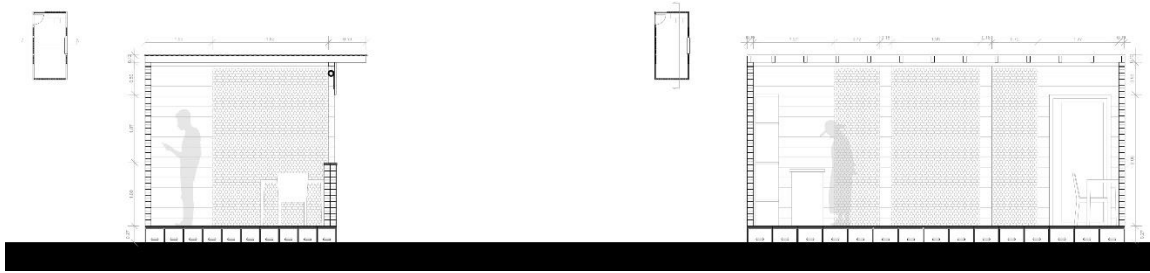


Ilustración 91. Sección transversal y longitudinal. Fuente. Elaboración propia.

La intervención se encuentra acompañada por mobiliario urbano de los mismos materiales. Un banco realizado con las cajas de transporte de botellines junto con un tablero de madera.



Ilustración 92. Imagen propuesta. Fuente. Elaboración propia.

8. CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio de los diferentes ejemplos de experiencias con materiales reutilizados, reciclados o de bajo impacto medioambiental, para conseguir una disminución de los residuos causados por la construcción, que llenan los vertederos y producen contaminación a un nivel elevado al planeta. Una búsqueda más intensa en el ámbito de la construcción con el papel y el cartón, conociendo las propiedades y características del material e investigando las diferentes propuestas y ejemplos de arquitectura con el mismo.

Una vez estudiado de forma general el papel y cartón, la atención se centra en el conocimiento y especialización del mandril que trabaja de soporte para el papel higiénico, el cual se ha nombrado como WCM (Water Closet Mandril).

De este elemento se ha llegado a conocer desde su fabricación, hasta sus características, propiedades, ventajas e inconvenientes que pueden presentarse a la hora de ser aplicado como método constructivo. Se realizan ensayos y en cada uno de ellos se consigue ir conociendo cada vez más el WCM y su forma de trabajo.

Como resultado en los ensayos se destaca que el mandril no pierde su estructura a la hora de ser sumergido en el agua, únicamente se separa en capas debido al mal funcionamiento del adhesivo en ese estado, pero una vez que pierde la humedad vuelve sin problema a su estado inicial. El agua de todas formas, en contacto con el WCM, si afecta a su capacidad de resistencia.

Otra curiosidad es la imposibilidad de clasificar por la longitud las piezas, siendo de esta forma imposible realizar un sistema constructivo de WCM en posición vertical por medio de apilamiento, ya que no se consiguen los tendidos nivelados de manera horizontal.

Dificultad a la hora de realizar la unión de las distintas piezas, siendo posible mediante un elemento natural como es el barro y tierra, pero con el inconveniente de sufrir una gran retracción agravada por la absorción de humedad de la mezcla por parte de los mandriles.

En comparación entre el peso y dimensión de la pieza de WCM, a la hora de realizar la prueba de carga en el muro, se puede comprobar como su resistencia es absolutamente superior. Siendo un elemento prácticamente hueco, muy ligero, el cual llega a soportar los 50 kilogramos de carga centrada sobre el mismo sin problema.

Aún queda mucho por estudiar y experimentar con el material para encontrar una técnica perfeccionada, aumentado de la manera más óptima posible su rendimiento y capacidad de resistencia mecánica, frente a la humedad, ataque biológico, etc. Todo ello para conseguir una construcción de tipo low-cost, donde el factor principal sea la construcción fácil, rápida, barata, con bajo impacto medioambiental y con la reutilización de materiales donde ha finalizado su vida útil, para darles otro uso, sin ser necesario un proceso de reciclaje.

9. BIBLIOGRAFÍA

-BIBLIOGRAFÍA EN PAPEL

Ayan, Ö. (2009); *Cardboard in architectural technology and structural engineering: a conceptual approach to cardboard buildings in architecture*. DISS. ETH NO. 18421. ETH Zurich. (Tesis doctoral).

Sara Pérez Gamarra (2015); *Construcción alternativa III. Construcción low-cost. Reciclar y construir con el desecho. Otras oportunidades para los materiales de reciclado y nuevos usos para los materiales convencionales*. (Trabajo de Fin de Grado).

Rocha, Miguel & Jové, Félix (2015); *Técnicas de construcción con tierra*. Ed.: Argumentum Edições, Lisboa, 2015. ISBN: 978-972-8479-89-3.

Bahamón, Alejandro & Sanjinés, María Camila (2008); *Rematerial: del desecho a la arquitectura*. Ed.: Parramón, Barcelona, 2008.

Lainez, Lucía (2014); *Investigación y propuestas de mejora del uso de la tierra y materiales de reciclado en la construcción*. (Trabajo Fin de Máster).

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (1997); *Indicadores energéticos. 7, Sector, fabricación de pasta, papel y cartón*. ISBN: 8486850878.

Yabuka, Narelle; Sola, Clara traducción y adaptación al Castellano (2011); *Eco diseño: cartón*. Ed.: Linkbooks, Barcelona, 2011. ISBN: 978-84-15123-45-3.

-BIBLIOGRAFÍA WEB

<https://www.20minutos.es/noticia/1715324/0/construccion/casa/bioconstruccion/>

https://www.construmatica.com/construpedia/Residuos_Generados_en_las_Obras_de_Construccion

<http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujo/tierras-y-escombros/>

<http://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?path=/t26/e068/p03/serie/I0/&file=01001.px>

<https://blogthinkbig.com/botella-agua-reciclable-servir-tras-uso-elemento-construccion>

<http://xornaldegalicia.es/especiales/gente/12287-en-la-cadena-de-consumo-los-microplasticos-comienzan-a-ser-un-verdadero-problema-para-la-salud-sobre-el-que-comienzan-a-alertar-los-expertos>

<http://www.gagiers75.info/3145/>

<http://www.ddecoracion.com/arquitectura/construir-con-envases-de-pet/>

https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/tag/botellas_foto_pet_2

<https://rolloid.net/ideas-para-reutilizar-las-botellas-de-cristal/>

<https://elcomercio.pe/casa-y-mas/arquitectura/templo-budista-construido-botellas-vidrio-214588>

<https://www.taringa.net/posts/offtopic/11146169/Arquitectura-cubo-de-latas-en-Shangai.html>

