



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

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

Autora: Sara Pérez Gamarra

Tutor: Dr. Félix Jové Sandoval

Valladolid, septiembre 2015



Resumen

El siguiente trabajo trata de analizar el empleo de diferentes materiales y técnicas constructivas para poder realizar edificaciones en situaciones donde los recursos económicos, técnicos y materiales son escasos. A partir de la información recopilada y de las experiencias contrastadas desarrollar los procedimientos para realizar construcciones de bajo coste.

Por otro lado, a través de este análisis, poder explorar el amplio campo de opciones que ofrece el empleo de materiales cuya vida útil ha finalizado, por medio de la reutilización, transformación o reciclado y comprobar su viabilidad en el sector de la construcción.

Este estudio se basará en el empleo del papel y del cartón como materiales de construcción no convencionales. Focalizando el estudio en la construcción basada en los mandriles de papel higiénico.

Palabras clave: arquitectura, cartón, papel, innovación, reutilización.

Abstract

The following paper deals with the use of different materials and construction techniques to make buildings in situations where resources, both financial and technical and material are scarce. Based on the information gathered and experiences contrasted develop procedures for low cost constructions.

On the other hand, through this analysis, to explore the wide range of options offered by the use of materials once they have completed their useful life through reuse, transformation or recycling and check its viability in the building sector.

This study is based on the use of paper and cardboard as non-conventional construction materials. In this case, the construction based on the spindles of toilet roll tube.

Key words: architecture, innovation, recycled materials, cardboard, paper.



ÍNDICE

Lista de Ilustraciones.....	iii
Lista de tablas	vii
1 Introducción	1
1.1 Metodología	1
2 Construcción low-cost	3
2.1 Reducir, reutilizar y reciclar.....	5
2.2 Nuevos uso para materiales convencionales.....	7
3 Construcción con papel y cartón	15
3.1 Introducción	15
3.2 Producción de papel y cartón	15
3.3 Datos sobre la producción y el consumo de cartón.....	18
3.4 Características.....	19
3.5 Experiencias. Ejemplos de construcción con cartón.....	21
3.5.1 Materia prima preparada ex-profeso.....	22
3.5.1.1 Shigeru Ban.....	22
3.5.1.2 Westborough Primary School.....	26
3.5.1.3 Cardboard House	26
3.5.2 Residuos y material de desecho.....	29
3.5.2.1 Corrugated Cardboard Pod.....	29
3.5.2.2 PHZ2, Welterbe Zollverein.....	31
3.5.3 Otras intervenciones	32
3.5.4 Transformación de las fibras de celulosa.....	33
3.5.4.1 Ladrillos de papel.....	33
3.5.4.2 Papercrete.....	33
3.5.4.3 Otras aplicaciones	34
4 Propuesta	37
4.1 Introducción	37
4.2 Desarrollo de la propuesta	41
4.2.1 Ensayos previos.....	41

4.2.2	Ensayos realizados.....	42
4.2.2.1	Mandril en posición vertical.....	42
4.2.2.2	Mandril en posición vertical y sometido a un proceso de humedad y secado.....	44
4.2.2.3	Mandriles en posición horizontal.....	44
4.2.3	Aplicación práctica.....	45
4.2.3.1	Bloque realizado con mandriles en posición vertical.....	45
5	Conclusiones.....	51
6	Bibliografía.....	55



Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Fuente. <i>La poubelle et l'architecte</i> ; Huygen, 2011.....	6
Ilustración 2. Cristiania (Copenhague, Dinamarca). Fuente. <i>La poubelle et l'architecte</i> ; Huygen, 2011.....	7
Ilustración 3. Construcción con botellas PET en. Nigeria. Fuente. http://ecoinventos.com/casa-construida-con-botellas-pet-recicladas-en-nigeria	9
Ilustración 4. Construcción botellas PET. Asociación pura vida. Fuente. http://caliescribe.com/servicios-y-medioambiente/2012/03/31/2491-como-construir-casa-botellas-plastico	9
Ilustración 5. Construcción con neumáticos y latas. Fuente. http://noticias.arq.com.mx/Detalles/16798.html#.Vd4KQyXtmk	10
Ilustración 6. Construcción con neumáticos cortados. Fuente. http://gaiachile.es.tl/PROYECTOS.htm	10
Ilustración 7. Templo Wat Pa Maha Chedi Kaere. Fuente. http://ecoinventos.com/wat-pa-maha-kaen-el-templo-de-las-botellas-de-cerveza/	11
Ilustración 8. Construcción con botellas de vidrio. Fuente. http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/626679/en-detalle-experiencia-de-construccion-con-botellas-de-vidrio	11
Ilustración 9. Vivienda con materiales reutilizados. Fuente. http://www.navetierramdq.com.ar/~navetier/wp-content/uploads/traduccion/NaveTierra%20V2-C11-ES%20R01.pdf	12
Ilustración 10. Construcción con cajas de transporte de bebidas. Fuente. http://winterhoerbelt.de/selected-works/cratehouse	12
Ilustración 11. Detalle de superficie tectán. Fuente. http://www.proyecta56.com/tectan-el-conglomerado-resultante-del-reciclado-de-un-tetrabrik/	13
Ilustración 12. Pared realizada con frigoríficos. Fuente. http://www.microclimax.org/projets/salonfrigo.html	13
Ilustración 13. Balas realizadas con diferentes materiales. Fuente. http://ubuntublox.com/technology/	13

Ilustración 14. Utilización de fibras y materiales auxiliares en la producción de cartón 2013. Fibra para reciclar: 4,5. Materiales auxiliares: 0,9. Fibra virgen: 1,9. Datos en millones de toneladas (Fuente. Asapapel)	17
Ilustración 15. Cartón ondulado. Fuente. http://www.afco.es/info_tecnica.htm	17
Ilustración 16. Cartón <i>honeycomb</i> . Fuente. http://www.sciencestockphotos.com/free/engineering/slides/cardboard_strength.html	18
Ilustración 17. Primera casa realizada principalmente de cartón. Fuente. Ayan, Ö.; Cardboard in architectural technology and structural engineering: a conceptual approach to cardboard buildings in architecture. DISS. ETH	21
Ilustración 18. Geodesic dome. Fuller. Fuente. http://docomomomola.blogspot.com.es/2010/09/tsa-geodesic-dome-project-01-1954.html	22
Ilustración 19. Refugio para el terremoto de Kobe (Japón). Fuente. http://www.shigerubanarchitects.com/works/1995_paper-log-house-kobe/index.html	23
Ilustración 20. <i>Paper Emergency shelters</i> . Fuente. http://www.shigerubanarchitects.com/works/1999_paper-emergency-shelter/index.html	24
Ilustración 21. Fujisawa. Piezas empleadas en la construcción de elementos separadores para desastres naturales. Fuente. http://www.experimenta.es/noticias/industrial/shigeru-ban-japon-refugio-terremoto-tsunami-artuitectura-2827	24
Ilustración 22. Catedral de Cartón. Fuente. http://www.shigerubanarchitects.com/works/2013_cardboard-cathedral/index.html	25
Ilustración 23. Puente de cartón, cerca de Nimes (Francia). Fuente. http://www.shigerubanarchitects.com/works/2007_paper-bridge/index.html	25
Ilustración 24. Westborough Primary School. Fuente. http://www.burohappold.com/projects/project/west_borough-primary-school-cardboard-building-73/	26
Ilustración 25. Cardboard house realizada para la exposición Houses of the future. Fuente http://www.peterstutchbury.com.au/cardboard-house.html	27
Ilustración 26. Casa de cartón prefabricada, Wall House. Fuente. http://inhabitat.com/5000-dollar-recycled-paper-house-by/	28
Ilustración 27. Hugh Simpson y Tim Robinson. Fuente. https://www.amarilloverdeyazul.com/2010/09/7th-haven-la-casa-de-carton-inteligente-y-futurista/	28



Ilustración	28.	Packaged,	Miwa	Takabayashi.	Fuente.		
		http://www.miwaart.com/packaged.htm				29	
Ilustración	29.	Carboard Pod,	Rural Studio.	Fuente.	http://www.ruralstudio.org/projects/corrugated-cardboard-pod	30	
Ilustración	30.	PHZ2,	Welterbe	Zollverein.	Fuente.	http://www.dratz-architekten.de/projekte-phz2.html	32
Ilustración	31.	Newspaper house.	Erek.	Fuentes:	http://www.sumererek.com/ , http://newspaperhouse.blogspot.com.es/	32	
Ilustración	32.	Ladrillos de papel.	Fuente.	https://www.amarilloverdeyazul.com/2013/04/la-universidad-de-jaen-desarrolla-ladrillos-ecologicos-reciclando-residuos-de-celulosa-procedentes-de-la-fabricacion-de-papel-reciclado/		33	
Ilustración	33.	Papercrete.	Fuente.	http://www.instructables.com/id/I-Love-Papercrete/		34	
Ilustración	34.	Papercrete.	Fuente.	https://c1.staticflickr.com/1/155/436034784_0c0145fb49.jpg		34	
Ilustración	35.	Silla,	newspaperwood.	Fuente.	http://www.newspaperwood.com/?portfolio=new-hybrids-by-studio-mieke-meije	35	
Ilustración	36.	United,	taburete realizado por Tessa Kuyvenhoven.	Fuente.	http://xn--diseosostenibilidad-66b.com/2011/11/madera-hecha-con-periodico/	35	
Ilustración	37.	CARTA	SERIES	1998.	http://www.shigerubanarchitects.com/works/1998_carta-series/index.html	35	
Ilustración	38.	Silla Wiggle side chair,	Frank ghery.	Fuente:	http://www.design-museum.de/en/collection/100-masterpieces/detailseiten/wiggle-side-chair-frank-ogehry.html	35	
Ilustración	39.	Sofá y reposapiés,	modelo de Frank Ghery.	Fuente:	https://rgimenodesign.wordpress.com/2012/01/11/mobiliario-de-carton-una-opcion-ecologica/	35	
Ilustración	40.	Campaña recogida de mandriles.	Fuente.	Grupo Tierra.	37	
Ilustración	41.	Mandrill de papel higiénico.	Fuente.	Elaboración propia		38	
Ilustración	42.	Capas de los diferentes tipos de mandriles.	A: 1 capa. B: 2 capas. C: 3 capas.	Fuente.	Elaboración propia.....	41	
Ilustración	43.	Calibre o pie de rey.	Fuente.	Elaboración propia		42	
Ilustración	44.	Mandriles A,B y C durante la prueba.	Fuente.	Elaboración propia.....		43	

Ilustración 45. Mandriles tipo A,B y C después de la prueba. Fuente. Elaboración propia. .43	
Ilustración 46. Mandril tipo B y C después de prueba. Fuente. Elaboración propia.44	
Ilustración 47. Ensayo deformación mandriles con carga aplicada en sentido transversal. Fuente. Elaboración propia.45	
Ilustración 48. Dimensión bloque según tipos de mandriles. Fuente. Elaboración propia. ...46	
Ilustración 49. Posibilidad de crecimiento del bloque. Fuente. Elaboración propia.46	
Ilustración 50. Bloque de mandriles unidos con grapas. Fuente. Elaboración propia.47	
Ilustración 51. Bloques de mandriles unidos con cola. Fuente. Elaboración propia.48	
Ilustración 52. Caja empleada para la realización de los bloques formados por mandriles. Fuente. Elaboración propia.48	



Lista de tablas

Tabla 1 Residuos generados por sectores. Fuente: INE	4
Tabla 2. Residuos generados en el Sector de la construcción. Fuente INE. Notas de prensa.	4
Tabla 3 Datos sobre consumo anual de papel y cartón (Fuente: Asapapel)	19
Tabla 4 Datos consumo de celulosa	39
Tabla 5 Datos del sector de la celulosa y el papel	39
Tabla 6 Datos producción de papel y cartón	40
Tabla 7 Datos producción total de celulosa.....	40
Tabla 8 Dimensiones de cada tipo de mandril.....	42
Tabla 9 Resistencia a la compresión de los mandriles	43
Tabla 10 Resistencia tras el proceso de humedecido	44



1 Introducción

En el marco de la construcción con materiales no convencionales se abre un abanico de posibilidades que han de ser exploradas y que nos ofrecen un buen campo de investigación y un reto, especialmente el reciclado y la reutilización de papel y cartón en cualquiera de sus formas. La intención de este estudio es comprender los modelos existentes de construcciones *low-cost* y su futuro desarrollo.

