

“SOLUCIONES DE CONTROL SOLAR PARA LA REHABILITACIÓN DE FACHADAS
EN EL MARCO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR”

Ángela Gómez Pérez-Guillermo
Trabajo de Fin de Grado
ETSAB- UPC

“SOLUCIONES DE CONTROL SOLAR PARA LA REHABILITACIÓN DE FACHADAS
EN EL MARCO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR”

Ángela Gómez Pérez-Guillermo

Trabajo de Fin de Grado

Línea: Tecnología de la Arquitectura

Tutor: Oriol Pons Valladares

Tribunal: Ana Belén Onecha Pérez

Jorge Portal Liaño

Galdric Santana Roma

GArcEtsaB | Grado en Estudios de Arquitectura

Etsab | Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona

UPC | Universidad Politécnica de Cataluña

Barcelona | Septiembre 2023



ÍNDICE

1	Introducción	1
1.1	Motivación	3
1.2	Objetivos	3
1.3	Hipótesis	3
1.4	Metodología	4
2	Estado del Arte: Construcción con elementos reciclados desde la antigüedad	5
3	Construcción con cerámica	8
3.1	Técnicas de moldeado	9
3.2	Técnicas de estabilización	9
4	Principales Materiales desechados en construcción	12
4.1	Justificación e impacto ambiental	13
4.2	RCD de origen cerámico	17
5	Contexto de aplicación: Escuelas de primaria públicas, Barcelona	19
6	CASOS DE ESTUDIO: Fachadas con materiales cerámicos dentro del concepto de economía circular	22
6.1	Soluciones de control solar en proyectos de fachada. Proyectos reales	23
	• Academia China de Arte Popular	23
	• Clay Roof House	24
	• Properly Breathing House	25
	• La Colmena	26
	• Flexi brick	27
6.2	Soluciones de control solar en proyectos de fachada. Proyectos teóricos	28
	• Roof to Facade	28
6.3	Soluciones de fachada sin función de control solar. Proyectos reales	29
	• Ningbo Historic Museum	29
	• Capilla San Bernardo	29
	• La cabaña de las curiosidades impresas en 3D	30
	• Fet de terra	30
	• SAVASCO	31
6.4	Estudio del material. Residuos compatibles con la cerámica	32
	• StoneCycling, colaboraciones	32
	• Blood brick	33
	• Green leaf brick	33
	• Vbc 3000	34
6.5	Análisis y comparativa de los casos explicados	35
6.6	Priorización casos escogidos y descartados	36
7	Propuesta de combinación – Escuela Bernat Metge	39
7.1	Propuesta 1: reciclaje en la composición de materiales	42
7.2	Propuesta 2: reutilización directa de piezas cerámicas	46
8	Elección del material	50
8.1	Residuos utilizados	51
8.2	Metodología e hipótesis de combinación	56
9	Conclusiones y futuras líneas de trabajo	57
10	Agradecimientos	59
11	Bibliografía	61

1 Introducción

Abstract

La industria de la construcción es uno de los mayores generadores de materiales de desecho. La mayoría, carecen de una cadena de reciclaje específico. Convirtiéndose, en uno de los problemas a los que hay que dar respuesta, para conseguir una transición ecológica y responsable en términos constructivos.

La combinación de arcilla con residuos tratados, procedentes de la construcción y demolición, podría suponer una alternativa, que permitiera abordar el impacto ambiental generado por el sector, dándole un nuevo uso, a materiales que acabarían en vertederos. Promoviendo así, un modelo de economía circular.

Estas piezas cerámicas, reutilizadas o compuestas por materiales reciclados, podrían conformar una capa exterior, que complementara las fachadas de determinados edificios, que no cumplen las condiciones térmicas requeridas. Aportando, un control de la radiación solar directa, y, por tanto, un mayor confort en las zonas afectadas del edificio

La cerámica, es un material abundante y fácilmente accesible. Constituye parte de la identidad constructiva de Barcelona. Al combinarla con materiales de desecho, se podrían potenciar sus propiedades, y convertirse en una solución eficaz para el tratamiento de residuos. La elección, posee prestaciones superiores a otras alternativas como el plástico, en aspectos cruciales como su comportamiento al fuego. Esta estrategia no solo contribuiría a reducir el impacto ambiental generado por el sector de la construcción y demolición, sino que también promovería una práctica más sostenible y responsable con los recursos disponibles.

Palabras clave:

Cerámica, reciclar, nuevos materiales, RCD, control solar, economía circular, impacto ambiental

1.1 Motivación

Mi motivación para abordar este tema, surge como voluntad de dar respuesta a la crisis climática vinculada a la arquitectura. Qué impacto tiene, qué alternativas hay, en qué se está investigando y cómo seguir avanzando.

Durante la carrera de arquitectura, se nos ha hablado de acupuntura urbana o urbanismo táctico, como término estratégico, donde pequeñas mejoras puntuales, podían originar grandes beneficios para los usuarios. Sin embargo, en el ámbito arquitectónico, las soluciones enseñadas, siendo muy interesantes, eran de un gran coste y requerían de mano de obra muy especializada. En este trabajo, trato de profundizar en pequeñas intervenciones de bajo coste, que puedan suponer una mejora en el confort de usuarios, aprovechando y respetando la edificación existente, los recursos disponibles y siguiendo un modelo de economía circular.

Confío en que la investigación de proyectos donde los materiales reciclados y reutilizados, desempeñan una función de mejora en el edificio y su combinación con ciertos materiales abundantes y autóctonos, pueda suponer un gran avance en la elección de materiales constructivos, para caminar hacia un futuro más consciente y comprometido con la sociedad y el patrimonio natural.

1.2 Objetivos

El objetivo del trabajo es analizar diferentes proyectos de fachada, que, mediante la adición de una capa externa, con función de control solar y conformada por piezas cerámicas, pueda suponer una mejora en el confort térmico del edificio. Además, tengo por objetivo, analizar los principales desechos que se producen en la industria de la construcción y demolición, y hacer una selección de cuales son compatibles químicamente con la cerámica, para la creación de nuevas piezas a partir de estos materiales de desecho.

Como contexto de actuación me centro en escuelas públicas de primaria en Barcelona, en concreto, la escuela Bernat Metge, ya que, debido a su año de construcción, tipología y orientación, no alcanza los requerimientos de confort térmico en el interior del edificio. Y, por tanto, una intervención de este tipo, de bajo coste y utilizando materiales del marco de la economía circular, puede suponer una mejora en las aulas más afectadas del edificio.