<http://www.arcus-global.com/wp/arquitectura-con-latas/#prettyPhoto>

<https://www.apartmenttherapy.com/recycled-tire-garden-shed-160569>

<https://ovacen.com/la-arquitectura-con-contenedores-ventajas-y-desventajas/>

<http://blog.is-arquitectura.es/2017/03/28/huini-casa-con-4-contenedores-de-40pies/>

<http://projects.archiexpo.es/project-27420.html>

<https://www.pinterest.es/pin/507569820473001184/?lp=true>

<http://www.casasecologicas.org/2012/04/casa-con-palets-de-construccion.html>

https://www.f3arquitectura.es/mies_portfolio/palets/

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-222696/pabellon-de-tetrabriks-cuac-arquitectura-sugarplatform/50e63b00b3fc4b138700002d-pavilion-of-tetrabriks-cuac-arquitectura-sugarplatform-photo>

<http://dle.rae.es/?id=RmThomy>

<https://www.elinvernaderoactivo.com/materiales-papel-y-carton-i-definicion/>

<http://conceptodefinicion.de/papel/>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Papel>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Carl%C3%B3n>

<http://dle.rae.es/?id=715h752>

<http://www.aspapel.es/el-sector/descripcion>

<http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujo/domesticos/fracciones/papel-y-carton/Cuanto-donde-se-genera.aspx>

<http://www.aspapel.es/content/la-produccion-de-papel-crece-el-26-y-el-consumo-el-56-en-2015>

http://www.reed.edu/reed_magazine/aug2005/features/vanished_buildings/index.html

<http://www.shigerubanarchitects.com>

https://es.wikipedia.org/wiki/Shigeru_Ban

<https://www.archdaily.mx/mx/750345/voussoir-cloud-iwamotoscott-architecture-buro-happold>

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/890814/esta-casa-se-compone-de-segmentos-modulares-de-carton>

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/884735/pabellon-de-carton-y-papel-reflectante-gana-el-premio-fab-fest-2017>

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/881359/estudiantes-disenan-muebles-temporales-para-refugiados-en-madera-y-carton>

<http://www.disup.com/mobiliario-en-carton-por-giancarlo-zema/>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Suelo>

http://www.construtierra.org/construtierra_construir_con_tierra.html

<http://dle.rae.es/?id=Zj5UJym>

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/14222/LA%20ARQUITECTURA%20DE%20TIERRA.%20E%20VOLUCI%C3%93N%20A%20TRAV%C3%89S%20DE%20LA%20HISTORIA.%28DEFINITIVO%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s04.htm>

<https://www.caracteristicas.co/suelo/>

<https://sites.google.com/a/unitecnica.net/ingenieros-de-rollos-de-papel-higienico-suave/fabricacion-del-rollo-del-papel-higienico>

<https://www.youtube.com/watch?v=TbT-LQI3fNE>

<http://dle.rae.es/?id=OAL1z3Z|OAMEFDH definici3n mandril>

<https://espanol.sonocoalcore.com/acerca-de-nosotros/proceso-de-fabricacion.aspx>

<http://www.tuleje.com.pl/ru/index.html>

<http://www.manufactura.mx/industria/2014/05/21/el-papel-higienico-de-material-100-reciclado>

<http://cartontubos.com/proceso-de-produccion/>

<https://www.youtube.com/watch?v=YqIFtmI7ZZA>

<https://www.shalbaida.com/blog-sh-albaida/cuanto-papel-higienico-consumimos-los-espanoles/>

<https://elcomercio.pe/economia/negocios/scotiabank-proyecta-industria-papel-recuperara-2017-437711>

<http://www.elmundofinanciero.com/noticia/44034/economia/la-industria-del-papel-vuelve-a-crecer-y-se-abre-un-nuevo-ciclo-inversor.html>

10. LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Interior de vivienda de 35 m2 de contenedores de aluminio. Fuente. https://www.20minutos.es/noticia/1715324/0/construccion/casa/bioconstruccion/6	6
Ilustración 2. Exterior de vivienda de 35 m2 de contenedores de aluminio. Fuente. https://www.20minutos.es/noticia/1715324/0/construccion/casa/bioconstruccion/6	6
Ilustración 3. Exterior vivienda de superadobe. Fuente. https://www.20minutos.es/noticia/1715324/0/construccion/casa/bioconstruccion/6	6
Ilustración 4 y 5. Interior de vivienda de superadobe. Fuente. https://www.20minutos.es/noticia/1715324/0/construccion/casa/bioconstruccion/7	7
Ilustración 6. Botellas de agua tipo PET. Fuente. http://xornaldeg Galicia.es/especiales/gente/12287-en-la-cadena-de-consumo-los-microplasticos-comienzan-a-ser-un-verdadero-problema-para-la-salud-sobre-el-que-comienzan-a-alertar-los-expertos11	11
Ilustración 7. Reutilización de material con otro uso. Fuente. http://www.gagiers75.info/3145/11	11
Ilustración 8. Muro con botellas PET rellenas de tierra y atadas por el tapón. Fuente. http://www.ddecoracion.com/arquitectura/construir-con-envases-de-pet/13	13
Ilustración 9. Cúpula a base de estructura modular de botellas PET. Fuente. https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/tag/botellas13	13
Ilustración 10. Paramento decorativo de botellas de cristal. Fuente. https://rolloid.net/ideas-para-reutilizar-las-botellas-de-cristal/14	14
Ilustración 11. Templo Wat Lan Kuad realizado con botellas de cerveza. Fuente. https://elcomercio.pe/casa-y-mas/arquitectura/templo-budista-construido-botellas-vidrio-21458814	14
Ilustración 12. Sistema de fachada de latas de aluminio Can Cube. Fuente. https://www.taringa.net/posts/offtopic/11146169/Arquitectura-cubo-de-latas-en-Shangai.html15	15
Ilustración 13. Edificio de vivienda y oficinas en Shangai, China. Fuente. https://www.taringa.net/posts/offtopic/11146169/Arquitectura-cubo-de-latas-en-Shangai.html15	15
Ilustración 14. Pabellón con latas de refresco. Fuente. http://www.arcus-global.com/wp/arquitectura-con-latas/#prettyPhoto15	15
Ilustración 15. Pabellón de tetrabriks en Granada. Fuente. https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-222696/pabellon-de-tetrabriks-cuac-arquitectura-sugarplatform/50e63b00b3fc4b138700002d-pavilion-of-tetrabriks-cuac-arquitectura-sugarplatform-phot16	16
Ilustración 16. Palettenpavilion, pabellón temporal. Fuente. https://www.pinterest.es/pin/507569820473001184/?lp=true16	16
Ilustración 17. Casa manifiesto en Chile. Fuente. http://www.casasecologicas.org/2012/04/casa-con-palets-de-construccion.html16	16