1.1 Metodología

Para abordar el estudio de la reutilización y el reciclado de materiales partiremos del análisis de la situación actual. Es importante el conocimiento de los datos relativos al consumo de recursos y a la producción de residuos para lograr un mejor aprovechamiento de la materia prima transformada o de los materiales que han acabado su vida útil. Estos datos nos indicarán la disponibilidad de recursos para su posterior reciclado o utilización.

Se ha realizado una búsqueda en revistas, libros y páginas de internet de los diferentes procesos que se están llevando a cabo en la construcción con materiales reciclados para tener una base de conocimiento que nos permita realizar un análisis de la información y técnicas ya empleadas sirviendo como punto de partida para el desarrollo de nuevos proyectos.

A partir de estos datos y de las experiencias realizadas se procederá a la elaboración de una propuesta con los materiales que tenemos a nuestra disposición, revalorizando los residuos generados en este y en otros sectores.

Por último se estudiará la viabilidad de la propuesta. Por un lado, calculando la cantidad de materia (mandriles necesarios) para poder llevar a cabo la construcción y relacionándola con el consumo, y por otro, conociendo las características y propiedades a través de la interpretación de la información obtenida previamente y la realización de posteriores ensayos.



2 Construcción low-cost

La construcción *low-cost* tiene como objetivo dar uso a los materiales que han terminado su vida útil, que ya no cumplen con el fin para el que fueron diseñados, y minimizar el impacto medioambiental que produciría el desecho de estos materiales o la fabricación de otros nuevos, acabando también con el consumo de recursos no renovables. Pero no sólo engloba los materiales, también tiene en cuenta la técnica constructiva empleada. Siendo ésta, en la mayoría de los casos *low-tech*, sin necesidad de equipos desarrollados y con una reducción del consumo de energía empleada para la construcción.

En la arquitectura *low-cost* es primordial conocer los recursos a emplear y las técnicas constructivas para reducir al máximo los gastos totales tanto en su aspecto económico, de medios personales y de consumo de energía. Para lograr disminuirlos se pueden tener en cuenta una serie de consideraciones:

- El empleo de materiales de la zona donde se va situar la edificación. Esto hace que el uso de transportes, que emiten gases contaminantes y consumen recursos, no sea necesario o se minimice al máximo.
- Tener en cuenta la arquitectura vernácula. Sus materiales, técnicas y tipologías.
- Tamaño de bloques y modo de construcción que no necesite el empleo de equipos de elevación. Utilización de materiales livianos.
- Uso de materiales reciclados o de desecho para disminuir o anular el gasto en materiales y minimizar el impacto medioambiental, eliminar el transporte a vertederos y reducir el espacio de almacenamiento y los gastos posteriores que ocasionaría el tratamiento de los residuos.
- Construcción con elementos que sean desmontables, reutilizables, transportables y reciclables total o parcialmente, una vez que haya finalizado su vida útil.
- Elaboración con técnicas sencillas que no necesiten mano de obra especializada.
- Reducción del volumen de residuos dado que el sector de la construcción tiene una gran influencia en el total de las actividades desarrolladas.

Según la *European Construction Industry Federation*, la construcción representa en España un 19% de su PIB. Conociendo la gran repercusión que tiene, se podrían reducir considerablemente los residuos totales generados si se emplean materiales reciclables y reutilizables.

Tabla 1 Residuos generados por sectores. Fuente: INE

Total residuos (Tm)	Agricultura	Acuicultura y Pesca	Industria (sec. B, C y D)	Aguas residuales (1)	Residuos (2)	Construcción	Servicios (exc. 46.77)	Clase 46.77 (3)	Hogares	Total
No peligrosos	1,13 10 ⁷	2,82 10 ⁴	4,83 10 ⁷	2,37 10 ⁶	2,54 10 ⁶	4,47 10 ⁷	1,16 10 ⁷	3,93 10 ⁵	2,44 10 ⁷	1,46 10 ⁸
Peligrosos	1,85 10 ⁴	5,35 10 ³	1,68 10 ⁶	9,60 10 ⁴	3,46 10 ⁵	2,66 10 ⁵	1,12 10 ⁶	9,89 10 ⁴	2,55 10 ⁴	3,65 10 ⁶
Generados	1,13 10 ⁷	3,35 10 ⁴	5,00 10 ⁷	2,46 10 ⁶	2,88 10 ⁶	4,49 10 ⁷	1,27 10 ⁷	4,92 10 ⁵	2,44 10 ⁷	1,49 10 ⁸

(1) Captación, depuración y distribución de agua. Recogida y tratamiento de aguas residuales. Actividades de descontaminación y otros servicios de gestión de residuos

(3) Comercio al por mayor de chatarra y productos de desecho

(2) Recogida, tratamiento y eliminación de residuos valorización

(4) Clase 46,77: Comercio al por mayor de chatarra y productos de desecho

Tabla 2. Residuos generados en el Sector de la construcción. Fuente INE. Notas de prensa.

Residuos generados en el sector de la construcción. Año 2011			
Unidades: miles de toneladas (Tm)			
Residuos generados por tipo	No peligrosos	Peligrosos	Total
Total	32526,7	154,9	32681,6
Residuos minerales	31808,7	132,4	31941,1
Residuos mezclados	226,2	0,0	226,2
Metálicos	193,8	-	193,8
Madera	133,4	0,5	133,9
Plásticos	83,1	-	83,1
Papel y cartón	67,4	-	67,4
Químicos	5,8	19,4	25,2
Equipos electrónicos y vehículos desechados	2,3	2,2	4,5
Otros	2,8	0,2	3,0
Vidrio	2,1	0,2	2,3
Caucho	0,5	-	0,5
Animales y vegetales	0,3	-	0,3
Sanitarios y biológicos	0,2	0,0	0,2

Los datos han sido obtenidos del INE (Instituto Nacional de Estadística). Según una encuesta realizada en el año 2011, las actividades del sector de la construcción generaron



32,7 millones de toneladas de residuos. El mayor número de residuos generados corresponde a residuos minerales, seguido de los residuos mezclados.

Una forma para disminuir los residuos generados es realizar una utilización, la más eficaz y económica posible. Para ello se puede pensar en una técnica constructiva basada en elementos que puedan volver a instalarse y adaptarse, cuya utilidad pueda cambiar en función de las necesidades. Tan importante como el uso de materiales reciclados, reciclables y reutilizables, es el diseño.

2.1 Reducir, reutilizar y reciclar

El gran número de residuos generados es un problema para los vertederos por su limitada capacidad de almacenamiento y lo es también para el medio ambiente por el riesgo de contaminación.

Muchas personas se hacen la pregunta de cómo poder reutilizar o transformar la basura que encontramos en diferentes espacios para convertirla en elementos con un nuevo uso y poder aplicarlo posteriormente en diferentes sectores, entre ellos el de la construcción, que como ya hemos visto; tiene una gran importancia e influencia en el total de los sectores económicos que se desarrollan en el país. Para poder disminuir los residuos generados no solo basta con reutilizar y reciclar también, es importante reducir el uso de materias primas y recursos naturales para preservar el medio ambiente para generaciones futuras. El proceso de reciclado lleva consigo una transformación del objeto usado para volverlo a utilizar, pero la reutilización no requiere necesariamente una transformación, es volver a emplear algo una vez que ya ha desempeñado la función para la que fue realizado, pudiendo ser ésta la desempeñada anteriormente o ser otra diferente. Con este nuevo empleo se produce una revalorización.

Una botella puede volver a ser empleado como envase o puede tener un nuevo uso como un elemento decorativo para colocar unas flores, como candelabro, como lámpara... sólo se necesita un poco de imaginación. Como en el ejemplo de la ilustración.



Ilustración 1. Fuente. *La poubelle et l'architecte*; Huygen, 2011.

En el libro "*La poubelle et l'architecte*" encontramos esta definición de "réemploi" . "Es el acto por el cual damos un nuevo uso a un objeto que está en desuso, que ya no utilizamos porque que ha perdido la función por la que era conocido y por la que fue fabricado"¹. De esta forma hace una distinción entre los dos conceptos que tenemos sobre la palabra reutilización. Diferenciando lo que normalmente entendemos por reutilización y lo que sería volver emplear un objeto con un uso para el que no fue creado. Es volver a emplear un objeto pero cambiando la función primera para la que fue creado, su naturaleza primera. Es una recuperación, una economía, un nuevo ciclo para un objeto obsoleto.

El futuro de la arquitectura pasa por volver a emplear los materiales alargando su vida útil, reduciendo la explotación de recursos y la generación de residuos. Una vez conseguido, reciclar el material o reutilizarlo.

Existen numerosas experiencias en las que encontramos entusiasmo, imaginación, invención; sobre todo en zonas donde los recursos no se encuentran al alcance de todos, no están fácilmente disponibles. Se construye con cosas viejas, rotas, con el desecho para poder cubrir las necesidades mínimas de vivienda u otras necesidades básicas.

¹ Huygen, J.M.; *La poubelle et l'architecte. Vers le réemploi des matériaux*. (Pag 11) "Le reemploi est l'acte par lequel on donne un nouvel usage à un objet existant tombé en désuétude, qui a perdu l'emploi pour lequel il avait été conçu et fabriqué."



Ilustración 2. Cristiania (Copenhague, Dinamarca). Fuente. *La poubelle et l'architecte*; Huygen, 2011.

En la construcción *low-cost* pueden emplearse técnicas tradicionales pero utilizando para ello un nuevo concepto en el uso de los materiales para poder reducir costes y realizar una gestión sostenible.² Es muy importante tener un conocimiento del ciclo de vida³ de los mismos, su huella ecológica⁴ y su impacto ambiental; para lograr un planteamiento constructivo que satisfaga las demandas y objetivos propuestos para preservar del medio ambiente sin perjudicar al desarrollo de futuras generaciones. Por todo ello es muy importante la optimización de los recursos dando nuevas aplicaciones y oportunidades a los materiales de desecho, sin olvidar la relevancia que tiene la sencillez en la producción de los elementos, en la construcción y en el mantenimiento. De esta forma conseguimos que los costes y requerimientos tecnológicos de esa construcción sean menores.

2.2 Nuevos uso para materiales convencionales

El empleo de materiales como el cartón y el papel reciclados, cartón tetrabrik, botellas de plástico PET, botellas de vidrio, neumáticos como nuevos materiales y materias primas para

² Sostenible. Dicho de un proceso: Que puede mantenerse por sí mismo.

³ Norma ISO 14040: "el Análisis de Ciclo de Vida es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio"

⁴ Huella ecológica. (Artículo Ecoembes) Es un indicador de sostenibilidad que trata de medir el impacto que nuestro modo de vida tiene sobre el entorno. Es decir, la "mancha" que deja nuestro paso por el planeta día a día en forma de consumo de sus recursos y de uso del territorio. Todas las actividades suponen un impacto en el medio ambiente. Para calcular la huella ecológica hay 4 factores: agua, energía, residuos y transporte.

la construcción puede ser una alternativa real a los materiales tradicionales de construcción. Se realiza una construcción con nuevos materiales, que hasta ahora no se habían utilizado, pero, generalmente, mediante las técnicas constructivas tradicionales y locales.

Se trata de emplear técnicas constructivas que no requieran un alto grado de conocimiento, ni una mano de obra especializada facilitando la realización de una auto-construcción sin la necesidad de emplear equipos especializados, reduciendo así los gastos. Con ello también se pretende, gracias a la localización cercana de los materiales y a su escasa transformación, reducir el consumo de energía. Con el empleo de técnicas tradicionales también se busca el mantenimiento y la protección de la identidad cultural.

El desarrollo de estas técnicas trata de investigar y lograr el desarrollo de materiales de construcción con los que se realice una gestión eficiente de recursos en los que el gasto de energía durante el proceso de fabricación y producción sea el menor posible. Minimizar la producción de residuos tanto en la construcción como en el proceso de desmantelamiento de construcciones. Se trata de abaratar los costes que genera la construcción de viviendas, dar un destino útil a los residuos, disminuir la emisión de gases contaminantes, posibilitar la autoconstrucción con una tecnología sencilla y económica. Reemplazar aquellos materiales constructivos tradicionales que producen un deterioro en el medio ambiente.

Se reseñan a continuación experiencias y propuestas de distintos materiales o diferentes técnicas que se utilizan para un desarrollo económico de la construcción.