Me interesa el tema de los materiales, e investigar en la combinación de RCD que puedan mejorar las capacidades de las piezas cerámicas convencionales, me motiva profundamente. Y cómo puede marcar la diferencia, la elección de materiales procedentes de residuos, reduciendo el impacto ambiental que produce este sector.

1.3 Hipótesis

¿Cuál es el impacto ambiental y la situación actual con los residuos de construcción y demolición?

¿En qué consiste la economía circular de residuos y que ventajas tendría?

¿Qué ejemplos de proyectos utilizan desechos cerámicos como elemento del edificio? ¿Se ha investigado y hay ejemplos de nuevos materiales compuestos por desechos de diferentes sectores?

¿Por qué una escuela pública del año 76, necesitaría una capa extra de control solar en fachada?

Al ser materiales pétreos y por tanto tener un elevado peso propio ¿De qué manera se puede instalar un sistema de control solar a base de piezas cerámicas para no sobrecargar la estructura existente?

¿Cómo serían las piezas cerámicas albergadas en la malla? ¿Qué materiales de desecho son compatibles a nivel de composición química con la cerámica?

1.4 Metodología

La metodología que haré será un análisis sobre los principales desechos en construcción, su impacto ambiental y posibles tratamientos para reutilizarlos según su composición.

La vinculación del análisis con la Tesis de Ma. Gabriela Ledesma H. "Passive mosaic energy optimization: toward free-running school buildings," enfocándome en la mejora del confort térmico en escuelas públicas de primaria en Barcelona, debido a su antigüedad, tipología constructiva y orientación.

Análisis de casos de estudio, siendo proyectos reales de fachada con función de protección solar, proyectos teóricos de fachada con función de protección solar y proyectos reales de fachada sin función de control solar.

Innovaciones de nuevos materiales de construcción, como la empresa *Stone Cycling*, fundada por Tom Van Soest, que utiliza materiales de desecho de la construcción para crear nuevos materiales. Trabajan de la mano de empresas como *Studio Mixtura*, investigación química de nuevas composiciones y *Abo Globals*, que provee a estas empresas los materiales de desecho tratados.

Propuesta de mejora para la Escuela de primaria Bernat Metge (1974). Incorporando una piel exterior de fachada que regule la radiación solar directa utilizando dos propuestas, materiales cerámicos mezclados con materiales de construcción reciclados y mediante la reutilización de tejas cerámicas desechadas.

Propuesta de composición del material, realizando una investigación sobre materiales RCD, compatibles con la cerámica y su proceso de reciclado. Además de la elaboración de tres hipótesis de composición de las nuevas piezas.

Fase	Descripción	Método
1. Definición del trabajo	Definición de objetivos, hipótesis...	Preparación investigación
2. Contextualización problemática	Estudio de los residuos en la arquitectura, materiales cerámicos	Estado del arte
3. Contextualización actuación	Escuelas de primaria públicas en Barcelona	Análisis Tesis "Passive mosaic energy optimization: toward free-running school buildings"
4. Análisis de casos existentes	Estudio de fachadas reales de control solar y muros, proyectos, materiales...	Estudio de casos Comparativa de casos Justificación elección
5. Propuesta de material	Descripción de la propuesta	Combinación de proyectos y materiales para la escuela Bernat Metge
6. Análisis de material	Hipótesis de combinación	Pruebas

2 Estado del Arte: Construcción con elementos reciclados desde la antigüedad

En la historia de la humanidad, el uso de materiales reciclados para la construcción, ha sido una práctica empleada como estrategia ante problemas económicos, geográficos y de recursos.

Desde la Antigüedad, hay evidencias de utilización de residuos domésticos como parte del relleno en la mampostería. Durante la época del Imperio romano, fue muy común. Se denominaba, *Opus Incertum*, y consistía en la utilización de elementos como platos cerámicos, ánforas, baldosas o escombros, tanto en el relleno de muros, como en la fabricación de calzadas e infraestructuras. Esto también ocurre en la Edad Media, donde utilizaban restos de materiales de edificios que se encontraban en desuso, como madera, ladrillos o piedras, en la construcción de nuevos edificios y fortificaciones.

En Asia también se utilizaron materiales reciclados para construir partes de la Muralla China o en Japón, sobre todo en el periodo Edo, se desmontaban edificaciones antiguas para aprovechar la madera de gran calidad que las constituía y construir nuevas viviendas. Esta técnica era denominada "*sukiya-zukuri*".

En la era de la revolución industrial, debido a la alta demanda de vivienda e infraestructura viaria, se utilizaron materiales provenientes de estructuras ferroviarias e industriales, para la construcción de nuevos edificios y puentes. En EEUU, durante la fiebre del oro, pueblos ubicados en zonas desérticas, construyeron gran cantidad de refugios con botellas de vidrio. Esta práctica, se ha visto reflejada en numerosas construcciones, en diversas zonas del mundo.

Otro ejemplo contemporáneo fue la técnica del "Trencadís" de Antoni Gaudí. Haciendo uso de fragmentos desechados de baldosas cerámicas, azulejos y botellas de vidrio, en el revestimiento de fachadas, elementos y cubiertas Modernistas. Se inspiró en el mosaico romano, de la antigüedad clásica. Este derivado del mosaico, presenta una evolución, partiendo de 1988, donde se trataba de trozos de cerámica vidriada unidos entre sí de forma aleatoria por una argamasa, conformando siluetas reconocibles como flores y peces, a 1905 en obras como El Parc Güell y La Sagrada Familia, donde apreciamos que el perímetro de las piezas, presenta líneas más rectas, por la evolución de las herramientas utilizadas. El encaje entre piezas es más exacto y preciso, permitiendo cubrir incluso, superficies curvas, debido al enmallado sobre el que se colocan las piezas.

Mencionar también, proyectos como la Iglesia Evangélica en Terrassa, de Carlos Ferrater (2008 – 2010), que utiliza aluminio reciclado en su fachada.

Encontramos ejemplos que utilizan elementos de plástico directamente en muros de fachada, como en el caso del PET Pavilion (Project.DWG + LOOS.FM / 2014), el Naju Art Museum (Hyunje Joo / 2016), el Bima Microlibrary (SHAU Bandung / 2016) o el Gallery of Furniture (CHYBIK+KRISTOF / 2016), en los cuales estas fachadas no cumplirían ni por su reacción ni resistencia al fuego ni por el goteo durante la combustión.