Ilustración 19. Casa Huiini con cuatro contenedores. Fuente. http://blog.is-arquitectura.es/2017/03/28/huiini-casa-con-4-contenedores-de-40pies/	18
Ilustración 20. Oficinas en Israel con siete contenedores Fuente. http://projects.archiexpo.es/project-27420.html	18
Ilustración 21. Composición de residuos de competencia municipal en España. Fuente. http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujo-domesticos/fracciones/papel-y-carton/Cuanto-donde-se-genera.aspx	24
Ilustración 24. Primera casa realizada con cartón The 1944 House. Fuente. Ayan, Ö.;Cardboard in architectural technology and structural engineering: a conceptual approach to cardboard buildings in architecture. DISS. ETH.....	29
Ilustración 25. ART DOME, Buckminster Fuller, 1963-79. Fuente. http://www.reed.edu/reed_magazine/aug2005/features/vanished_buildings/index.html	29
Ilustración 26. Paper Arbor, Shigeru Ban, 1989. Fuente. http://www.shigerubanarchitects.com/works/1989_paper-arbor/index.html	30
Ilustración 27. The paper log houses, Shigeru Ban, 1995. Fuente. http://www.shigerubanarchitects.com/works/1995_paper-log-house-kobe/index.html	31
Ilustración 28. The paper church, Shigeru Ban, 1995. Fuente. http://www.shigerubanarchitects.com/works/1995_paper-church/index.html	31
Ilustración 29 y 30. The paper dome, Shigeru Ban, 1998. Fuente. http://www.shigerubanarchitects.com/works/1998_paper-dome/index.html	32
Ilustración 31. Museo Nomadic, Shigeru Ban, 2005. Fuente. http://www.shigerubanarchitects.com/works/2005_nomadic-museum-ny/index.html	32
Ilustración 32 y 33. Voussoir Cloud, IwamotoScott Architecture + Buro Happold, 2008. Fuente. https://www.archdaily.mx/mx/750345/voussoir-cloud-iwamotoscott-architecture-buro-happold	33
Ilustración 34 y 35. Wikkelpuse, Fiction Factory. Fuente. https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/890814/esta-casa-se-compone-de-segmentos-modulares-de-carton	33
Ilustración 36. Diagrama de sistema modular. Fuente. https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/890814/esta-casa-se-compone-de-segmentos-modulares-de-carton	34
Ilustración 37 y 38. Wikkelpuse, Fiction Factory. Fuente. https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/890814/esta-casa-se-compone-de-segmentos-modulares-de-carton	34
Ilustración 39 y 40. Get high without drugs. Fuente. https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/884735/pabellon-de-carton-y-papel-reflectante-gana-el-premio-fab-fest-2017	35
Ilustración 41. Muebles temporales para refugiados, 2017. Rehome. Fuente. https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/881359/estudiantes-disenan-muebles-temporales-para-refugiados-en-madera-y-carton	36
Ilustración 42. Paper Tube and Plywood Stool, Shigeru Ban, 1997. Fuente. http://www.shigerubanarchitects.com/works/1997_paper-tube-and-plywood-stool/index.html	36
Ilustración 43. Serie Carta, Shigeru Ban, 1998. Fuente. http://www.shigerubanarchitects.com/works/1998_carta-series/index.html	36

Ilustración 44. Mobiliario en cartón honeycomb, Giancarlo Zema. Fuente. http://www.disup.com/mobiliario-en-carton-por-giancarlo-zema/	37
Ilustración 45. Mandriles de cartón. Fuente. http://www.tuleje.com.pl/ru/index.html	45
Ilustración 46. Cartón de envases para reciclado en producción de mandriles. Fuente. http://www.manufactura.mx/industria/2014/05/21/el-papel-higienico-de-material-100-reciclado	46
Ilustración 47. Máquina bobina. Fuente. http://cartontubos.com/proceso-de-produccion/	46
Ilustración 48. Máquina corte conjunto papel higiénico. Fuente. https://www.youtube.com/watch?v=YqIFtmIZZA	47
Ilustración 49. Elaboración de productos 2016. Fuente. Estudios Económicos Scotiabank.....	49
Ilustración 50. Campaña de recogida de mandriles. Fuente. Grupo Tierra.....	51
Ilustración 51. Doce mandriles seleccionados. Fuente. Elaboración propia.....	52
Ilustración 52. Doce mandriles introducidos en recipiente. Fuente. Elaboración propia.....	53
Ilustración 53 y 54. WCM sumergidos en agua. Fuente. Elaboración propia.....	54
Ilustración 55 y 56. WCM sumergidos en agua 72 horas. Fuente. Elaboración propia.....	54
Ilustración 57 y 58. WCM extraídos del agua después de tres días sumergidos. Fuente. Elaboración propia.....	55
Ilustración 59 y 60. WCM secados al aire. Fuente. Elaboración propia.....	55
Ilustración 61 y 62. Ensayos de unión WCM con tierra. Fuente. Elaboración propia.....	56
Ilustración 63 y 64. Cocción de agua de WCM sumergidos. Fuente. Elaboración propia.	57
Ilustración 65 y 66. Proporciones de los WCM. Fuente. Elaboración propia.....	58
Ilustración 67 y 68. Proporciones de los WCM aplastados. Fuente. Elaboración propia.....	58
Ilustración 69 y 70. WCM aplastados en seco. Fuente. Elaboración propia.....	59
Ilustración 71 y 72. WCM aplastados en húmedo. Fuente. Elaboración propia.....	59
Ilustración 73. Croquis funcionamiento muro WCM. Fuente. Elaboración propia.....	60
Ilustración 74 y 75. Inicio creación muro WCM. Fuente. Elaboración propia.....	61
Ilustración 78 y 79. Muro de WCM con 20 kg de carga. Fuente. Elaboración propia.....	63
Ilustración 80. Muro de WCM con 45 kg de carga. Fuente. Elaboración propia.....	63
Ilustración 81. Muro de WCM con 54,6 kg de carga. Fuente. Elaboración propia.....	64

Ilustración 82 y 83. Muro de WCM con rotura y desplome después de acción de 62,40 kg. Fuente. Elaboración propia.....65

Ilustración 84 y 85. Planos de situación. Fuente. Elaboración propia.....66

Ilustración 86 y 87. Planos de implantación. Fuente. Elaboración propia.....66

Ilustración 88. Planta Stand y alzado oeste. Fuente. Elaboración propia.....67

Ilustración 89. Planta cajas y caja de plástico. Fuente. Elaboración propia.....68