Entre los más extendidos y de los que encontramos más ejemplos son las construcciones con botellas PET y neumáticos.

En el caso de la fabricación de elementos constructivos realizados con materiales plásticos de botellas PET hay dos formas básicas de abordar el proceso. La primera consiste en el empleo de plásticos triturados. La obtención de la materia prima viene dada por el uso de los envases descartables de bebidas u otros plásticos empleados para embalajes u otros usos, su compactación y estabilización para la creación de bloques que puedan ser apilables.

Los envases de plástico (PET, tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilentereftalato o polietileno tereftalato, material plástico muy usado en envases de bebidas y textiles) son triturados e incorporados en una pasta. Se pueden mezclar con cemento Portland utilizando estos elementos plásticos en sustitución de los áridos empleados en el hormigón tradicional.

La segunda opción es utilizar las botellas como recipientes y rellenarlas de arena u otros materiales del lugar empleando o no una estructura adicional. En este caso las botellas son vinculadas con mortero, argamasa o tierra. Puede añadirse una estructura adicional, como una malla, para contener las botellas. Éstas pueden estar dispuestas en forma horizontal o en vertical, dependiendo de diversos condicionantes como el número de botellas disponibles, la climatología, espacio disponible, entre otros factores.



Ilustración 3. Construcción con botellas PET en Nigeria. Fuente. <http://ecoinventos.com/casa-construida-con-botellas-pet-recicladas-en-nigeria>



Ilustración 4. Construcción botellas PET.
Asociación pura vida. Fuente. <http://caliescribe.com/servicios-y-medioambiente/2012/03/31/2491-como-construir-casa-botellas-plastico>

Otro buen ejemplo de reutilización de es la construcción con neumáticos. En este caso se emplean los neumáticos según se obtienen de los vertederos o de los talleres mecánicos siendo necesaria, únicamente, su clasificación por tamaño.

Esta solución constructiva se utiliza en muros de contención y en muros de viviendas o edificaciones dado que aporta una gran estabilidad y una gran inercia térmica.

Los neumáticos se apilan y se rellenan con la tierra propia del lugar de la construcción compactándola. Para dar una mayor estabilidad a la estructura pueden añadirse varillas de hierro que unan los neumáticos. Según las experiencias que se han realizado los muros no están previstos para soportar cargas estructurales debiéndose por lo tanto utilizar una estructura adicional que las soporte. Como consecuencia directa de la rugosidad de la superficie de los neumáticos (banda de rodadura) y de las oquedades que presentan pueden ser recubiertos con barro presentando una buena adherencia.



Ilustración 5. Construcción con neumáticos y latas. Fuente.
<http://noticias.arq.com.mx/Detalles/16798.html#.Vd4KQyXtmk>

También se han usado como elementos impermeables en las cubiertas dando una protección tanto térmica como frente a la humedad.



Ilustración 6. Construcción con neumáticos cortados. Fuente.
<http://gaiachile.es.tl/PROYECTOS.htm>

Otro ejemplo de reutilización de materiales son las botellas de vidrio, empleadas como elemento principal en construcciones.

En la ilustración número 7 puede verse la edificación de Wat Pa Maha Chedi Kaere en Tailandia. Comenzaron en el año 1984 a recolectar botellas de cerveza. Las chapas también fueron reutilizadas como elemento decorativo.



Ilustración 7. Templo Wat Pa Maha Chedi Kaere. Fuente. <http://ecoinventos.com/wat-pa-maha-kaen-el-templo-de-las-botellas-de-cerveza/>

Un equipo de estudiantes de la Universidad de Virginia realizó un proyecto que, además, de emplear botellas de vidrio, también empleaba madera, piedra y tierra.

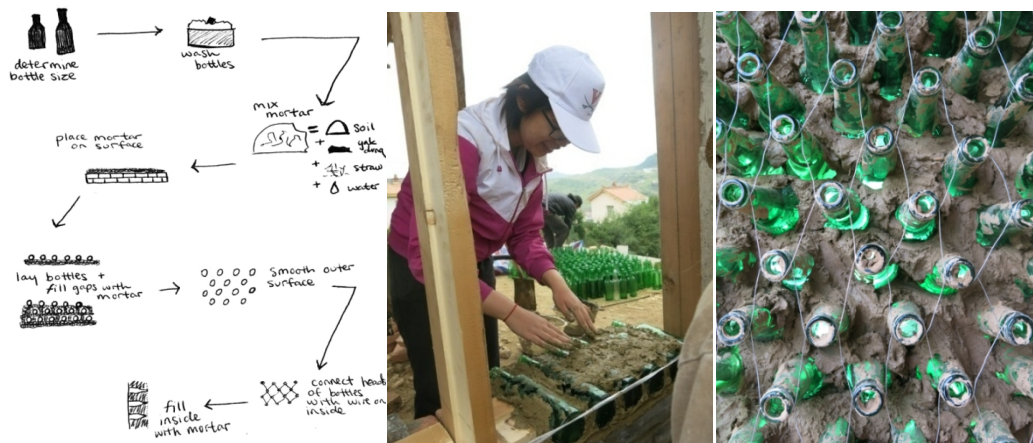


Ilustración 8. Construcción con botellas de vidrio. Fuente. <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/626679/en-detalle-experiencia-de-construccion-con-botellas-de-vidrio>

En Argentina encontramos un proyecto realizado por Michael Reynolds mediante la combinación de diferentes objetos y materiales. Para la elaboración de este proyecto se

emplearon 333 neumáticos, 3000 latas de aluminio, 5000 botellas de plástico y 3000 botellas de vidrio y participaron 60 personas.



Ilustración 9. Vivienda con materiales reutilizados. Fuente.
<http://www.navetierramdq.com.ar/~navetier/wp-content/uploads/traduccion/NaveTierra%20V2-C11-ES%20R01.pdf>

Otro uso innovador para los encontramos en el empleo de cajas de plástico para el transporte de bebidas.



Ilustración 10. Construcción con cajas de transporte de bebidas.
Fuente. <http://winter-hoerbelt.de/selected-works/cratehouse>

El tectán (conocido en China como chiptec), es un nuevo material obtenido de la transformación de *Tetrabrik*. Este material aglomerado sustituye la madera en la fabricación de diversos artículos, como mobiliario. Un nuevo material y un nuevo uso que minimizan el impacto medioambiental.



Ilustración 11. Detalle de superficie tectán. Fuente. <http://www.proyecta56.com/tectan-el-conglomerado-resultante-del-reciclado-de-un-tetrabrik/>

Se trata de innovar y dar nuevos usos a materiales u objetos que están obsoletos. En Francia encontramos un salón de música en el que una pared está formada por frigoríficos desechados. Éstos electrodomésticos se emplean por su buena calidad acústica.



Ilustración 12. Pared realizada con frigoríficos. Fuente. <http://www.microclimax.org/projets/salonfrigo.html>

En otros casos el material o elemento que se va a reutilizar se puede agrupar o juntar para realizar bloques constructivos con diferentes materiales. Este modo de agrupación es conocido como *Ubuntublox*.

Constituyen una forma de minimizar el problema del reciclaje de materiales, además de ser una solución constructiva que aporta tanto durabilidad por la naturaleza de los materiales, como por su resistencia probada frente a terremotos y huracanes, lo que unido a su capacidad como aislante y su poco peso hacen de este material una buena solución *low-cost*.



Ilustración 13. Balas realizadas con diferentes materiales. Fuente. <http://ubuntublox.com/technology/>

3 Construcción con papel y cartón

3.1 Introducción

El papel y el cartón, presentan unas cualidades interesantes para ser empleados como materiales constructivos, a pesar de su aparente debilidad. El papel es un material natural fabricado con fibra de celulosa que se obtiene de la madera, es un recurso natural y renovable. Una vez usado, los elementos pueden ser reciclados, para ser convertidos nuevamente en papel.

La producción de papel se remonta al siglo II a. C. en China. Para su fabricación se utilizaron residuos principalmente de arroz, cáñamo e incluso algodón y seda. Durante 600 años estuvo oculto por parte de sus inventores, tardó otros 600 años en llegar a Europa y se tuvo que esperar otros seis siglos más para la invención de la máquina de papel continuo, que inicia la etapa actual.

3.2 Producción de papel y cartón

La materia prima fundamental para la obtención de papel y cartón es la celulosa que se encuentra principalmente en la madera, en fibras vegetales no madereras y en el papel recuperado.

La obtención de las fibras de celulosa puede ser mecánica o química. En función del tipo escogido, las propiedades de las fibras varían.

- Mecánica: consistente en triturar la madera para separar las fibras de celulosa, actualmente se emplean discos metálicos giratorios. Las fibras resultantes tienen un menor tamaño que las obtenidas químicamente. Este proceso debilita las fibras y no elimina parte de la lignina. La celulosa obtenida por este proceso se utiliza en la fabricación de papeles que no precisan de gran resistencia ni gran blancura (el contenido en lignina produce un oscurecimiento del papel). Las propiedades de estas fibras son su bajo coste, baja resistencia y gran tendencia a su envejecimiento.
- Química: se disuelve la lignina que une las fibras de celulosa mediante agentes químicos combinados con presión y temperatura. Principalmente hay dos procesos

químicos, uno de ellos es el proceso Kraft o al sulfato y otro proceso denominado al sulfito procesos que dan lugar a diferentes tipos de papel con una gran diversidad de usos. El contenido residual de lignina en la celulosa química es menor que en la celulosa mecánica. Aunque los residuos producidos pueden ser recuperados y reutilizados o empleados como biocombustible este proceso es más contaminante para el medio ambiente. Estas fibras son de alta calidad, estabilidad química, gran resistencia, menor porosidad y rugosidad, mayor opacidad y mejor aspecto general.

En España por cada 10kg de papel y cartón que se fabrican se emplean 8,5 kg de papel usado como materia prima.

PAPEL

"Hoja delgada hecha con pastas de fibras vegetales obtenidas de trapos, madera, paja, etc., molidas blanqueadas y desleídas en agua, que se hace secar y endurecer por procedimientos especiales"⁵.

Es un material reciclable obtenido a partir de fibras de celulosa.

Como consecuencia de las grandes posibilidades que tiene este material podemos encontrar una amplia variedad de clases que resuelven nuestras necesidades diarias, entre ellas encontramos: papeles gráficos, papeles para envases y embalajes (cartón), papeles higiénicos y sanitarios y papeles especiales.

Por su composición y características físicas y químicas los más fáciles de reciclar son los papeles gráficos, el papel de prensa y el papel para impresión y escritura.

CARTÓN

Es un material formado por varias hojas superpuestas de pasta de papel. El cartón es más grueso, duro y resistente que el papel. En su fabricación destaca principalmente el porcentaje de fibra para reciclar, lo que convierte al cartón en un producto ecológico y económico.

⁵ Diccionario de la RAE.

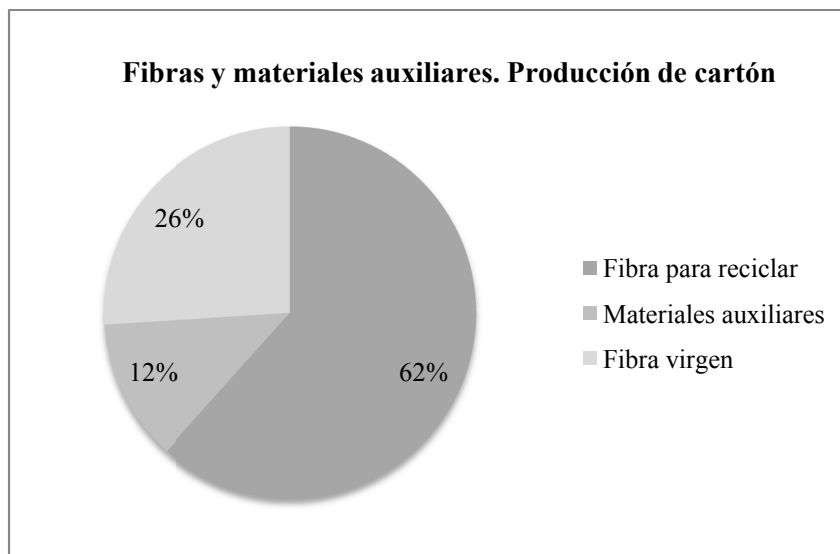


Ilustración 14. Utilización de fibras y materiales auxiliares en la producción de cartón 2013. Fibra para reciclar: 4,5. Materiales auxiliares: 0,9. Fibra virgen: 1,9. Datos en millones de toneladas (Fuente. Asapapel)

Según la forma de producción y composición se pueden distinguir varios tipos, entre ellos destacan el cartón ondulado y el cartón *honeycomb*.