De los distintos materiales utilizados hay materiales cuya aplicación en fachada no es posible debido a su comportamiento al fuego, pero es preciso mencionar, ya que utilizan materiales reciclados como premisa.

A lo largo de la historia, y hasta la actualidad, el uso de materiales reciclados en la construcción ha sido una demostración de ingenio y adaptabilidad por parte de las sociedades, mostrando cómo el reciclaje y la reutilización de residuos pueden proporcionar soluciones arquitectónicas sostenibles y funcionales.



Gran Muralla China



Periodo Edo, Japón



PET Pavilion



Iglesia Evangélica

-450

1600

2010: 2014

0

1850

1900

2016



Opus Incertum, Imperio Romano



Fiebre del Oro, EEUU



Trencadís, Barcelona



Naju Art Museum



Bima Microlibrary



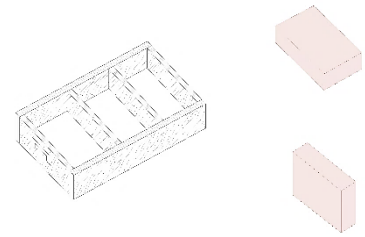
Gallery of Furniture

3 Construcción con arcilla

3.1 Técnicas de moldeado

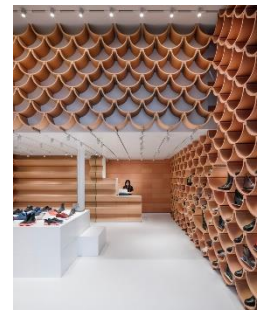
La arcilla es un material de construcción versátil y ampliamente utilizado en todo el mundo debido a su disponibilidad, facilidad de manipulación y resistencia una vez cocida. Se han desarrollado diversas técnicas de moldeado a lo largo de la historia con este material. A continuación, se presenta un análisis de algunas formas de moldear la arcilla:

- **Prensado:** esta técnica es utilizada para moldear piezas cerámicas de manera rápida y en serie, mediante un molde rígido, donde se coloca la arcilla y una vez compactada, pasa al secado, para su posterior utilización. El prensado ha evolucionado desde los antiguos moldes de madera a sofisticados métodos de prensado industriales.



Elaboración propia

- **Colada:** Esta técnica permite crear piezas cerámicas más complejas y detalladas, mediante el vertido de la arcilla líquida en moldes porosos, donde se secará formando un elemento sólido.



Camper Paseo de Gracia – Kengo Kuma & Associates (2018)

- **Extrusión:** Este método, permite crear formas tubulares y alargadas. La boquilla de extrusión tendrá las dimensiones deseadas de la sección transversal de la pieza. Se utiliza mucho en la producción de ladrillos en fábrica.



Escuela Universitaria De Magisterio / Ramón Fernández-Alonso (2012)

- **Estampado:** Esta técnica se utiliza para hacer patrones en piezas cerámicas, mediante moldes o sellos para imprimir el diseño en la pieza. Esta técnica se usa más como elemento decorativo en azulejos y baldosas.

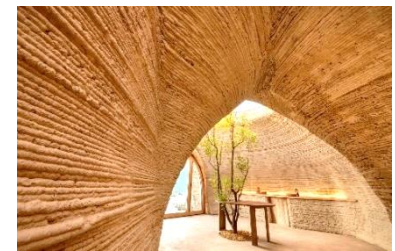


Revestimiento cerámico – empresa Lef Cerámica

- **Impresión 3D:** Se trata de una técnica novedosa en el mundo de la construcción. Proyectos como Tova, del IAAC, o TECLA de Mario Cucinella, ya han implementado este método. Requiere de un diseño computacional previo, formalizando el modelado 3d del proyecto. Estos datos son transferidos a la impresora 3d, con una boquilla especial que se moverá según el modelo digital. La impresora irá depositando la arcilla por capas hasta conformar la pieza tridimensional. Las formas pueden variar, desde un edificio completo a pequeñas piezas.



Tova / IAAC (2022)
© Gregori Civera, Mehdi Harrak



Casa impresa en 3D y tecnología TECLA / Mario Cucinella (2021)

3.2 Estabilización del material

- **Secado al sol y secado artificial:** Los ladrillos de adobe tras ser prensados, se dejan secar al sol hasta que adquieren suficiente resistencia para ser utilizados en la construcción de paredes y muros. Este método se ha utilizado desde la antigüedad hasta nuestros días, especialmente en climas cálidos y secos. El secado artificial se produce en fábricas, utilizando maquinaria que evapora la humedad de las piezas cerámicas.
- **Cocción:** Los ladrillos se cuecen a alta temperatura, para mejorar sus capacidades, lo que supone una cohesión y unión de las partículas, disminuyendo la porosidad de la pieza. Con el proceso de cocción, se consigue una mejora considerable en la resistencia mecánica del material. Encontramos dos tipos de cerámica, la porosa y la compacta. Depende de la temperatura de cocción, la presión ejercida durante el moldeado y la granulometría de las partículas de la composición.



Fábrica de secado al sol de ladrillo de adobe

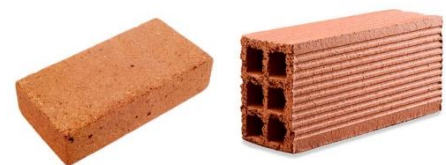
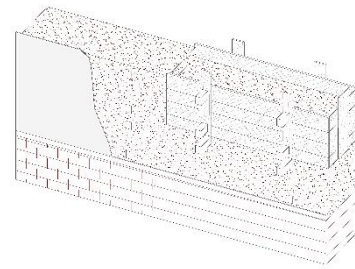


Imagen: MN asesoría materiales

tipo	Porcelana	Gres	Semi – Gres	Loza porosa
Temp. Cocción °C	> 1200°C	1050-1200°C	1050-1200°C	890 – 1050°C
Estado	vitrificación	gresificación	gresificación	sinetización
Absorción	0%	0,50 a 3,00%	3,00 a 6,00%	> 6,00%

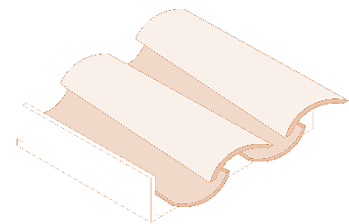
3.3 Elementos

- **Tapial:** Es un método de construcción que utiliza una mezcla de arcilla, arena y otros materiales como paja o fibras vegetales. La mezcla se compacta entre encofrados de madera, formando muros y paredes. Este método se ha utilizado en diferentes culturas a lo largo de la historia y todavía se sigue usando en la actualidad.