Ilustración 90. Plantas constructivas de cubierta. Fuente. Elaboración propia.....68

Ilustración 91. Sección transversal y longitudinal. Fuente. Elaboración propia.....69

Ilustración 92. Imagen propuesta. Fuente. Elaboración propia.....69

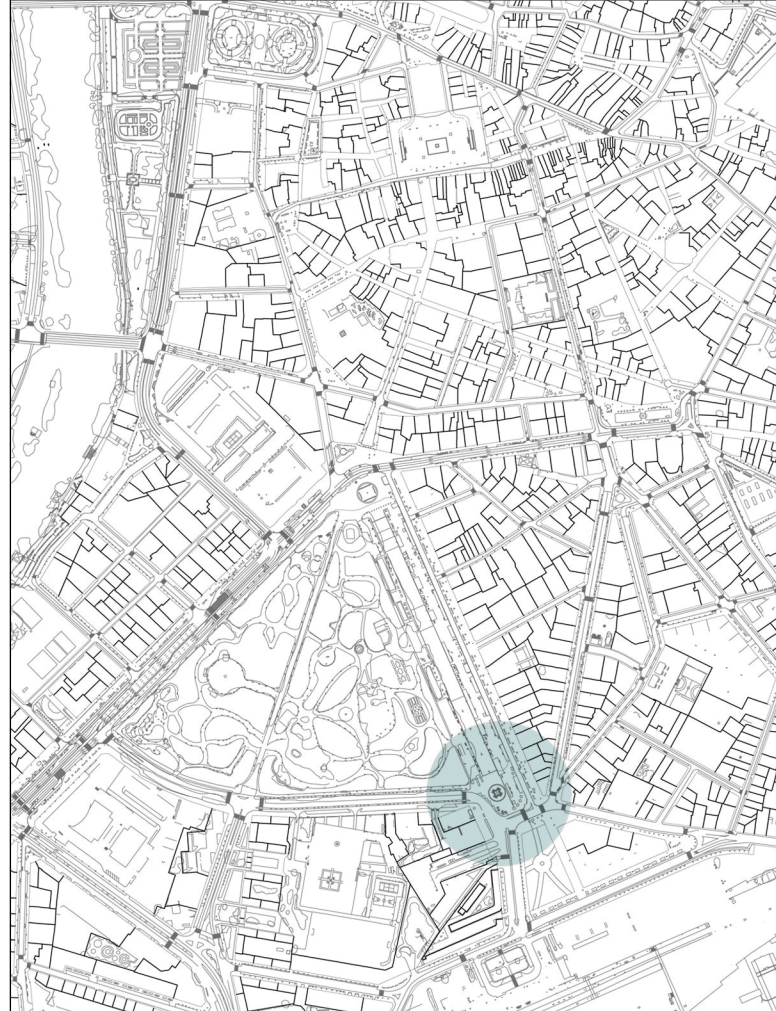
11. LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Residuos generados por actividades económicas. Fuente: INE.....	8
TABLA 2. Residuos generados en el Sector de la Construcción. Fuente: INE.....	9
TABLA 3. Producción anual de papel y cartón en España. Fuente. ASPAPEL.....	24
TABLA 4. Consumo anual de papel y cartón en España. Fuente. ASPAPEL.....	24
TABLA 5. Evolución de la producción y el consumo. Fuente: ASPAPEL.....	48
TABLA 6. Elaboración de productos de papel. Fuente: Estudios Económicos Scotiabank.....	49
TABLA 7. Medidas de doce mandriles similares.....	53
TABLA 8. Pesos de la carga.....	62