Cartón ondulado

El cartón está formado por dos capas lisas de papel Kraft unidas con adhesivo a una capa intermedia corrugada, que da rigidez al cartón. Gracias a esta estructura el cartón es un material ligero pero resistente, con un buen comportamiento térmico y acústico. Puede ser sencillo, doble y triple.



Ilustración 15. Cartón ondulado. Fuente. http://www.afco.es/info_tecnica.htm

El aire que circula entre las acanaladuras funciona como protector frente a los cambios de temperatura.

Este tipo de cartón se emplea principalmente para el empaquetado.

Cartón *Honeycomb*

También conocido como nido de abeja o alveolar por la forma de las celdas que tiene en su interior. Está formado por células hexagonales de papel Kraft, unidas mediante adhesivos y resinas. Es una estructura resistente, trabaja bien a compresión. Gracias a la disposición de las láminas se emplea menos material y es más ligero.

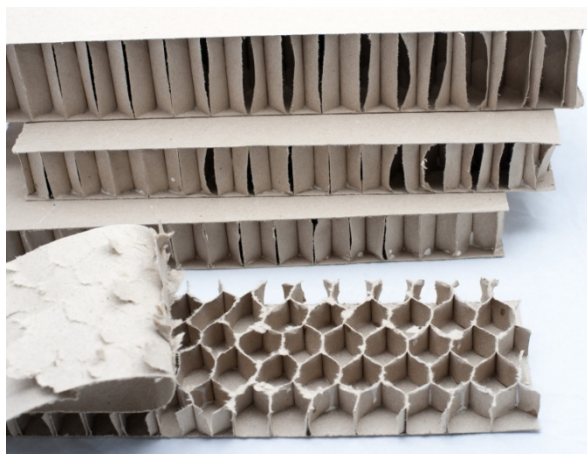


Ilustración 16. Cartón *honeycomb*. Fuente.
http://www.sciencestockphotos.com/free/engineering/slides/cardboard_strength.html

3.3 Datos sobre la producción y el consumo de cartón

Un dato importante es que con el reciclado de papel se disminuye el consumo de agua en un 86% y el de energía en un 65%.

- 7 de cada 10 envases se reciclan.
- Con 8 cajas de cereales se puede hacer un libro.

El reciclaje de envases conlleva grandes beneficios ambientales. Reducción de gases de efecto invernadero, ahorro de recursos naturales, energía.

Con el reciclaje de papel y cartón realizado desde 1998 se ha evitado la emisión de 15,2 millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera, lo que equivale a la retirada de la circulación de 5,4 millones de coches. Se ha ahorrado 383 millones m³ de agua, equivalente al consumo de 6,84 millones de ciudadanos y se ha reducido la energía consumida en 22 millones de MWh.



Tabla 3 Datos sobre consumo anual de papel y cartón (Fuente: Asapapel)

Consumo de papel y cartón (miles de toneladas)					
	2009	2010	2011	2012	2013
Papel prensa e impresión y escritura	1960,6	1989,1	1872,2	1642,9	1433,2
Higiénicos y sanitarios	673,7	653,6	683,6	681,3	669,7
Para cartón ondulado	2419,9	2547,3	2581,6	2538,1	2663,7
Para ondular	946,3	1005,6	1082,4	1059,3	1116,1
Testliner y kraftliner	1162,2	1174,7	1111,9	1120,6	1161,4
Bicos y cueros	311,4	367,0	387,3	358,2	386,1
Cartón y cueros	522,3	558,2	554,4	543,3	588,6
Cartón estucado	616,0	699,6	736,1	752,4	729,5
Total	6192,5	6447,8	6427,9	6158,0	6084,7

3.4 Características

Las propiedades mecánicas del papel son el resultado de la disposición espacial de la red de fibras de celulosa y el espacio que hay entre ellas.

Al igual que la madera, el papel trabaja bien a tensión.

El papel puede ser considerado como un producto con un bajo impacto ambiental⁶. Es reciclable, destaca también su bajo coste, tanto si se fabrica expresamente con funciones de construcción o si reutiliza.

En términos estructurales presenta una gran estabilidad y resistencia en relación con su peso. Puede emplearse en sustitución de elementos masivos.

Las limitaciones que presenta, son la vulnerabilidad a la humedad, por ello es importante protegerlo del agua, tanto en estado líquido como gaseoso; al fuego; a los agentes químicos; a la luz ultravioleta y a los cambios de temperatura.

Para solventar estas limitaciones se emplea almidón o adhesivos PVA (acetato de polivinilo) con poca resistencia al agua y presentan el problema de una menor capacidad para ser reciclados.

Para retardar la combustión del cartón pueden usarse planchas de óxido de magnesio, silicato de calcio o de acero galvanizado añadidos sobre la superficie del cartón. Estos elementos aportarían también resistencia al conjunto.

⁶ **Impacto ambiental:** Conjunto de posibles efectos negativos sobre el medio ambiente de una modificación del entorno natural, como consecuencia de obras u otras actividades. (RAE)

Hay que tener en cuenta que el aire o la presión pueden causar la introducción de humedad por cortes, rasgaduras o uniones poniendo en riesgo la integridad del cartón.

Otro procedimiento pasaría por la adición dentro de la estructura del corrugado de materiales como termo *foam*, poliuretano, fibras de celulosa, resinas fenólicas pero la adición de estos componentes es cara y compleja.

Cuando se utiliza el papel con fines estructurales es importante minimizar el daño que puedan provocar las condiciones ambientales.

El cartón puede presentar problemas a la hora de su utilización en la construcción y posterior uso del edificio, por eso, es importante hacer un primer estudio y aproximación a las características y propiedad del papel y a su posterior comportamiento en unas condiciones ambientales determinadas y variables con el paso del tiempo, así como, el comportamiento a determinados agentes externos viniendo todo ello condicionado por las características y finalidad del edificio donde se emplee.

En general el papel como material de construcción debe cumplir con unos requerimientos y dar solución a los problemas que se resumen a continuación:

- Debe cumplir la resistencia al fuego. El papel tiene una temperatura de ignición de unos 230°C.
- Comportamiento mecánico (cargas de diseño, impacto, etc.).
- Resistencia a la humedad.
- Durabilidad.
- Propiedades de aislamiento acústico.
- Propiedades de aislamiento térmico.
- Ataques biológicos (roedores, insectos, plagas de hongos, etc.).
- Toxicidad: algunos productos reciclados pueden presentar toxicidad (pegamentos, blanqueantes y tintas).
- Olor: aunque el papel y el cartón en principio no emiten olor son sensibles a los olores externos impregnándose de ellos.

Una propiedad del cartón que hay que tener en cuenta es su capacidad de prefabricación lo que permite realizar elementos modulares y facilita su empleo como elemento estructural, elemento de separación, o también como elemento intermedio debido a su capacidad como aislante térmico y acústico y reduciendo el tiempo de construcción.

3.5 Experiencias. Ejemplos de construcción con cartón

El empleo del papel y cartón como material de construcción presenta un reto pero a la vez es una oportunidad para desarrollar nuevas técnicas constructivas y nuevos materiales que abren el mundo de posibilidades en la construcción, como puede ser una arquitectura itinerante, desmontable e reutilizable. Esto es posible, gracias, entre otras cosas, a la buena relación peso-resistencia.

Puede emplearse en forma de tubos que actúan como material estructural o de revestimiento, de planchas o de pasta.

La falta de conocimiento sobre el comportamiento y los defectos del cartón, derivada de una falta de investigación y desarrollo, como su vulnerabilidad al agua, fuego u otros agentes ambientales y químicos, fueron las razones de su escaso desarrollo tecnológico.

A pesar de ello hay experiencias con cartón que sirvieron de base para el desarrollo de una nueva forma de construcción. Un ejemplo de ello lo tenemos en *The 1944 House*, es la primera edificación realizada principalmente a base de cartón.

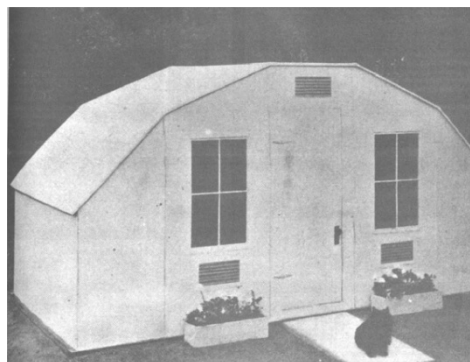


Ilustración 17. Primera casa realizada principalmente de cartón. Fuente. Ayan, Ö.; Cardboard in architectural technology and structural engineering: a conceptual approach to cardboard buildings in architecture. DISS. ETH

Uno de los primeros en plantear la construcción con cartón es Buckminster Fuller⁷, quien da una visión innovadora a la arquitectura. Trabaja con diseños en los que minimizaba el uso del material y maximizaba su eficiencia. Su estudio se centraba en materiales de construcción ecológicos y sostenibles, económicos, y en su futuro desarrollo para solucionar problemas globales.

⁷ Buckminster Fuller (1895-1983): arquitecto, diseñador e inventor estadounidense. Realizó un gran número de proyectos experimentales Su proyecto más relevante es la cúpula geodésica.



Ilustración 18. Geodesic dome. Fuller. Fuente. <http://docomomomola.blogspot.com.es/2010/09/tsa-geodesic-dome-project-01-1954.html>

Otros arquitectos e ingenieros siguiendo el camino iniciado por Fuller han continuado con el uso experimental del cartón como material de construcción. Como Shigeru Ban y Buro Happold.

La arquitectura del cartón se puede clasificar en tres grandes bloques, en función de la procedencia y transformación de la materia prima empleada:

- Materia prima preparada ex-profeso: los elementos constructivos se han diseñado expresamente para este tipo de construcciones.
- Residuos y material de desecho: se emplean materiales de desecho de los alrededores realizando unas ligeras modificaciones de su estructura inicial (compactado, prensado).
- Transformación de las fibras de celulosa provenientes de materiales de desecho: se emplea la celulosa de papel y cartón reciclado, como materia prima para obtener elementos finales empleados en la construcción.

3.5.1 Materia prima preparada ex-profeso

3.5.1.1 Shigeru Ban

Este arquitecto japonés nacido en 1957 y premio Pritzker de Arquitectura en 2014 emplea el cartón, un material tradicionalmente débil; en forma de tubos, paneles y membranas para la construcción de diferentes edificaciones que empezaron siendo pequeñas construcciones temporales y se convirtieron en grandes construcciones permanentes durante las últimas décadas.

Habla del papel como una evolución de la madera, el papel y la madera comparten particularidades.

Los tubos son construidos con cartón reciclado. Estos tubos son fabricados a medida, en función de las necesidades de cada proyecto. Pueden ser realizados en cualquier diámetro, grosor y longitud. Cualquier tubo puede ser reciclado.

La impermeabilización de los tubos que estaban formados por cartón reciclado se llevó a cabo con polivinilo clorado. Estos tubos no son caros, son fáciles de reparar y sustituir, no necesitan una gran tecnología.

Buscaba la simplicidad en las uniones de los tubos empleando para ello uniones de madera, de plástico, cuerdas, etc.

El empleo de los tubos de cartón comenzó en 1986 en una exposición de Alvar Aalto. Se volvieron a emplear 3 años después, como paneles y elementos de separación de espacios para una exposición. Estos elementos pueden desmontarse para poder ser transportados y reutilizados en otro proyecto y así reducir los desechos.

La arquitectura construida con cartón se centra en su utilidad en desastres naturales, debido a su bajo coste, a su fácil montaje, a su fácil manipulación, etc.

En estos proyectos emplea como material, tanto el papel como las materias y objetos que encuentra a su disposición en lugar donde se construyen facilitando y agilizando su construcción y posterior finalización.

Arquitectura de emergencia

Tras el Terremoto de Kobe (1995, Japón) diseñó unos refugios con materiales reciclables. Estas construcciones podían realizarse de forma rápida y además no necesitaban de mano de obra especializada. Partían de una estructura de cartón realizada con tubos. Para la cimentación se utilizaron cajas de cerveza rellenas de sacos de tierra.