Elaboración propia

- **Tejas:** Son elementos de cobertura discontinua, ancladas mecánicamente o trabadas por geometría, que conforman la capa exterior, y por tanto primera barrera de estanqueidad, en cubiertas inclinadas. Las tejas de arcilla son populares debido a su durabilidad, resistencia a la intemperie y su inercia térmica.



Elaboración propia

- **Ladrillos:** Están hechos a base de arcilla, alúmina y sílice. Según su composición y cocido, distinguimos, los secados al sol, como el adobe, formado por arcilla y arena, y los ladrillos cocidos, donde encontramos de cerámica convencional, que pueden ser macizos, macizos perforados o ladrillos huecos, y de cerámica refractaria, que son macizos y pueden soportar altas temperaturas. Hasta 1650°C sin sufrir alteraciones en su resistencia y conductividad térmica. Esto se debe a la presencia de mayores cantidades de sílice (más del 50%) y de alumina (más del 20%), además de que pueden presentar en su composición restos de materiales cerámicos vitrificados.

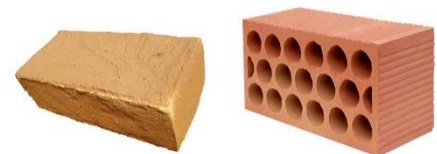


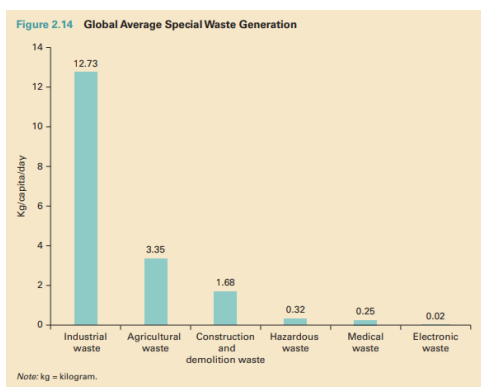
Imagen: MN asesoría materiales

4 Principales Materiales desechados en construcción. Impacto ambiental y compatibilidad con la cerámica

Justificación e impacto ambiental

La gestión de los desechos sólidos, es de importancia fundamental a la hora de planificar ciudades y comunidades que sean sostenibles y saludables. Sin embargo, con el crecimiento urbano, se ha producido, a su vez, un crecimiento significativo de los desechos, convirtiéndose, la gestión de los mismos, en todo un reto, debido a su fuerte impacto ambiental.

Según el informe de 2018 de El Banco Mundial, los desechos provenientes de la industria son 18 veces mayores que los que generan los municipios. Los residuos de la construcción y demolición, no se quedan atrás, pues suponen 1,68 Kg per cápita al día.

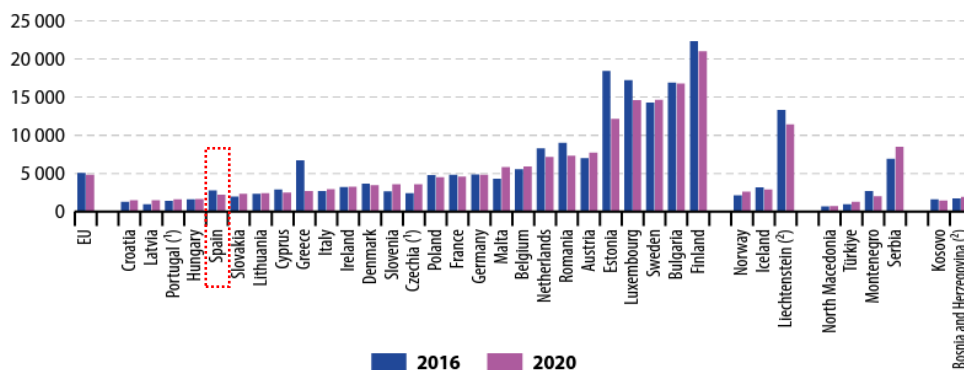


Fuente: Banco mundial.

“What a Waste 2.0: A global Snapshot of Solid Waste Management to 2050”

En el siguiente gráfico podemos visualizar a nivel europeo, la generación de residuos de cada país y su comparativa entre el año 2016 y 2020. Donde comprobamos un ligero descenso de los residuos generados de media en Europa. Estos datos, pertenecen al Eurostat edición 2023, “Sustainable development in the European Union”. Sin embargo, este ligero descenso de los residuos en 2020, podría estar vinculado a la paralización de la actividad económica por causa de la pandemia COVID-19. Aun así, nos encontramos en un momento donde la concienciación sobre los desechos que generamos, es vital para avanzar hacia un futuro más comprometido con la sostenibilidad.

Figure 12.12: Generation of waste, by country, 2016 and 2020 (kg per capita)



(¹) Break(s) in time series between the two years shown.

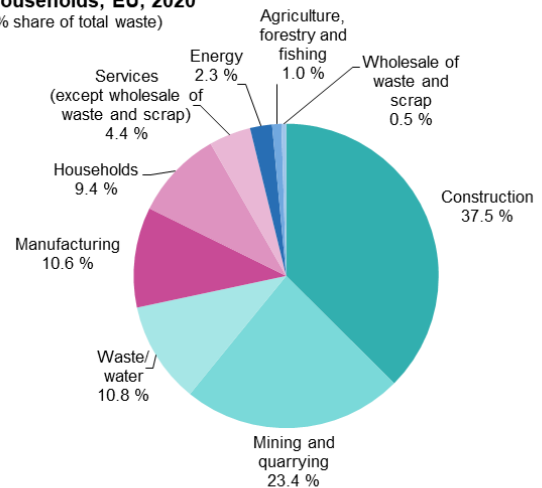
(²) 2018 data (instead of 2020).

Source: Eurostat (online data code: [sdg_12_51](#))

Generación de residuos por países, 2016 y 2021. Kg per cápita. (Eurostat, 2021)

En el siguiente gráfico, podemos apreciar, dentro de los residuos generados, qué porcentaje corresponde a las diferentes actividades económicas. Comprobamos, que los residuos generados por el sector de la construcción, minería y canteras, suponen los mayores porcentajes.