12. ANEXO DEFINICIÓN PROYECTO

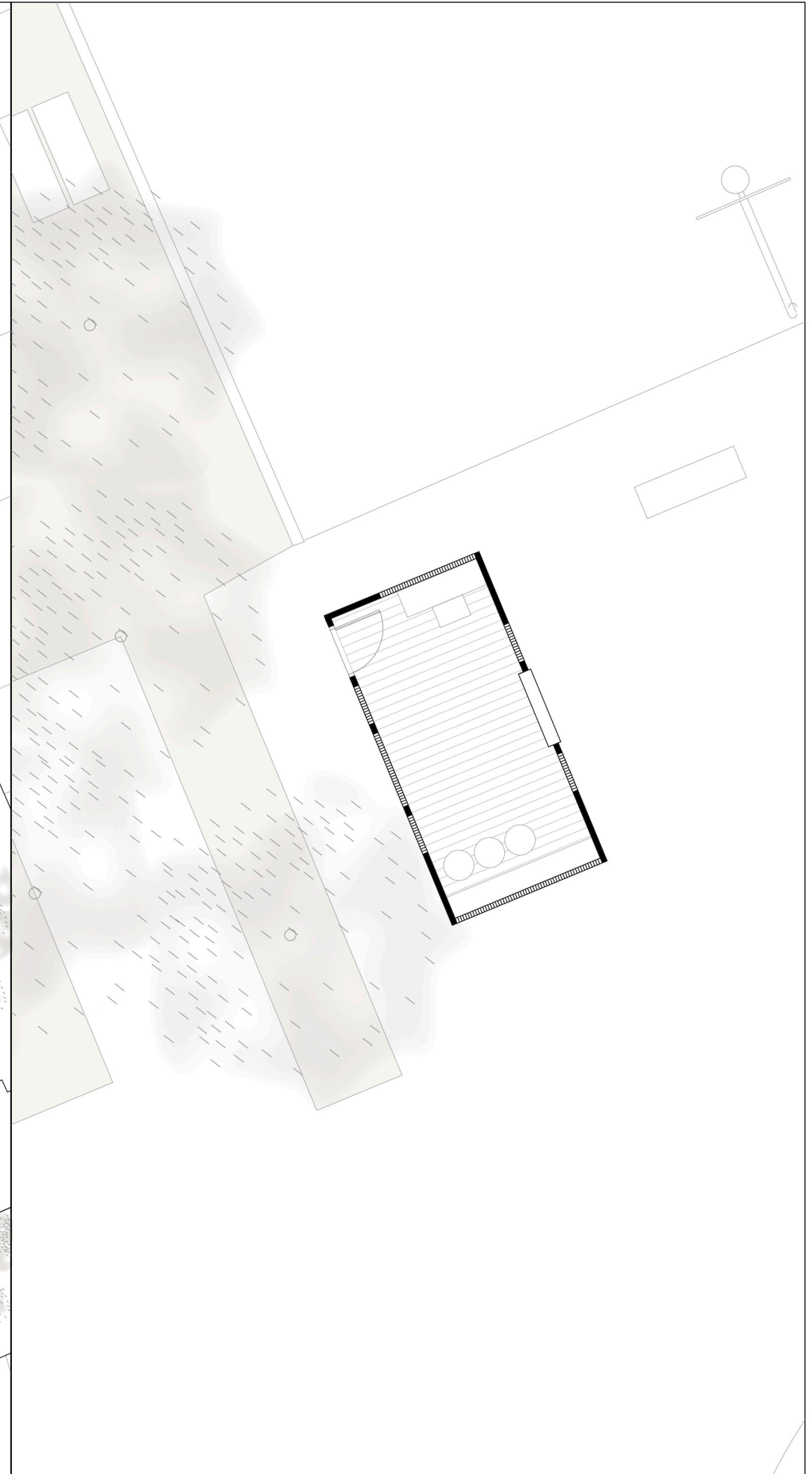


ESCALA 1:100.000



PLANOS SITUACIÓN VALLADOLID

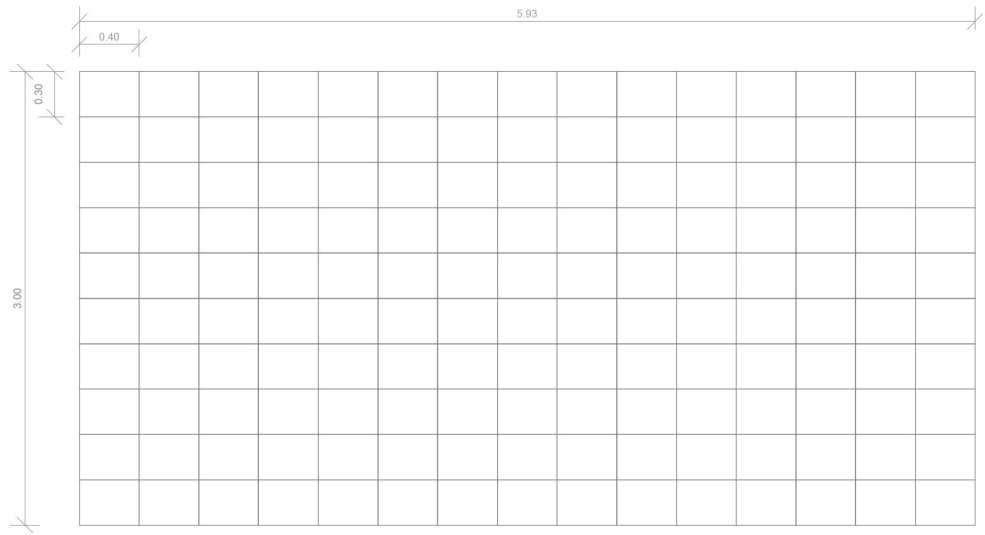
ESCALA 1:10.000 EMPLAZAMIENTO



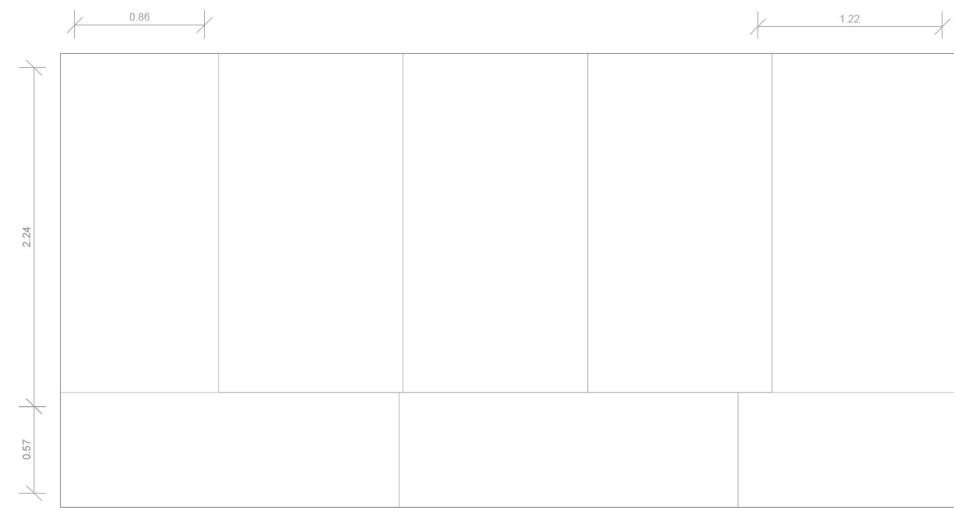
ESCALA 1:600

ESCALA 1:100

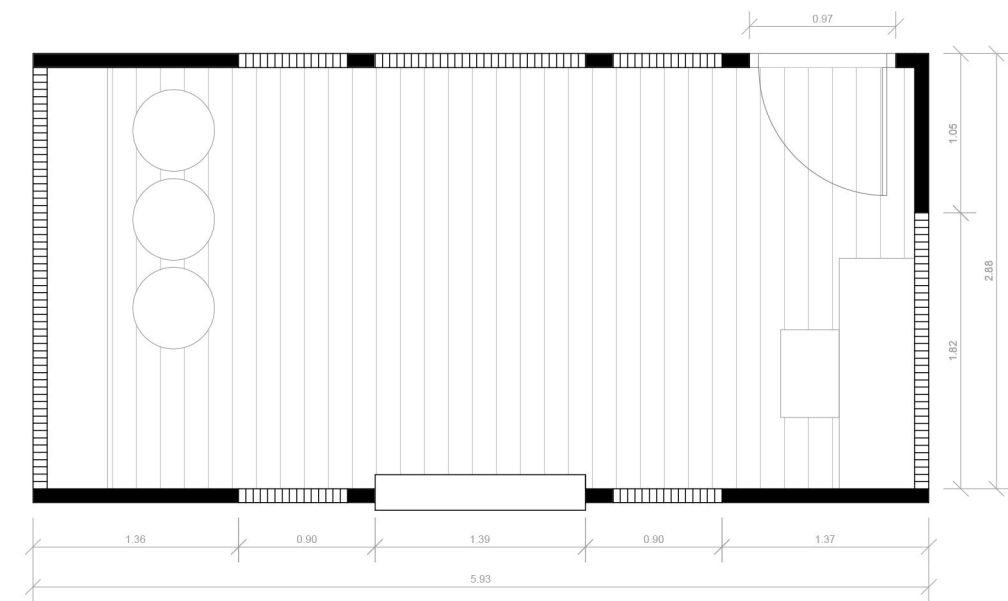
PLANO 01



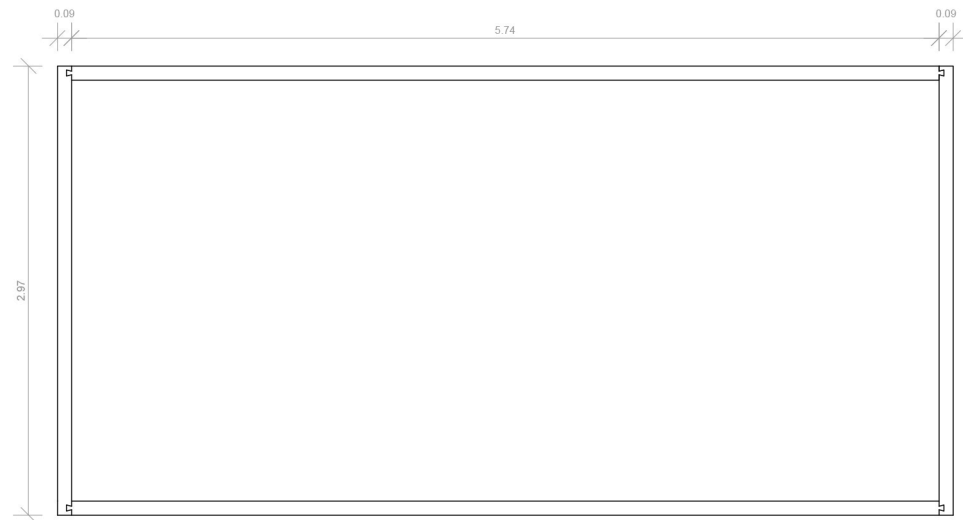
PLANTA COTA +0,25
Base de cajas de cerveza (150 unidades)