Ilustración 19.Refugio para el terremoto de Kobe (Japón). Fuente.
http://www.shigerubanarchitects.com/works/1995_paper-log-house-kobe/index.html

Siguiendo esta línea de arquitectura humanitaria se desarrollan 3 prototipos en los que se testaron la durabilidad, el coste y la resistencia. Uno de ellos fue el refugio para el campamento de Byumaba (Ruanda, 1999).



Ilustración 20. Paper Emergency shelters. Fuente.
http://www.shigerubanarchitects.com/works/1999_paper-emergency-shelter/index.html

Realiza también sistemas de separación para lugares que han sufrido catástrofes naturales como el Paper Partition System utilizado en 2006 en Fujisawa, Japón. Destaca su capacidad de montaje, transporte e reinstalación.



Ilustración 21. Fujisawa. Piezas empleadas en la construcción de elementos separadores para desastres naturales. Fuente.
<http://www.experimenta.es/noticias/industrial/shigeru-ban-japon-refugio-terremoto-tsunami-artuitectura-2827>

Catedral de cartón

Los tubos de cartón no sólo son empleados en pequeños edificaciones, también pueden ser empleados para construcciones mucho mayores. Éste es un proyecto cuya duración está limitada a la construcción de la catedral definitiva. Se realizó después del terremoto de 2011 que afectó a la ciudad neozelandesa de Christchurch.



Ilustración 22. Catedral de Cartón. Fuente.
http://www.shigerubanarchitects.com/works/2013_cardboard-cathedral/index.html

Otro buen ejemplo de las posibilidades estructurales de las tubos de papel es el Paper Bridge realizado junto al Pont du Gard, un acueducto romano situado cerca de Nimes, Su ligereza y provisionalidad contrastan con la dureza, pesadez y durabilidad de puente construido en piedra.



Ilustración 23. Puente de cartón, cerca de Nimes (Francia). Fuente.
http://www.shigerubanarchitects.com/works/2007_paper-bridge/index.html

*La capacidad de una estructura no tiene nada que ver con la resistencia de los materiales que la componen. La estructura será más resistente si posee un buen diseño estructural...*⁸

3.5.1.2 Westborough Primary School

Es una escuela realizada por los arquitectos Cottrell y Vermeulen en 2001.

Se propuso la construcción de este edificio empleando únicamente cartón para ello se utilizaron paneles y tubos de cartón para las paredes, suelo y estructura.

Los tubos que tienen una altura y resistencia deseadas están recubiertos por una capa de cera que les hace resistentes al agua, también se puede recubrir si se desea de barniz, para aumentar su resistencia y obtener así una doble protección.

Los paneles están formados por una capa honeycomb que proporciona aislamiento, atrapa el aire caliente, y da resistencia. Los paneles individuales son terminados con un marco de madera para la protección y la facilidad de ensamblaje.



Ilustración 24. Westborough Primary School. Fuente. <http://www.burohappold.com/projects/project/west-borough-primary-school-cardboard-building-73/>

3.5.1.3 Cardboard House

Es un proyecto de los arquitectos Stutchbury and Pape en colaboración con Ian Buchan Fell Housing Research Unit at University of Sidney. Se realizó para una exposición Housing of The Future que tuvo lugar en el año 2004 en Sidney.

Es una casa prefabricada de aproximadamente 50 m² con una estructura de cartón que puede ser construida por dos personas en menos de seis horas. Está formada por planchas de cartón

⁸ Shigeru Ban. Fuente: <http://www.codigodiez.mx/textosarquitectura/shigeruban.html>

corrugado, material reciclado y que es completamente reciclable. El techo es de plástico para la impermeabilidad.

Una sucesión de pórticos separados a una cierta distancia forman la estructura. Estos pórticos necesitan una estructura secundaria para estabilizarse.

No solo emplea materiales sostenibles, la casa es casi autosuficiente.

Podemos destacar las siguientes características:

- Todos los materiales son 100% reciclables y el 85% de los materiales empleados son reciclados.
- Reciclar las casas ahorra 12 m³ de espacio (vertedero o planta de tratamiento de residuos), 39 árboles y 30.000 litros de agua.
- Bajo coste.
- Es transportable.
- Es versátil.
- Puede ser empleada en construcciones temporales.



Ilustración 25. Cardboard house realizada para la exposición Houses of the future. Fuente <http://www.peterstutchbury.com.au/cardboard-house.html>

Hay viviendas modulares en cartón en el mercado con un precio mucho más económico que una vivienda tradicional. Se presenta como una alternativa para personas con recursos limitados. **Wall House** es una casa prefabricada realizada cartón reciclado. Puede ser construida por menos de 5000 \$. Es liviana, barata, está bien aislada y es resistente.

Se emplea para la construcción un material obtenido de la celulosa proveniente de periódicos y cartón reciclados, se impregna de resina para mejorar sus cualidades. El interior de los paneles está formado por unas células en forma de honeycomb con lo que se consigue un gran aislamiento térmico y una gran resistencia en comparación con su peso.



Ilustración 26. Casa de cartón prefabricada, Wall House. Fuente. <http://inhabitat.com/5000-dollar-recycled-paper-house-by/>

Los estudios de Fuller han servido de inspiración para muchos, un ejemplo de ello lo tenemos en el proyecto realizado por Hugh Simpson y Tim Robinson. Es una construcción en cartón con la forma de la cúpula geodésica de Buckminster Fuller. La estructura es ligera y estable, además, está pensada para que pueda montarse, desmontarse y transportarse con facilidad. Se pensó como una alternativa económica de vivienda para las personas con menos recursos.



Ilustración 27. Hugh Simpson y Tim Robinson. Fuente. <https://www.amarilloverdelyazul.com/2010/09/7th-haven-la-casa-de-carton-inteligente-y-futurista/>

Las propiedades del cartón permiten realizar elementos modulares mediante planchas que son fácilmente plegables y transportables. Un ejemplo es **Packaged, Miwa Takabayashi**.



Ilustración 28. Packaged, Miwa Takabayashi. Fuente. <http://www.miwaart.com/packaged.htm>

3.5.2 Residuos y material de desecho

3.5.2.1 Corrugated Cardboard Pod

Es un prototipo realizado por Rural Studio en Newbern, USA, en el año 2001. Este estudio de arquitectura se interesa en el empleo de materiales de reciclados y en la reutilización de materiales, quedando demostrado este interés en los diferentes proyectos realizados.

La intención del proyecto es experimentar con balas de materiales de desecho, principalmente cartón, para estudiar cómo se adapta y si responde o no a los requerimientos necesarios para poder emplearse en la construcción. Para la realización de esta vivienda fueron necesarios entre 750 y 1250 libras (500Kg) de balas de cartón, que se emplearon tanto en el sistema de cimentación como en los muros. Esta cimentación estaba formada por rectángulos de balas de papel y un zuncho anillo de hormigón de 20cm. Las paredes están unidas a elementos de madera sobre los que apoya la cubierta. Gracias a la fricción entre los bloques debida a su tamaño, a su peso y a la gran superficie de contacto entre ellos, no es necesario añadir ningún refuerzo estructural. Su forma rectangular y su capacidad de apilamiento hacen que sea fácil su uso como material de construcción.

Para completar el espacio existente entre cada bala se emplearon cemento, barro y elementos de cartón.

Las balas son autoportantes pero no tienen capacidad estructural, por ello se emplea una estructura de madera capaz de soportar y distribuir la carga. En las imágenes del interior se observa que la estructura va arriostrada.

Como protección inicial del cartón se impregnaron las balas con cera quedando expuestas tanto en el exterior como en el interior para poder observar como éste reacciona y evoluciona con el paso del tiempo, comprobar su durabilidad y mantenimiento.

A partir de la experiencia realizada con este prototipo experimental puede afirmarse que las balas de cartón corrugado encerado podrían tener un gran potencial en la arquitectura.



Ilustración 29. Carboard Pod, Rural Studio. Fuente. <http://www.ruralstudio.org/projects/corrugated-cardboard-pod>

3.5.2.2 PHZ2, Welterbe Zollverein

En este proyecto realizado en Essen (Alemania) por los arquitectos Ben y Daniel Dratz, Dratz&Dratz Architekten (2008-2010). Se emplea cartón y papel reciclado que son fuertemente unidos formando un bloque mediante un fino elemento metálico consiguiendo una alta resistencia a la compresión. En este tipo de conformación las balas son fáciles de colocar y pueden alcanzar una altura de hasta 30 m. Consiguen un gran aislamiento acústico.

El proyecto fue ganador de un concurso y fue seleccionado por el jurado por su innovación, empleo de un nuevo material y sobre todo, por su bajo coste al estar realizado con un material de desecho, siendo un 40% menor que si estuviera realizado con materiales convencionales.

El proyecto tiene una superficie de 190 m² y está compuesto por 550 fardos de papel reciclado comprimido provenientes de los supermercados cercanos. Para su construcción las balas se colocan en filas, conectando cada capa directamente con la siguiente sin necesidad de una estructura adicional. Este modo de construcción fue sometido a una serie de pruebas y en ellas se observó que era posible alcanzar una altura de 100 m.

Una de los problemas que se intuía que podía tener, era su comportamiento frente a la lluvia. Después de unos días de fuertes precipitaciones estos fardos de material reciclado compactado soportaron bien el agua y la humedad. Los fardos seguían secos, únicamente los 8-10 primeros centímetros parecían afectados.

Dado el carácter temporal de la construcción, que fue planificada para ser desmontada y reciclada, no se aplicó ningún tratamiento ignífugo lo que propició que fuera destruida por el fuego.





Ilustración 30. PHZ2, Welterbe Zollverein. Fuente: <http://www.dratz-architekten.de/projekte-phz2.html>

Con esta construcción se intentaba dar a conocer el cartón como material y de construcción y revalorizar los residuos.

3.5.3 Otras intervenciones

Summer Erek es un artista de origen chipriota. Con su obra trata de concienciar a la población sobre el consumo y la importancia de reciclar y reutilizar. Trabaja con materiales reciclados como papel de periódico, cartón, madera, plástico...

The Newspaper House es una iniciativa en la que se emplearon periódicos, cuya vida útil es de apenas unas horas. Para ello contó con la colaboración ciudadana.

Se coloca una estructura de madera a la que se van añadiendo rollos de periódico sujetos por bridas hasta formar la imagen de casa tradicional. Para la obra, realizada en Londres en 2008, se emplearon más de 85000 periódicos.



Ilustración 31. Newspaper house. Erek. Fuentes: <http://www.sumererek.com/>, <http://newspaperhouse.blogspot.com.es/>

3.5.4 Transformación de las fibras de celulosa

3.5.4.1 Ladrillos de papel

Actualmente se están realizando diferentes estudios para el desarrollo de bloques, ladrillos y placas que emplean como materia prima cartón reciclado, en combinación con otros elementos.

Investigadores de la Universidad de Jaén han llevado a cabo una investigación en la que se estudia la posibilidad de realizar ladrillos con arcilla (cerámica) y papel reciclado.

El proceso comenzaría recogiendo de las fábricas de papel y de aguas residuales, residuos celulósicos. Estos residuos se unen a la arcilla empleada en la construcción y se hacen pasar por unas máquinas para su prensado y extrusión, logrando unos ladrillos que aunque presentan una menor resistencia mecánica que la que tiene los ladrillos cerámicos comunes cumplen con lo estipulado por la norma.

Los prototipos tienen un tamaño de 3x1x6 cm. Aunque se están realizando pruebas con elementos de mayor tamaño.



Ilustración 32. Ladrillos de papel. Fuente. <https://www.amarilloverdeyazul.com/2013/04/la-universidad-de-jaen-desarrolla-ladrillos-ecologicos-reciclando-residuos-de-celulosa-procedentes-de-la-fabricacion-de-papel-reciclado/>

3.5.4.2 Papercrete

Otro ejemplo de la realización de bloques con papel y cartón reciclado a los que, aparte de agua, se les añade cemento, para aumentar su consistencia y resistencia y mejorar las propiedades que tiene. Se le añade un recubrimiento exterior de cal con lo que se consigue mantener la permeabilidad al aire permitiendo el paso de la humedad e impidiendo su acumulación en el interior y manteniéndolo seco. Dadas las características de este material

podría aumentarse su resistencia incrementando el porcentaje de cemento a la pasta base. Igualmente las propiedades para la consecución de un mortero de unión o de recubrimiento mejoran con la adición del mismo.

Aporta como ventaja el ser un material ignífugo y que además puede ser trabajado con facilidad cuando está seco conjugando esta propiedad de la madera y solventando el inconveniente de la falta de resistencia al fuego.