Waste generation by economic activities and households, EU, 2020
(% share of total waste)



“De la generación de residuos de construcción y demolición, solo el 19% se valorizan mediante reciclaje y compostaje, el 11% se trata mediante incineración moderna, pero la mayoría de los residuos se eliminan en algún tipo de vertedero (37%) o se tiran a cielo abierto (33%)”

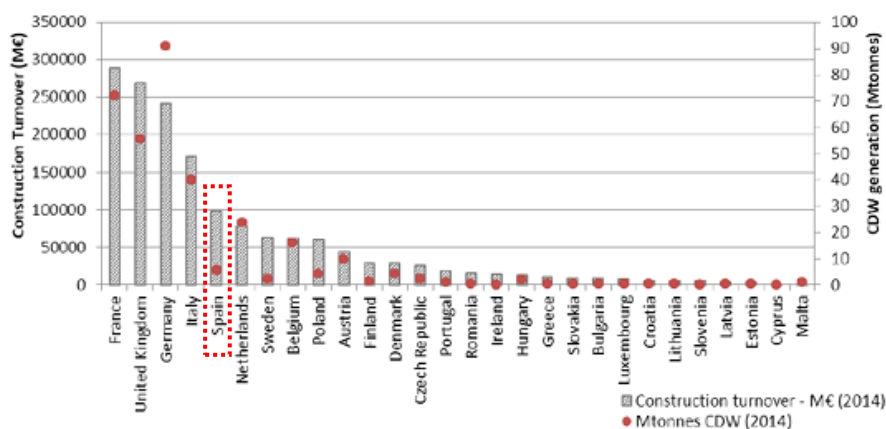
Artículo “Una Palabra (o dos) sobre residuos” Stone Cycling

Source: Eurostat (online data code: env_wasgen)

eurostat
(Eurostat, 2023)

Esta gestión irresponsable de los residuos, produce un gran impacto ambiental. No solo a nivel de contaminación de suelos donde son vertidos, si no las emisiones de CO₂ que se generan por su gestión.

La media de reciclaje de RCD en la Unión Europea llega aproximadamente al 50%. Encontramos países como Dinamarca, Alemania, Países Bajos, Irlanda y Estonia, que cumplen con los objetivos del plan 98/2008/CE. Sin embargo, España no llega a los niveles requeridos, siendo la tasa de reciclaje por debajo del 40%.



Porcentaje de RCD reciclado sobre el total generado en la Unión Europea en 2014 (Eurostat, 2017)

. RCD: Residuos de la Construcción y Demolición

. 98/2008/CE: Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas

Por tanto, la Unión Europea, ha desarrollado un plan de acción para la transición ecológica, basado en el modelo de economía circular, que supone un paradigma en la producción y el consumo, ya que fomenta la reutilización, el alquiler, la renovación o el reciclaje de los productos y servicios existentes, en la medida de lo posible, generando un valor añadido a los mismos. De esta manera se crea un ciclo de vida del producto más extenso.

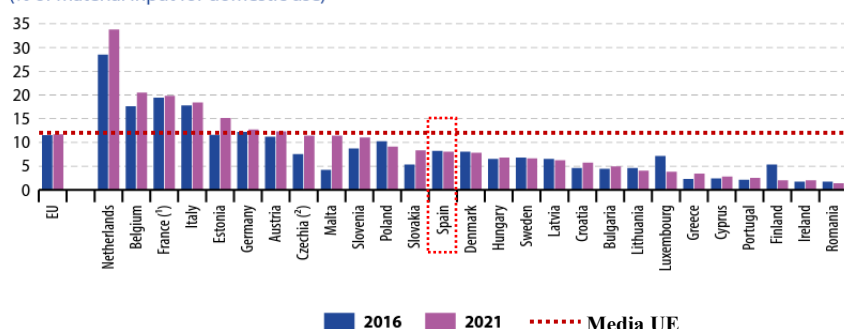
Este modelo, supone una alternativa al actual modelo de economía lineal, basado en la noción del “usar y tirar”, el cual genera una cantidad masiva de productos de bajo coste y energía de fácil acceso. Esto implica, una obsolescencia inminente y califica a este modelo de insostenible.

“El nuevo Plan de Acción para la Economía Circular, adoptado en marzo de 2020, es uno de los principales pilares del Pacto Verde Europeo. La transición de la UE a una economía circular reducirá la presión sobre los recursos naturales y fomentará el crecimiento y el empleo sostenibles. También es un requisito previo para alcanzar el objetivo de neutralidad climática de la UE para 2050 y detener la pérdida de biodiversidad. El Plan de Acción anuncia iniciativas a lo largo de todo el ciclo de vida de los productos, destinadas a reducir la huella de consumo de la UE y a duplicar el índice de uso circular de los materiales de la UE de aquí a 2030. El Plan se centra en cómo se diseñan los productos, promueve los procesos de economía circular, fomenta el consumo sostenible y tiene por objeto garantizar que se eviten los residuos y que los recursos utilizados permanezcan en la economía de la UE durante el mayor tiempo posible”

Fuente: Revisión de la aplicación de la política medioambiental 2022. Informe sobre ESPAÑA. ©Unión Europea, 2022

En el siguiente gráfico podemos apreciar una comparativa por países, sobre el índice de uso circular de los materiales tanto en 2016, como en 2021. Podemos observar una mejora en Países Bajos, Bélgica o Estonia. Sin embargo, en España no apreciamos un cambio significativo, encontrándose por debajo de la media de la UE del 12,8 %.

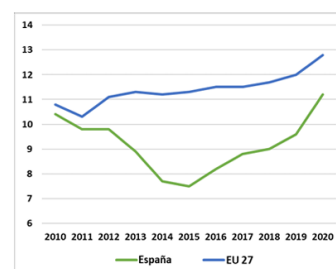
Figure 12.10: Circular material use rate, by country, 2016 and 2021 (% of material input for domestic use)



Note: 2021 data are provisional estimates.
 (*) 2016 data are provisional.
 (†) Break(s) in time series between the two years shown.
 Source: Eurostat (online data code: [sdg_12_41](#))

Porcentaje de uso circular en los materiales, por países, 2016 y 2021 (Eurostat, 2021)

Gráfico 1: índice de uso circular de los materiales (%), 2010-2020¹



Porcentaje de uso circular de los materiales, en España, 2010 a 2020.