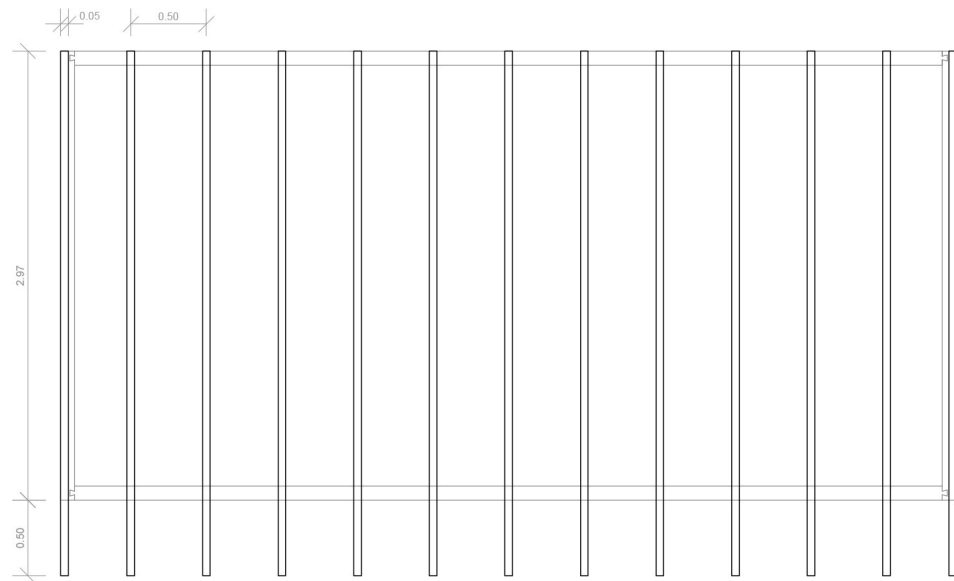
PLANTA COTA +0,27
Tablero de madera contrachapado hidrófugo 15 mm (6 unidades)



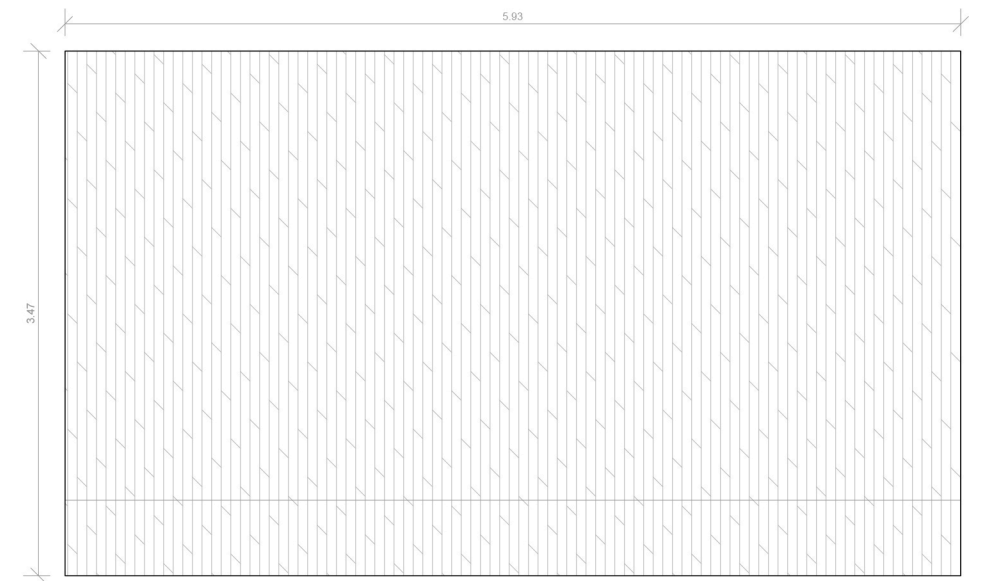
PLANTA COTA +1,75
Cerramiento de WCM y adobe



PLANTA COTA +2,60
Viga coronación de madera

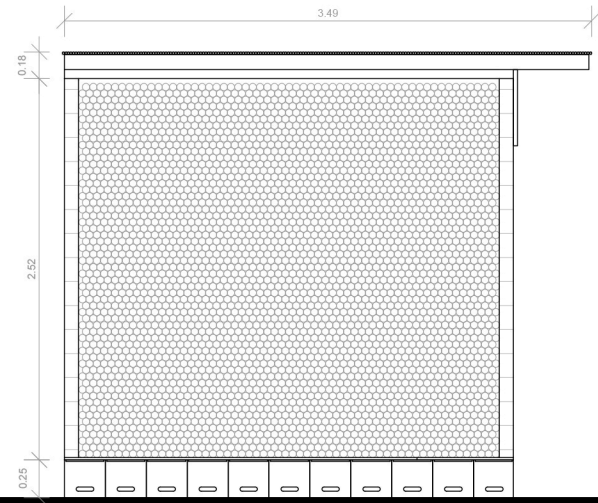


PLANTA COTA +2,70
Rastreles de madera

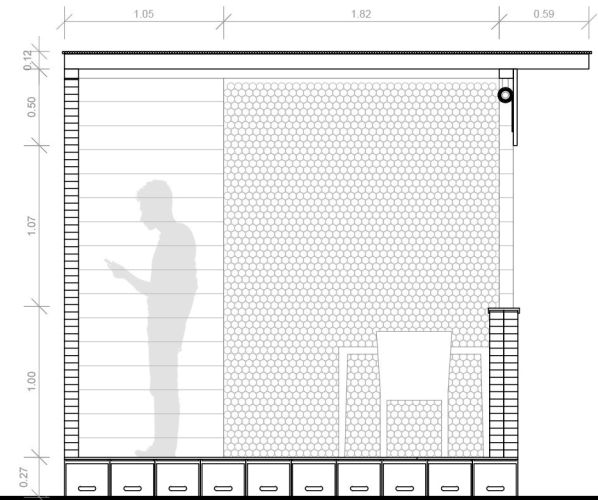
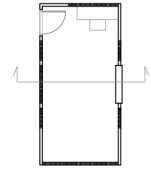