Su desarrollo no lleva mucho tiempo, por lo que no se pueden obtener datos sobre la durabilidad.



Ilustración 33. Papercrete. Fuente.
<http://www.instructables.com/id/I-Love-Papercrete/>



Ilustración 34. Papercrete. Fuente.
https://c1.staticflickr.com/1/155/436034784_0c0145fb49.jpg

3.5.4.3 Otras aplicaciones

Newspaperwood

Mieke Meijer en colaboración con el estudio Vij5, se presentó en la expo realizada en Milán en 2011.

Para su fabricación se emplea papel de periódico que es transformado en un material reciclado resistente.

Los periódicos son colocados de forma cilíndrica y son pegados con adhesivos compactándolos con una máquina que genera la presión adecuada para mantener las capas unidas, cuenta con la ayuda de aditivos sin solventes ni plastificantes.

El resultado final son bloques con un aspecto similar a la madera por las betas y sus propiedades ya que permiten su lijado y corte como si fuese madera. Se emplea en

mobiliario, aunque también se está ampliando su aplicación para elementos decorativos, interiores de coches...



Ilustración 35. Silla, newspaperwood. Fuente. <http://www.newspaperwood.com/?portfolio=new-hybrids-by-studio-micke-meije>



Ilustración 36. United, taburete realizado por Tessa Kuyvenhoven. Fuente. <http://xn--discoysostenibilidad-66b.com/2011/11/madera-hecha-con-periodico/>

El cartón también ha sido empleado en el campo del diseño industrial.



Ilustración 37. CARTA SERIES 1998. http://www.shigerubanarchitects.com/works/1998_carta-series/index.html



Ilustración 38. Silla Wiggle side chair, Frank Ghery. Fuente: <http://www.design-museum.de/en/collection/100-masterpieces/detailseiten/wiggle-side-chair-frank-ogehry.html>



Ilustración 39. Sofá y reposapiés, modelo de Frank Ghery. Fuente: <https://rgimenodesign.wordpress.com/2012/01/11/mobiliario-de-carton-una-opcion-ecologica/>

4 Propuesta

4.1 Introducción

Aproximación al campo de la construcción con materiales no convencionales y con materiales reciclados teniendo en cuenta las experiencias estudiadas para realizar una propuesta de construcción con unos elementos que forma parte del uso cotidiano y diario como son los mandriles de los rollos de papel higiénicos. Viendo sus diferentes aplicaciones y la viabilidad para su posterior empleo.

Para ello contamos con los mandriles recogidos en la ETSA Valladolid a través de la iniciativa del Grupo Tierra de Universidad de Valladolid y que cuenta con la colaboración de la asociación ArquitectUVA.



TUS SÍ MANDRILES 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://www5.uva.es/grupotierra/>

Logos: Universidad de Valladolid, Cátedra Juande Villanueva, ARQUITECTUVA

Imágenes: Stacks of toilet paper rolls, a house made of rolls, a sign that says "WHAT WOULD MAGYVER DO?"

Ilustración 40. Campaña recogida de mandriles. Fuente. Grupo Tierra.

Esta campaña se realizó en la universidad pero puede ser extensible a otros lugares como colegios, institutos, centros cívicos... para aumentar así la cantidad de mandriles recogidos.

Definición.

Mandril: Vástago de madera, metal, etc., que, introducido en ciertos instrumentos huecos, sirve para facilitar la penetración de estos en determinadas cavidades⁹.



Ilustración 41. Mandril de papel higiénico.
Fuente. Elaboración propia

El cartón de los mandriles es compacto. Las capas suelen ser de cartón gris, blanco topo y blanco claro. Estas capas romboidales son enrolladas en espiral y presentan gran rigidez.

Datos de interés.

Antes de comenzar con el estudio es importante conocer los datos del consumo, producción y posterior reciclado de papel higiénico. Ésta información queda recogida en las siguientes tablas, así como en la Tabla 3. Los datos han sido tomados de ASAPAPEL. Informe estadístico 2013. doc_360_1 ([http://www.aspapel.es/el-sector/datos-generales.](http://www.aspapel.es/el-sector/datos-generales))

⁹ Diccionario de la RAE

Tabla 4. Datos consumo de celulosa

Consumo de celulosa					
(miles de toneladas)					
	2009	2010	2011	2012	2013
Mecánica y química	1662,6	1750,5	1710,0	1782,4	1865,6
Semiquímicas y otras	80,8	43,8	60,4	64,3	55,7
Total	1743,4	1794,3	1770,4	1846,7	1921,3

Tabla 5. Datos del sector de la celulosa y el papel

España - sector de la celulosa y papel		
(Miles de toneladas)		
	2012	2013
PAPEL Y CARTÓN		
Producción	6176,7	6181,3
Consumo	6157,9	6084,7
Importación	2938,2	2950,8
Exportación	2957	3047,4
CELULOSA		
Producción	1980,5	1976,5
Consumo	1848,6	1921,3
Importación	1039,4	1161,6
Exportación	1173,2	1216,8
MATERIAS RPIMAS		
Consumo madera (miles de m ³ s/c)	6112,7	6140,1
Consumo papel para reciclar	5068,2	5145,1
TOTAL FRACTURACIÓN SECTOR (Millones €)	4317	4263

Tabla 6. Datos producción de papel y cartón

Producción de papel y cartón					
(miles de toneladas)					
	2009	2010	2011	2012	2013
Papel prensa e impresión y escritura	1677,5	1632,2	1582,0	1545,1	1497,6
Higiénicos y sanitarios	695,7	713,2	733,8	731,8	706,6
Para cartón ondulado	2378,3	2773,8	2766,4	2732,9	2852,9
Para ondular	1013,9	1160,6	1211,0	1195,5	1231,6
Testliner y kraftliner	985,9	1136,2	1032,8	1040,3	1149,5
Bicos y cueros	378,6	477,1	522,7	497,1	471,8
Cartón y cueros	258,9	282,6	277,9	280,7	271,5
Cartón estucado	668,7	791,4	842,6	886,2	852,8
Total	5679,1	6193,2	6202,7	6176,7	6181,4

Tabla 7. Datos producción total de celulosa.

Producción total de celulosa					
(miles de toneladas)					
	2009	2010	2011	2012	2013
Mecánica y química	1714,4	1846,2	1951,9	1958,5	1959,9
Semiquímicas y otras	24,1	18,7	24,1	22,0	21,5
Total	1738,5	1864,9	1976,0	1980,5	1981,4

En lo relativo al consumo anual por habitante no hay unanimidad, éste varía según la fuente de información. Finalmente tomaremos como consumo medio 25 rollos de papel higiénico por persona y año. Estos datos ayudarán a estimar el número de mandriles que podemos obtener.

4.2 Desarrollo de la propuesta

4.2.1 Ensayos previos

Como parte del estudio inicial para determinar un sistema de construcción con mandriles se realizaron algunas pruebas sencillas de resistencia a compresión con varias de las muestras de las que disponíamos.

A simple vista se aprecia la variedad de mandriles. Se realiza una separación y clasificación en función del tamaño y del número de capas que los componen. En este caso hemos diferenciado 3 tipos de mandriles.

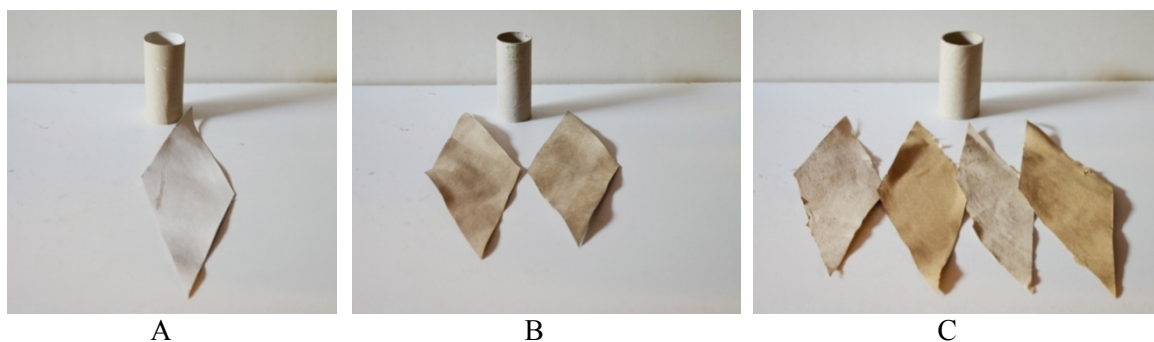


Ilustración 42. Capas de los diferentes tipos de mandriles. A: 1 capa. B: 2 capas. C: 3 capas. Fuente. Elaboración propia

Se seleccionaron varios ejemplares que aparentemente no hubieran sufrido deformaciones y que respondieran a la forma de un cilindro recto porque, según los fabricantes, los cilindros de los mandriles presentaban alguna oblicuidad, que aunque mínima, hacía presuponer que disminuiría la resistencia de los mismos.

Clasificación previa de los mandriles empleados en el ensayo.

De los tres tipos distintos de mandriles diferenciados, a continuación se recogen sus dimensiones.

Tabla 8. Dimensiones de cada tipo de mandril. Fuente. Elaboración propia.

Dimensiones ¹⁰			
	Longitud (cm)	Diámetro exterior (cm)	Espesor (mm)
Mandril A	9,1	4,68	0,45
Mandril B	9,41	3,69	0,75
Mandril C	9,2	4,8	1,5



Ilustración 43. Calibre o pie de rey. Fuente. Elaboración propia

4.2.2 Ensayos realizados

Desarrollo de los ensayos realizados.

4.2.2.1 Mandril en posición vertical

Como el número de capas variaba desde una a cuatro, dando lugar a cilindros con diferentes grosores de pared; se procedió a comprobar la resistencia de cada uno de ellos añadiendo sucesivamente pesos y esperando un tiempo de dos minutos antes de aumentar las cargas.

Se observa que en el caso de los mandriles ligeramente dañados, la resistencia del mismo disminuye considerablemente.

Los datos obtenidos se reproducen en la

¹⁰ Mediciones realizadas con calibre o pie de rey.

Tabla 9. Las pruebas se realizaron por triplicado.

Tabla 9 Resistencia a la compresión de los mandriles. Fuente. Elaboración propia.

Carga soportada (Kg)			
	I	II	III
Mandril A	13	14	17
Mandril B	17	13	15
Mandril C	57	35	45

En los resultados de las pruebas de resistencia se observaron diferencias que pueden ser debidas tanto a los defectos en el material elegido como en manipulación y colocación de las pesas.

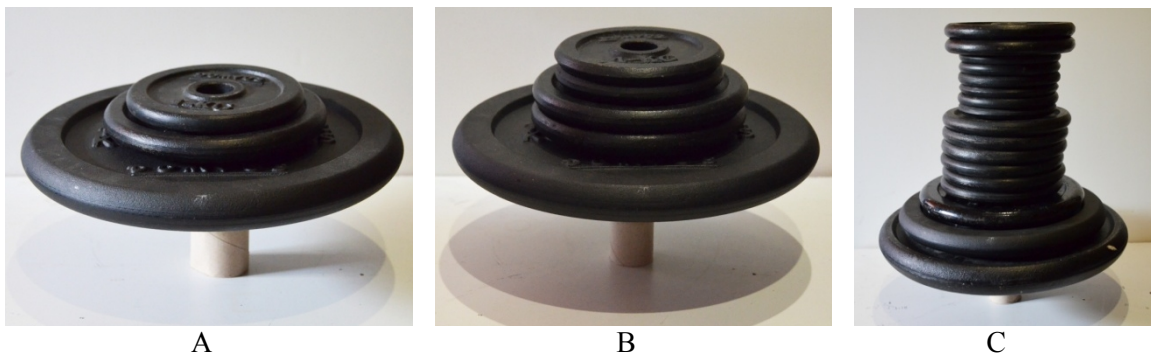


Ilustración 44. Mandriles A,B y C durante la prueba. Fuente. Elaboración propia.