(Revisión de la aplicación de la política medioambiental 2022 – España)

“Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) suponen más de un tercio de los residuos generados en la Unión Europea (hasta un 35 % según el nuevo PAEC de 2020). Estos residuos en muchos casos no terminan valorizándose adecuadamente, por lo que el MITERD desarrollará un marco normativo que fomente la aplicación de la jerarquía de residuos, incentive la demolición selectiva y la separación en origen, potencie tratamientos que obtengan materiales con elevada calidad gracias a la identificación y trazabilidad de los RCD, garantizando la protección de la salud y del medio ambiente, especialmente respecto a determinadas sustancias peligrosas tales como las fibras de asbestos.”

Fuente: 3.2.7. Nuevo marco jurídico para la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. I PLAN DE ACCIÓN DE ECONOMÍA CIRCULAR 2021-2023. ESTRATEGIA ESPAÑOLA DE ECONOMÍA CIRCULAR. © Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)

Según el artículo 2, del Real decreto 105/2008, por el cual se regulan la gestión y producción de residuos de la construcción y demolición, entendemos por residuos:

a) Residuo de construcción y demolición: cualquier sustancia u objeto que, cumpliendo la definición de «Residuo» incluida en el artículo 3.a) de la Ley 10/1998, de 21 de abril, se genere en una obra de construcción o demolición.

b) Residuo inerte: aquel residuo no peligroso que no experimenta transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas, no es soluble ni combustible, ni reacciona física ni químicamente ni de ninguna otra manera, no es biodegradable, no afecta negativamente a otras materias con las cuales entra en contacto de forma que pueda dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana. La lixiviabilidad total, el contenido de contaminantes del residuo y la ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes, y en particular no deberán suponer un riesgo para la calidad de las aguas superficiales o subterráneas.

c) Obra de construcción o demolición: la actividad consistente en:

1.º La construcción, rehabilitación, reparación, reforma o demolición de un bien inmueble, tal como un edificio, carretera, puerto, aeropuerto, ferrocarril, canal, presa, instalación deportiva o de ocio, así como cualquier otro análogo de ingeniería civil.

2.º La realización de trabajos que modifiquen la forma o sustancia del terreno o del subsuelo, tales como excavaciones, inyecciones, urbanizaciones u otros análogos, con exclusión de aquellas actividades a las que sea de aplicación la Directiva 2006/21/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de marzo, sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas.

Se considerará parte integrante de la obra toda instalación que dé servicio exclusivo a la misma, y en la medida en que su montaje y desmontaje tenga lugar durante la ejecución de la obra o al final de la misma, tales como:

Plantas de machaqueo,

plantas de fabricación de hormigón, grava-cemento o suelo-cemento,

plantas de prefabricados de hormigón,

plantas de fabricación de mezclas bituminosas,

talleres de fabricación de encofrados,

talleres de elaboración de ferralla,

almacenes de materiales y almacenes de residuos de la propia obra y

plantas de tratamiento de los residuos de construcción y demolición de la obra.

d) *Obra menor de construcción o reparación domiciliaria: obra de construcción o demolición en un domicilio particular, comercio, oficina o inmueble del sector servicios, de sencilla técnica y escasa entidad constructiva y económica, que no suponga alteración del volumen, del uso, de las instalaciones de uso común o del número de viviendas y locales, y que no precisa de proyecto firmado por profesionales titulados.*

Fuente: Artículo 2. Definiciones. [Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.]

RCD de origen cerámico

Los escombros de origen mixto o cerámico, pueden provenir de dos fuentes diferenciadas:

- Residuos provenientes de la demolición de estructuras de edificación. En España los residuos por demolición de edificaciones suponen un 80%. Dentro de este tipo, se engloban distintos materiales como, ladrillo, ladrillo silico-calcáreo, mezclados o no con hormigón y pudiendo contener un elevado porcentaje de impurezas.
- Piezas cerámicas descartadas en fábricas, por no cumplir las especificaciones. La cantidad de estos desechos es muy inferior a la anterior. Se tratan por tanto de materiales muy homogéneos. En torno al 5 – 10% de los ladrillos son rechazados por las fábricas por no cumplir la normativa. Y son tratados de acuerdo al PNIR, Plan Nacional de Residuos industriales no peligrosos.

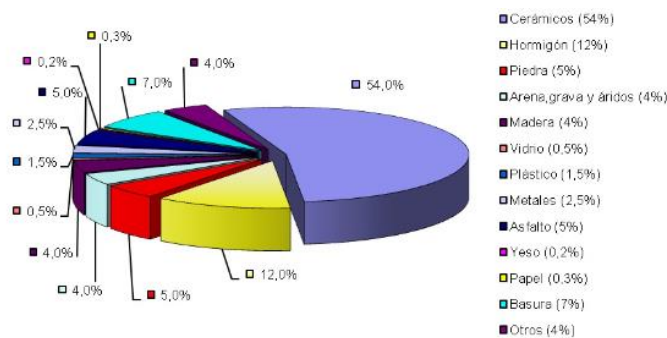


Figura 1: Composición de los residuos de construcción y demolición

Composición de los RCD. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico

La reutilización de residuos de origen cerámico se lleva poniendo en práctica desde hace años, en algunos sectores. Uno de los ejemplos que encontramos es en la fabricación de tierra batida para las pistas de tenis.

La estructura interna de las pistas de tierra batida se divide en tres estratos, que suponen unos 350kg de material, siendo un 60% de los mismos reciclados.

El estrato más profundo es la capa de drenaje, está formado por grava, que presenta varios residuos, como tejas y fragmentos de ladrillos. El siguiente estrato está formado por áridos y el más superficial está conformado por al menos dos toneladas de polvo de arcilla.