PLANTA COTA +2,95
Cubierta de cañizo

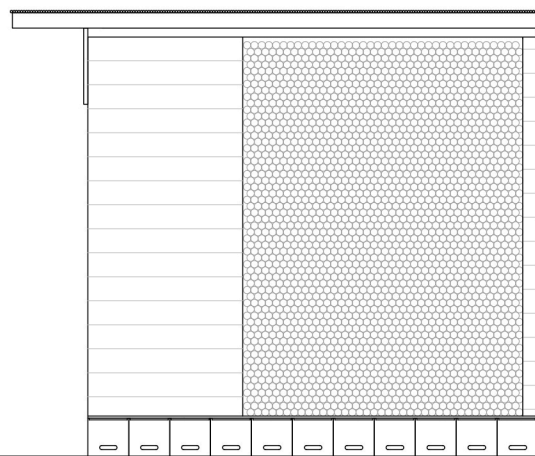




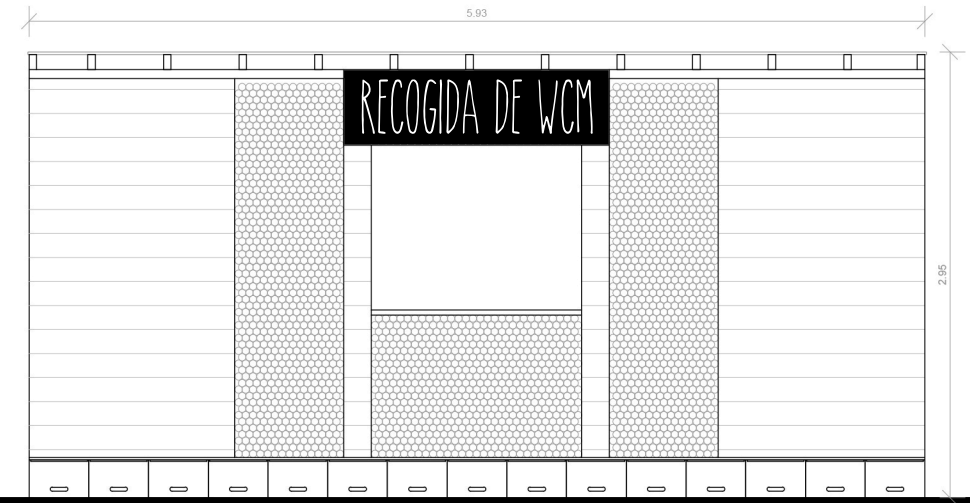
ALZADO SUR



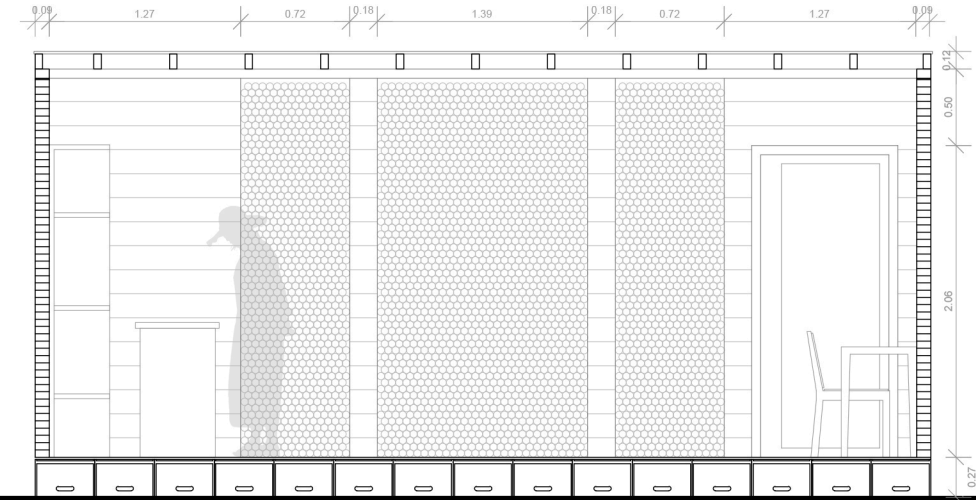
SECCIÓN TRANSVERSAL



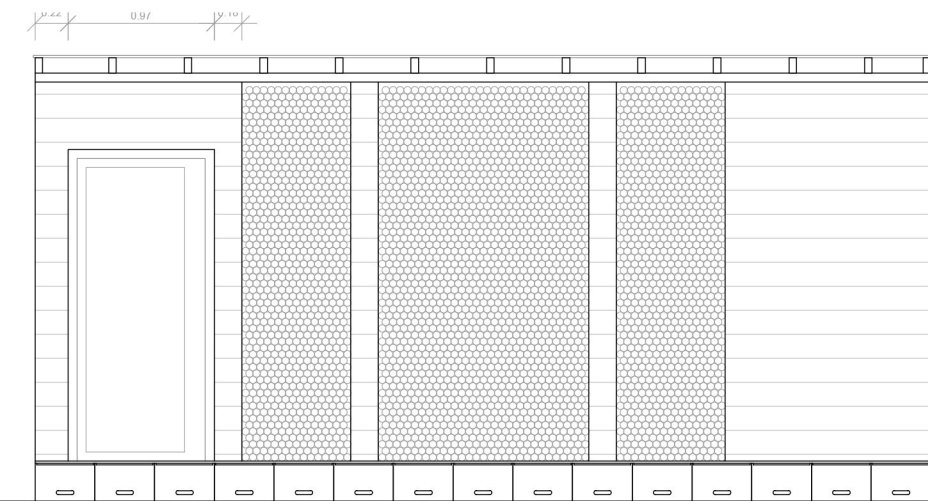
ALZADO NORTE



ALZADO ESTE



SECCIÓN LONGITUDINAL



ALZADO OESTE

ESCALA 1:50

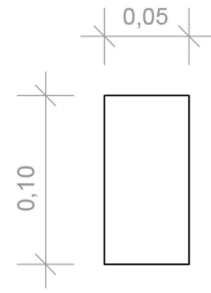


Construcción Low-Cost. Sistema constructivo con WCM

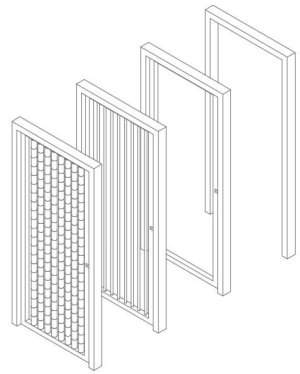
① CAÑIZO EN ROLLO DE 1,5X6,00 METROS



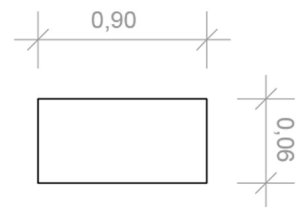