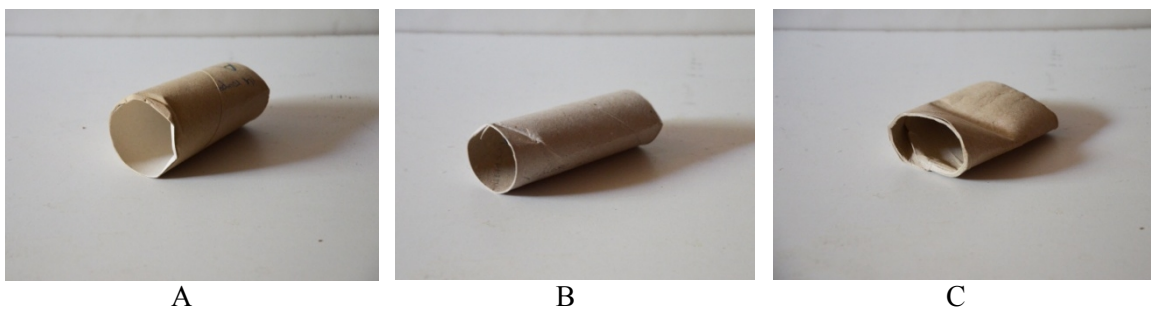


Ilustración 45. Mandriles tipo A,B y C después de la prueba. Fuente. Elaboración propia.

4.2.2.2 Mandril en posición vertical y sometido a un proceso de humedad y secado.

El estudio consistió en sumergir en agua mandriles de distintos grosores durante 15 minutos para comprobar cómo les afectaba la humedad una vez secos.

Como era de esperar el cartón húmedo no presentaba prácticamente ninguna capacidad de resistencia, pero en el caso del cartón que se dejó secar durante 24 horas, se observó que algunas de las capas presentaban un ligero desencolado y en el caso del tipo A se había deformado ligeramente, por lo que se desestimó realizar la prueba de resistencia con él.

Tabla 10 Resistencia tras el proceso de humedecido. Fuente. Elaboración propia.

Carga soportada después del proceso de humedecido y secado (Kg)	
Mandril A	Desestimado por presentar una ligera deformación
Mandril B	17
Mandril C	46



C



B

Ilustración 46. Mandril tipo B y C después de prueba. Fuente. Elaboración propia.

4.2.2.3 Mandriles en posición horizontal

Se realizó una prueba con mandriles dispuestos horizontalmente como se puede apreciar en la ilustración 47 presentando deformaciones importantes partir de los 13 Kg.

Para realizar este ensayo fue necesaria la colocación de elementos adicionales que estabilizaran la estructura un elemento de reparto de cargas.

Se observa que la resistencia en sentido transversal es muy pequeña. Para solventar este problema de resistencia se puede plantear rellenar los mandriles, aunque debe estudiarse bien el relleno para que éste se mantenga en el interior. Esta circunstancia aconseja realizar un estudio profundo sobre diferentes procedimientos para la obtención de una pasta o materia que permita realizar el relleno con facilidad y que tenga una capacidad de cohesión adecuada.

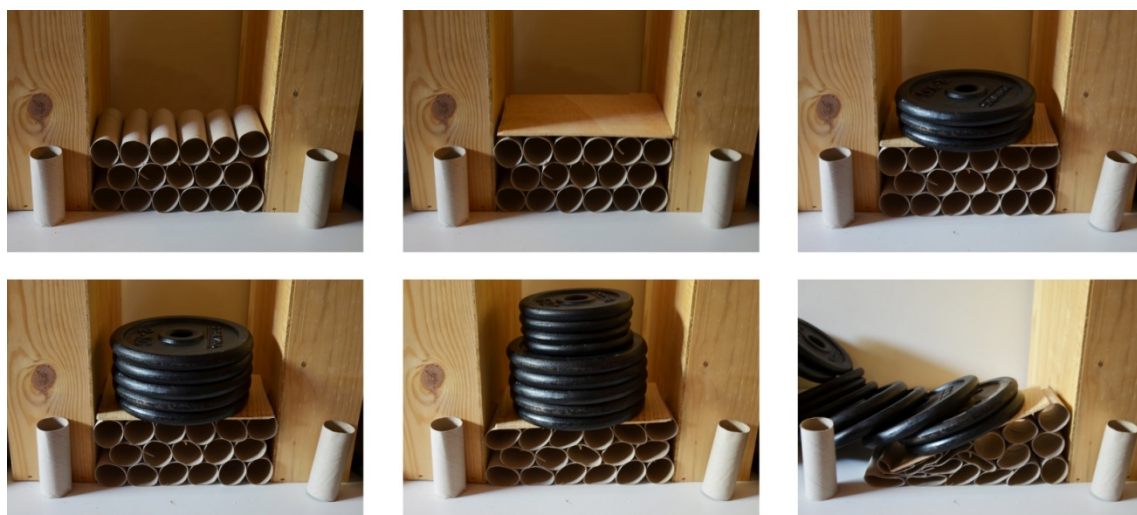


Ilustración 47. Ensayo deformación mandriles con carga aplicada en sentido transversal. Fuente. Elaboración propia.

4.2.3 Aplicación práctica

4.2.3.1 Bloque realizado con mandriles en posición vertical

Después de haber observado el comportamiento de los mandriles en posición vertical y en posición horizontal ante la aplicación de una carga, y tras los datos de resistencia obtenidos, se decide elaborar un bloque con mandriles montados verticalmente formado

por tres filas de seis mandriles como se puede observar en el modelo siguiente. La dimensión de un bloque variará en función del tipo de mandriles empleados.

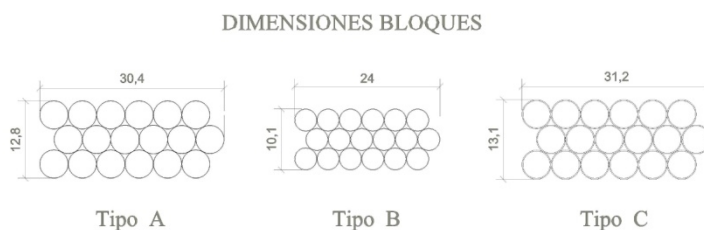


Ilustración 48. Dimensión bloque según tipos de mandriles. Fuente. Elaboración propia.

La construcción con bloques permite que estos se elaboren in situ o en otro lugar y puedan ser transportados hasta su ubicación definitiva, su uso como elemento autoportante, una fácil manipulación y la posibilidad de su relleno con diferentes materiales para variar sus propiedades según las necesidades.

Esta disposición presenta la posibilidad de aumentar fácilmente el número de filas y número de mandriles de cada una según las posibles necesidades que puedan plantearse. Por ejemplo añadiendo una fila más en lugares donde las condiciones climatológicas sean más desfavorables.

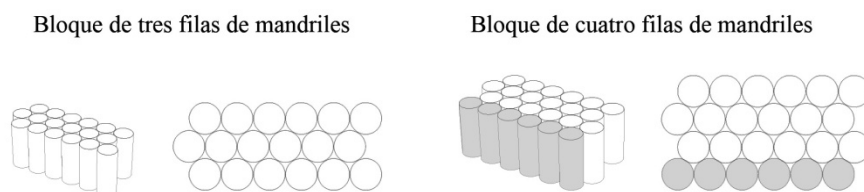


Ilustración 49. Posibilidad de crecimiento del bloque. Fuente. Elaboración propia.

Así mismo esta disposición permite rellenar las filas exteriores de un material aislante o que actúe como tal y dejar vacía la fila intermedia a modo de cámara de aire reduciendo el peso total del bloque.

Para unir los mandriles entre sí, se plantea la posibilidad y hacerlo mediante alambre, cuerda perimetral, hilo, grapas, encolado o utilizar la pasta de papel para consolidar y rellenar el bloque.

Tras los primeros intentos se desechan el uso del alambre, la cuerda perimetral y el hilo por presentar dificultades de manipulado; una unión muy débil y en el caso concreto del alambre la fácil deformación de los mandriles durante la manipulación. Lo que conllevaría la disminución de la resistencia de los mismos.

Se elabora un bloque tipo formado por 18 mandriles dispuesto en 3 filas de 6 unidades cada una de ellas. Para la realización de la unión de los mandriles para construir un bloque se estudiaron tres soluciones distintas: con grapas, con cola de contacto y con pasta de papel.

Unión con grapas

En este caso como medio para mantener unidos los mandriles se utilizaron grapas convencionales que aunque sí consiguieron mantener unidos los mandriles presentaban bastantes dificultades para su ejecución. El resultado fue un bloque con muy poca uniformidad en las bases y con deformaciones en los tubos que hacen presumir una reducción de la resistencia del mismo.

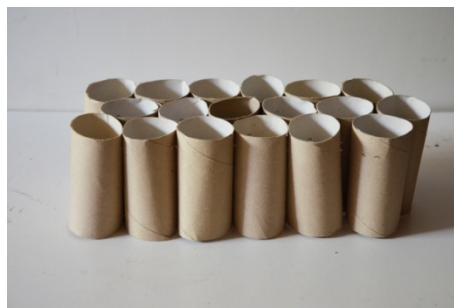


Ilustración 50. Bloque de mandriles unidos con grapas. Fuente. Elaboración propia.

Unión con cola

Los tubos se unieron con cola blanca de secado rápido y se fijaron también por el mismo modo a una base de cartón. El resultado fue un bloque bastante compacto, sin desperfectos aparentes en los tubos de cartón y bases planas. El inconveniente que

presenta, entre otros, es el comportamiento de la cola en condiciones de humedad elevada.

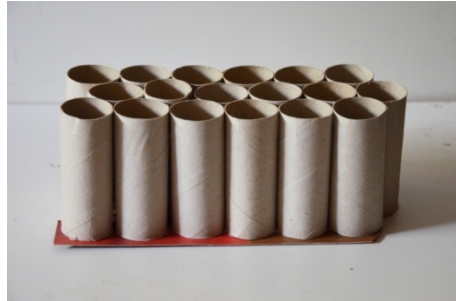


Ilustración 51. Bloques de mandriles unidos con cola. Fuente. Elaboración propia.

Pasta de papel

Se confecciona el modelo de bloque definido anteriormente. Para ello se utiliza una caja de madera a modo de encofrado rellenando el espacio entre los mandriles y las paredes con pasta de papel, realizada a partir de periódicos, al igual, que las filas externas y los pequeños huecos los tubos. La capa exterior no presenta una buena adherencia, se desprende con facilidad.



Ilustración 52. Caja empleada para la realización de los bloques formados por mandriles. Fuente. Elaboración propia.

Por ello se opta por rellenar sólo los mandriles. Se mantienen unidos si no se les aplica ninguna fuerza, pero podría presentar problemas de desplazamiento si son sometidos a cargas con una fuerza horizontal. Se podría recubrir la cara exterior con barro o arena o con algún que otro resina o elemento impermeabilizante para mejorar su respuesta ante la humedad.

De estos bloques podemos destacar:

- Su facilidad de transporte y fabricación.



- Su gran resistencia en relación con su bajo peso.
- Su bajo coste.

Los inconvenientes que se pueden plantean para la elaboración de los bloques son los siguientes:

- Un tiempo de secado elevado, 8 días a una temperatura media cercana a los 30°C con baja humedad relativa.
- Falta de adhesión de la pasta al cartón y de los mandriles entre sí. Se puede solventar con la adición de aglutinantes u otros elementos que no incrementen el precio en exceso.
- La humedad que afecta directamente a la resistencia del cartón.
- La estabilidad de un muro de gran altura debido a su bajo peso por lo que se necesitaría una estructura auxiliar o un elemento de sujeción que podría estar formado por elementos verticales resistentes que sirvieran como nexo de unión entre las diferentes hiladas.
- La falta de homogeneidad en las dimensiones que obliga a realizar una selección y clasificación previa.

Cálculo del número de mandriles necesarios para la realización de un muro

Las medidas del bloque varían en función del tipo de mandril empleado.

Para este bloque se ha utilizado un mandril tipo A. Las dimensiones del bloque son 30,4 x 12,8 cm.

Para la realización de un metro lineal de muro con una altura de 2,5 metros con este tipo de bloques o técnica se necesitarían unos 1.716 mandriles. El equivalente al consumo de papel higiénico de 70 personas en un año.



5 Conclusiones

Como resultado de esta primera aproximación al estudio de materiales reutilizados como elementos constructivos, cabe destacar el elevado número de experiencias encontradas, con el objeto de reutilizar el papel en sus diferentes formas y productos provenientes de los usos a los que fue destinado. Esta reutilización se enfoca desde el uso aislado del papel hasta su modificación estructural y combinación con otros elementos naturales (tierra) o de desecho (poliestireno). El fin último de la reutilización, es por tanto, dar un nuevo uso a materiales cuya vida útil ha finalizado, reduciendo el consumo de recursos naturales, así como los costes materiales.