El gerente de Celabasa, fabricante de tierra batida desde 1984, relata que, en 1880, en la Riviera Francesa, se inició la construcción de pistas de tierra batida moliendo ollas de barro defectuosas. “Los ingleses que veraneaban allí querían jugar al tenis, el nuevo deporte de moda entre las clases altas, pero el clima no ayudaba, el césped se secaba, se encharcaba o se embarraba. Observaron como en una alfarería cercana se utilizaban los restos de ollas, cazuelas o cacharros de cocina rotos para poder transitar por los caminos y se les ocurrió utilizar esta arcilla sobre las pistas de tenis embarradas. Descubrieron que se podía jugar los días cálidos, la pelota botaba mejor que en el césped y, además, facilitaba el juego por ser una superficie más lenta”

Fuente: Artículo de BMI. Gabriel Castro es gerente del grupo de empresas Celabasa. “Reciclado de tejas: Del tejado de la iglesia a la pista en la que triunfa Rafa Nadal”

En el CEDEX, encontramos un Catálogo de residuos utilizables en construcción. Es posible configurarlo según residuo, comunidad y aplicación. Los procedentes de Cataluña, que podrían utilizarse en la fabricación de piezas cerámicas son:

1. Cenizas volantes: Las cenizas volantes son un subproducto de la quema de carbón en las centrales eléctricas. Se pueden agregar a la arcilla para fabricar piezas cerámicas. Además de reducir el desperdicio, las cenizas volantes también pueden mejorar ciertas propiedades de las piezas, como su resistencia a altas temperaturas.
2. Residuos de vidrio: El vidrio reciclado se puede moler y agregar a la arcilla para crear piezas cerámicas. Esto no solo reduce la cantidad de residuos de vidrio, sino que también agrega propiedades interesantes a las piezas, como brillo o efectos decorativos.
3. Polvo de ladrillo: El polvo o residuo de ladrillo triturado se puede utilizar en la fabricación de piezas cerámicas. Esto aprovecha los ladrillos rotos o desechados, reduciendo la necesidad de extraer y fabricar nuevos materiales.
4. Residuos de cerámica: Los desechos de la industria cerámica, como fragmentos de azulejos o cerámica rota, se pueden reciclar y reutilizar en la fabricación de nuevas piezas cerámicas. Estos residuos se pueden triturar y mezclar con arcilla para crear una nueva pasta cerámica.



Centro de Estudios y experimentación de Obras públicas (CEDEX), Ministerio de Transportes, Movilidad y agenda Urbana.

5 Contexto de aplicación: Escuelas de primaria públicas, Barcelona

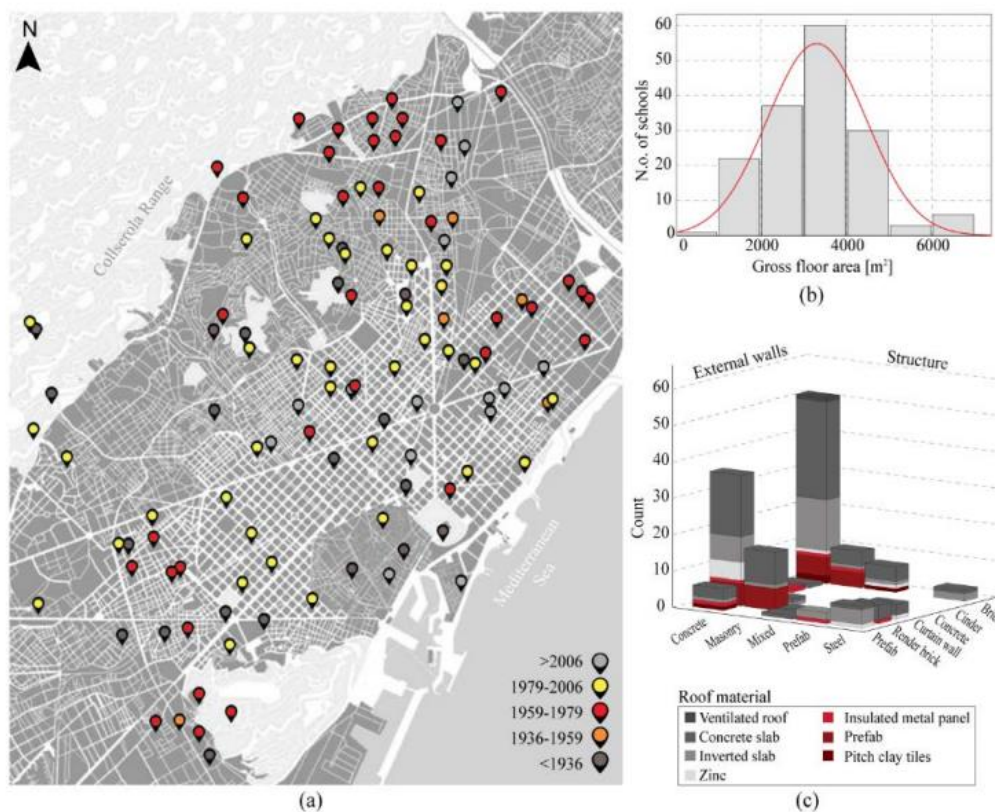
Este análisis está basado en la Tesis Doctoral “Passive mosaic energy optimization: toward free-running school buildings” de M.^a Gabriela Ledesma H. Esta aborda el reto del descenso del consumo energético, poniendo el foco en los centros educativos, ya que la rehabilitación de los mismos, no supone un coste tan elevado como los edificios residenciales o comerciales. La motivación para mejorar las instalaciones educativas radica en las deficiencias presentes en la calidad ambiental interior y su asociación con el rendimiento en el aprendizaje. Debido a que gran parte de los centros educativos, tienen una antigüedad media de 40 años, presentan degradaciones en sus envolventes, ocasionando que las aulas no cumplan con las prestaciones térmicas requeridas. Produciéndose, un consumo energético incesante por parte de sistemas activos y prácticas de gestión ineficientes, convirtiendo a los edificios educativos, en grandes consumidores de energía.

Para acotar el radio de estudio, la tesis se centra y realiza una comparativa entre escuelas de primaria públicas, en Barcelona y en Quito, Ecuador.

En este trabajo tomaré como contexto de actuación, las que se encuentran en Barcelona. Concretamente la escuela escogida, será la Bernat Metge, situada en Hospitalet de Llobregat.

Barcelona cuenta con 159 escuelas primarias públicas. Donde la mayoría fueron construidas en los años 60 y 70, en la periferia urbana. En periodos posteriores fueron construidas de manera más homogénea en el territorio urbano. Estas escuelas utilizaron hormigón para la construcción de sus fachadas, alejándose de las fachadas de ladrillo tradicionales. El primer código de energía española de 1979, marcó un antes y un después en las prestaciones térmicas de estos edificios.

Podemos observar en el siguiente plano a), que las zonas periféricas, albergan un gran número de escuelas de antes de 1979. En el gráfico b) vemos representada el área de suelo de las mismas, teniendo la mayoría entre 3000 y 4000 m² de superficie. En el grafico c) observamos los materiales estructurales y de fachada que las conforman, siendo el hormigón el más utilizado.