② RASTREL MADERA (0,05 X 0,10 X 3,50 METROS)



③ PUERTA DE MADERA Y MANDRILES



④ TABLERO CORONACIÓN MADERA (0,09X0,06) UNIONES MECÁNICAS DE COLA DE MILANO



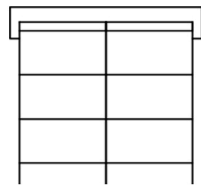
⑤ MACHÓN DE TIERRA



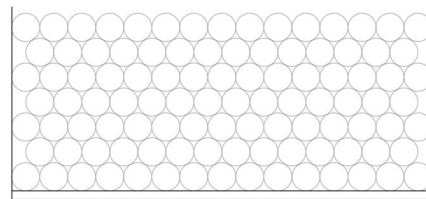
⑥ CARTEL STAND



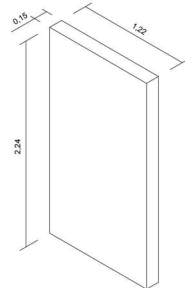
⑦ MOSTRADOR, TABLERO DE MADERA



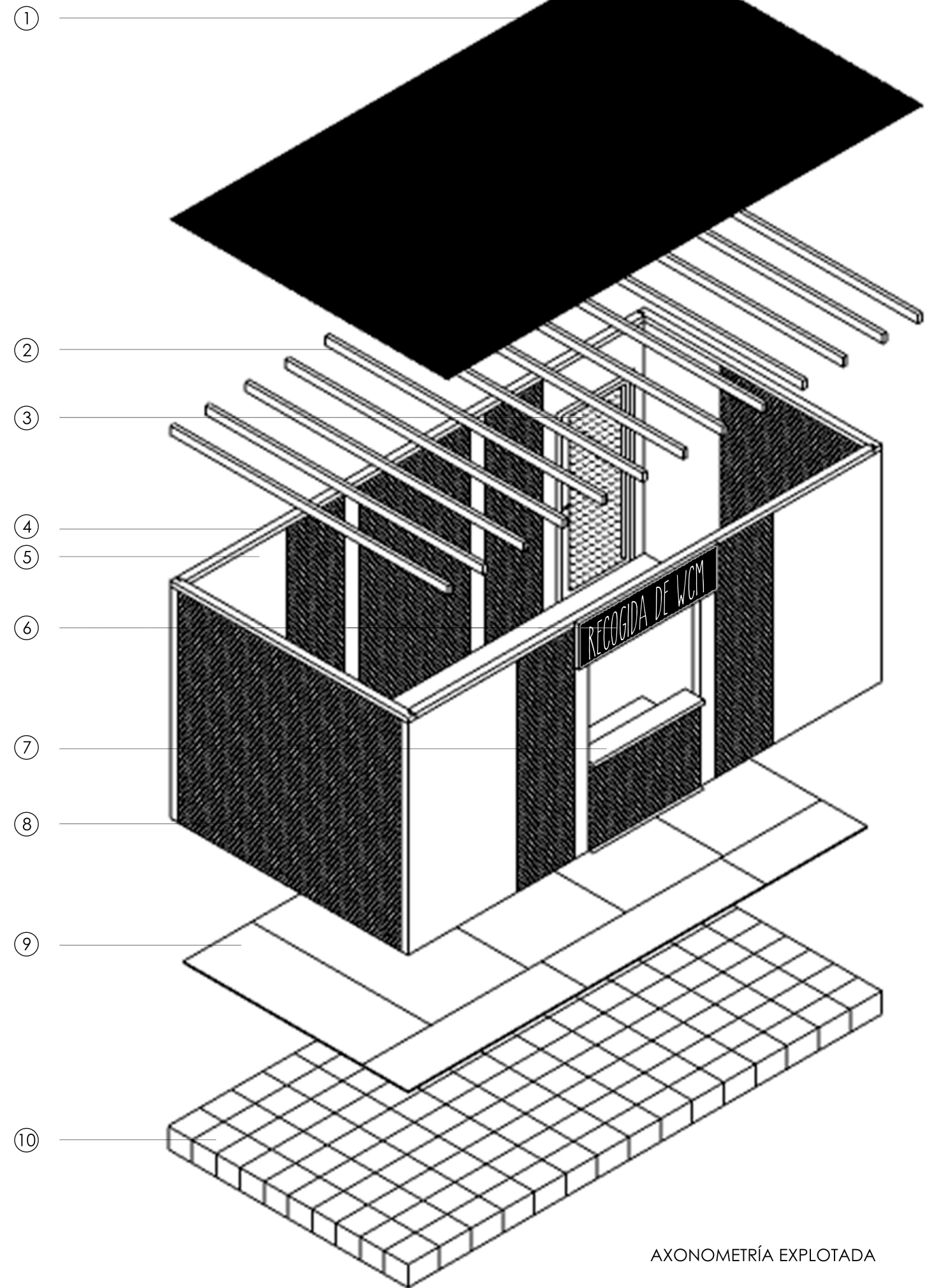
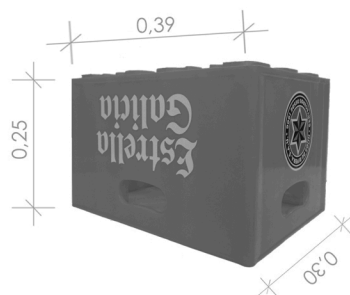
⑧ MURO DE WCM



⑨ TABLERO CONTRACHAPADO HIDRÓFUGO 2,24 X 1,22 X 0,015



⑩ CAJA DE PÁSTICO DE CERVEZA COMO BASE



AXONOMETRÍA EXPLOTADA