Cada aspecto estudiado evidencia una serie de dificultades que han sido solventadas en cada caso particular aportando diversas soluciones. El comportamiento de los materiales ante los agentes meteorológicos, biológicos y físicos ha propiciado la generación de ideas innovadoras para lograr fines concretos, que pasan desde el reciclado del material a la transformación en elementos nuevos más acordes con los usos ideados.

La experimentación con mandriles es una de las nuevas vías de reutilización y aprovechamiento del papel desechado. Los aspectos que se han tenido en cuenta a la hora de dar soluciones viables para este material se recogen a continuación.

- Por un lado, la respuesta del papel ante los agentes meteorológicos nos indica que debe ser tratado o protegido frente a ellos. En el caso de la humedad su comportamiento varía tanto que la viabilidad de un proyecto depende directamente de la respuesta de los métodos de aislamiento, así como lograr un balance económico positivo, obteniendo unos costes finales de producción bajos.
- Otro aspecto es la vulnerabilidad del papel ante agentes biológicos como hongos y bacterias o incluso pequeños insectos o roedores. De estos agentes biológicos y de las soluciones que seamos capaces de aportar dependerá en gran medida la durabilidad de los trabajos que se realicen.

La manera en que se utilice el material influye principalmente en dos aspectos fundamentales, como son la resistencia al fuego y la resistencia estructural. De las

soluciones técnicas dadas dependerá la seguridad e integridad de la construcción, así como de sus habitantes.

En el caso de los mandriles de papel higiénico se ha constatado que existen múltiples factores que afectan a la resistencia de los mismos. No solo por la disposición adoptada, sino también por la naturaleza misma del material, puesto que los mandriles presentan diversos acabados, dimensiones de los cilindros, espesor de las paredes o gramaje de cartón con el que están fabricados, que influyen en la resistencia final a los esfuerzos que soportan. De los diversos ensayos llevados a cabo, se ha observado que una ligera deformación en los mandriles merma considerablemente su capacidad portante, así como la humedad relativa del material, disminuyendo esta capacidad al aumentar la humedad del material. Si bien estos ensayos constituyen sólo una primera aproximación, al carecer de equipos, instrumentación y certificación adecuados para poder extrapolar los resultados obtenidos. Por tanto, se propone realizar nuevos ensayos que determinen los márgenes aceptables de uso de los mandriles portadores del papel higiénico.

De los ensayos realizados se concluye que para la elaboración de muros ligeros la mejor opción son bloques constituidos por tres fila de seis mandriles unidos mediante grapas o encolados. Su capacidad portante y de aislamiento puede aumentarse incorporando otros materiales a los diversos huecos dejados por los mandriles. Para llegar a esta conclusión se realizaron diversos ensayos para cada uno de los tres tipos identificados de mandriles portadores de papel higiénico, cuyos métodos y resultados se resumen a continuación:

1. **Grosor del cartón.-** Varía considerablemente el peso que soportan los mandriles dependiendo del espesor del cartonaje con el que están fabricados. Los que nos han servido de estudio van desde 0,45mm del que hemos llamado Modelo A hasta 1,05mm del Modelo C, pasando por 0,75mm del modelo B.

Para poder sacar un máximo rendimiento construcción, consideramos que es necesaria una selección previa separándolos por grosor del cartón y su tamaño.

2. **Desperfectos del cartonaje.-** A través de los estudios realizados hemos podido comprobar que en mandriles con el mismo grosor, varía la carga que soporta dependiendo si el cartonaje tiene defectos o no. Consideramos defectos



cuando tienen alguna esquina levantada, presentan separadas las capas que lo forman, están ligeramente aplastados, etc. Como era de esperar nos hemos encontrado con más desperfectos en los llamados Modelo A de 0,45mm y Modelo B, 0,75mm.

3. **Disposición de los mandriles.**- En los ensayos realizados, hemos podido comprobar que los mandriles colocados de forma horizontal sin relleno la carga que soportan es prácticamente nula, por lo que se plantea una disposición vertical de los mismos.
4. **Afectación de la humedad.**- En los casos estudiados se ha apreciado que después del proceso de secado de los mandriles la resistencia que presentaban éstos se reducía siendo esta diferencia mayor cuanto menor es el grosor. Se desechó realizar la prueba con mandriles de 0,45 mm de grosor ya que al introducirlos en agua durante 15 minutos, presentaban alguna deformación y separación de capas.
5. **Bloque compuesto por dieciocho mandriles.** La disposición de mandriles en bloque formado por tres filas de seis unidades cada uno de ellas, como hemos podido comprobar en los ensayos realizados con mandriles individuales, tiene una buena resistencia mecánica. Así mismo hemos podido comprobar que si rellenamos los mandriles con poliespan aumenta su resistencia. Por lo que sería viable realizar un bloque de mandriles con las filas exteriores rellenas y la interior vacía para que pueda actuar también como aislante. La versatilidad del bloque permite aumentar o disminuir su tamaño ajustándose fácilmente a las distintas necesidades.

Como conclusión final al estudio realizado, se deduce que la construcción con mandriles es viable, pero que es necesario avanzar en el desarrollo de nuevas técnicas y materiales que aumenten el rendimiento y resistencia mecánica, térmica, a la humedad y biológica de este material. El uso de nuevos aditivos, sobre todo derivados de residuos, se vislumbra como la nueva vía de desarrollo de este tipo de construcción, para lograr materiales cuya revalorización sea viable desde un punto de vista medioambiental y económico, y útiles desde un punto de vista estructural y arquitectónico.



6 Bibliografía

Huygen, J.M.; *La poubelle et l'architecte. Vers le réemploi des matériaux.* L'Impresé Actes Sud. Arles 2011.

McQuaid, M.; *Shigeru Ban.* Phaidon Press Limited. 2002.

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

Pohl, A.; *Strengthened corrugated paper honeycomb for application in structural elements.* ETH NO. 18429. ETH Zurich. 2009 (Tesis doctoral).

Austin G. T. “*Manual de Procesos Químicos en la Industria*”. 5ª Ed. McGraw Hill. México, 1992.

Heaton C.A. “*An Introduction to Industrial Chemistry*”. 2ª ed.. Blackie & Son Ltd. Reino Unido. 1991.

UCM-FEIQUE. “*La Industria Química en el Siglo XXI: desarrollo sostenible y compromiso de progreso*”. FEIQUE. Madrid, 1999.

Vian Ortuño A. “*Introducción a la Química Industrial*”. 2ª ed. Ed. Reverté, S.A. Barcelona, 1994.

Web 1. Datos residuos. INE: instituto nacional de estadística. <http://www.ine.es/>

Web 1. Definiciones. <http://www.rae.es/>

Web 2. Huella ecológica. <https://www.ecoembes.com/es/planeta-recicla/blog/huella-ecologica-incluso-comer-una-manzana-influye-en-el-planeta>

Web 3. Huella ecológica. http://www.wwf.es/noticias/informes_y_publicaciones/informe_planeta_vivo/huella_ecologica/

- Web 4.** Construcción *low-tech*. <https://jornadeslowtech.wordpress.com/>
- Web 5.** Cartón. http://www.afco.es/info_ciclo.htm
- Web 6.** Cartón estructura. <https://jornadeslowtech.files.wordpress.com/2014/11/cartc3b3n-estructural-branko-sekuli.pdf>
- Web 7.** Reciclaje. Ecoembes: <https://www.ecoembes.com/es>
- Web 8.** Papel y cartón. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-mbiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/fracciones/papel-y-carton/>
- Web 9.** Inhabitat: <http://inhabitat.com/architecture/>
- Web 10.** Papel. Asapapel: <http://www.asapapel.es/>
- Web 11.** Cartón. Fefco: <http://www.fefco.org/>
- Web 12.** Construcción con botellas PET. <http://energiasrenovablesaplicadas.blogspot.com.es/>
- Web 13.** Construcción con botellas PET. <http://ecoinventos.com/casa-construida-con-botellas-pet-recicladas-en-nigeria/>
- Web 14.** Construcción con botellas PET. <http://construccionconbotellas.blogspot.com.es/>
- Web 15.** Construcción con botella PET. <http://caliescribe.com/servicios-y-medioambiente/2012/03/31/2491-como-construir-casa-botellas-plastico>
- Web 16.** Construcción con neumáticos. <http://noticias.arq.com.mx/Detalles/16798.html#/Vd4KQyXtmk>
- Web 17.** Construcción con neumáticos. <http://gaiachile.es.tl/PROYECTOS.htm>
- Web 18.** Construcción con botellas de vidrio. <http://www.seresponsable.com/2014/11/13/wat-pa-maha-chedi-kaew/>



- Web 19.** Construcción en Argentina. <http://www.navetierramdq.com.ar/~navetier/wp-content/uploads/traduccion/NaveTierra%20V2-C11-ES%20R01.pdf>
- Web 20.** Construcción cajas. <http://winter-hoerbelt.de/selected-works/cratehouse>
- Web 21.** Tectán. <http://www.proyecta56.com/tectan-el-conglomerado-resultante-del-reciclado-de-un-tetrabrik/>
- Web 22.** Pared de frigoríficos. <http://www.microclimax.org/projets/salonfrigo.html>
- Web 23.** Ubuntublox. <http://ubuntublox.com/technology/>
- Web 24.** Cúpula geodésica, Fuller. http://www.sciencestockphotos.com/free/engineering/slides/cardboard_strength.html
- Web 25.** Westborough Primary School. <http://www.burohappold.com/projects/project/westborough-primary-school-cardboard-building-73/>
- Web 26.** PHZ2. <http://www.dratz-architekten.de/projekte-phz2.html>
- Web 27.** Cardboard house, Sidney. <http://diy.vooxo.net/houses-of-the-future-the-cardboard-house/>
- Web 28.** Cardboard House, Sidney. <http://www.peterstutchbury.com.au/cardboard-house.html>
- Web 29.** Rural Studio. Corrugated Cardboard Pod. <http://inhabitat.com/corrugated-fiber-board-house-make-great-use-of-waste-material/>
- Web 30.** Rural Studio. Corrugated Cardboard Pod. <http://www.ruralstudio.org/projects/corrugated-cardboard-pod>
- Web 31.** Rural Studio. Corrugated Cardboard. <http://www.archiprix.org/2015/index.php?project=1148>
- Web 32.** Newspaperhouse. <http://www.sumererek.com/>
- Web 33.** Newspaperhouse. <http://newspaperhouse.blogspot.com.es/>

- Web 34.** Ladrillos de papel. <http://www.medciencia.com/ladrillos-hechos-de-papel-completamente-reciclables>
- Web 35.** Ladrillos de papel. <http://ekowave.blogspot.com.es/2011/05/casas-con-bloques-de-papel-reciclado.html>
- Web 36.** Ladrillos de papel. <http://phys.org/news/2012-12-paper-bricks.html>
- Web 37.** Ladrillos de papel. <https://www.amarilloverdeyazul.com/2013/04/la-universidad-de-jaen-desarrolla-ladrillos-ecologicos-reciclando-residuos-de-celulosa-procedentes-de-la-fabricacion-de-papel-reciclado/>
- Web 38.** Paneles rellenos de espuma. http://www.researchgate.net/publication/242111695_Emergency_Housing_Systems_from_Three-
- Web 39.** Papercrete. <http://www.instructables.com/id/I-Love-Papercrete/>
- Web 40.** Papercrete. <http://makepapercrete.com/What-is-Papercrete.html>
- Web 41.** Newspaperwood. <http://xn--diseosostenibilidad-66b.com/2011/11/madera-hecha-con-periodico>
- Web 42.** Newspaperwood. <http://www.newspaperwood.com/?portfolio=new-hybrids-by-studio-mieke-meije>
- Web 43.** Mobiliario Shigeru Ban. http://www.shigerubanarchitects.com/works/1998_carta-series/index.htm
- Web 44.** Silla Wiggle side, Frank Gehry. <http://www.design-museum.de/en/collection/100-masterpieces/detailseiten/wiggle-side-chair-frank-o-gehry.html>
- Web 45.** Noticias construcción con cartón. <http://www.theguardian.com/artanddesign/shorcuts/2012/apr/20/cardboard-buildings-future>
- Web 46.** Noticias construcción con cartón. <http://www.greendiary.com/architecture/page/6>
- Datos papel higiénico. http://www.kantarworldpanel.com/dwl.php?sn=__press_release_docs&id=302