Barcelona's public-school buildings (a) construction period map, (b) gross floor area of schools, (c) construction system and envelope materiality. (Pag 38)

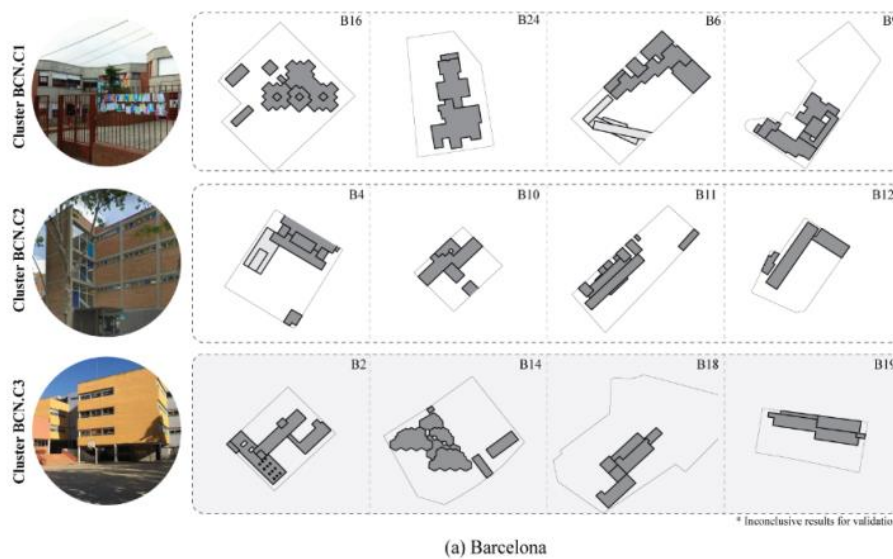
“Schools prior to 1979 have an average energy use intensity (EUI) of 100 kWh/m² year, encompassing heating, lighting, plugs and service 21osai heating loads. These schools do not have mechanical ventilation or air conditioning systems which is why the most common problems reported in energy audits are dampness, overheating and glare.”

“Los colegios anteriores a 1979 tienen una intensidad media de uso de la energía (EUI) de 100 kWh/m² año, que engloba las cargas de calefacción, iluminación, enchufes y calentamiento del agua de servicio. Estos colegios no disponen de ventilación mecánica ni de sistemas de aire acondicionado, por lo que los problemas más comunes que se señalan en las auditorías energéticas son la humedad, el sobrecalentamiento y el deslumbramiento”

p.22 – 2.2 Educational building stocks – 4º párrafo

A su vez la tesis, realiza una clasificación según la tipología constructiva, utilizando el “*clustering k-means algorithm*”. Clasificándolas en tres grupos:

- BCN – C1: Edificios compactos de poca altura, con un atrio o patio central. Son de forma escalonada o irregular. Su estructura es de hormigón o muros de ladrillo sin aislar y cubiertas ventiladas. En algunos casos, los edificios tienen cubiertas inclinadas de teja cerámica.
- BCN – C2: Edificios lineales de media altura. Con circulaciones unidireccionales. La estructura es a base de forjados de hormigón o forjados planos de hormigón invertido.
- BCN – C3: Edificios de altura media de multi bloque. El cerramiento vertical está aislado, debido a la materialidad de la fachada o las renovaciones que hayan tenido ligar.



Sample of school building typologies showcasing the reference buildings and randomly selected individuals. (pag 41)

Concretamente en este trabajo, analizaré como caso de estudio el proyecto de *Roof to Facade* en la Escuela de Bellvitge, que correspondería al grupo 2. Y la propuesta de combinación, será de la escuela Bernat Metge, que corresponde al grupo 1. Las justificaciones térmicas, análisis de confort y prestaciones, provienen de esta tesis.

6 CASOS DE ESTUDIO:
Fachadas con materiales cerámicos dentro del concepto de economía circular.

6.1 Soluciones de control solar en proyectos de fachada. Proyectos reales

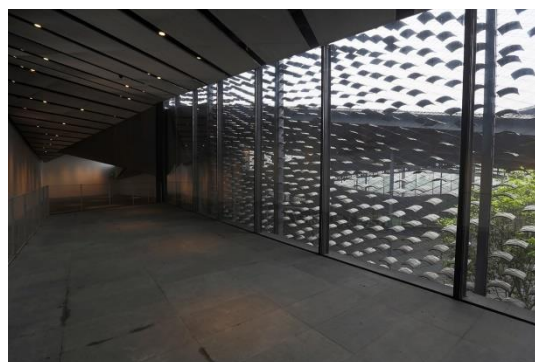
Academia China de Arte Popular, Kengo Kuma (2015)

El proyecto, se basa en una división geométrica, formando paralelogramos, que se van adaptando a la compleja topografía, del antiguo campo de té, donde se asienta el edificio. Cada unidad, se cierra en cubierta, con tejados individuales de teja local, evocando un pueblo donde los tejados de teja, se extienden sobre la topografía.

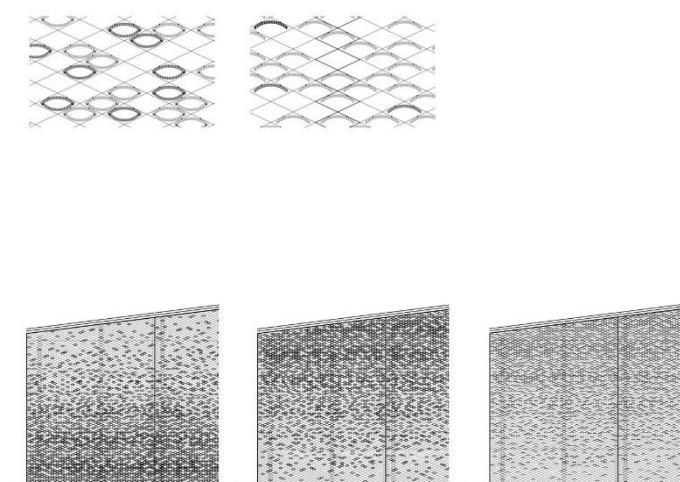
La cara exterior de la fachada está formada por una malla de cables de acero inoxidable donde se albergan tejas cerámicas, que tamizan la luz, en las estancias interiores.

Las tejas antiguas, tanto las de cubierta, como las de fachada, proceden de antiguas viviendas locales. Su variedad de tamaño y color ayuda a crear un panorama que se funde con el entorno natural.

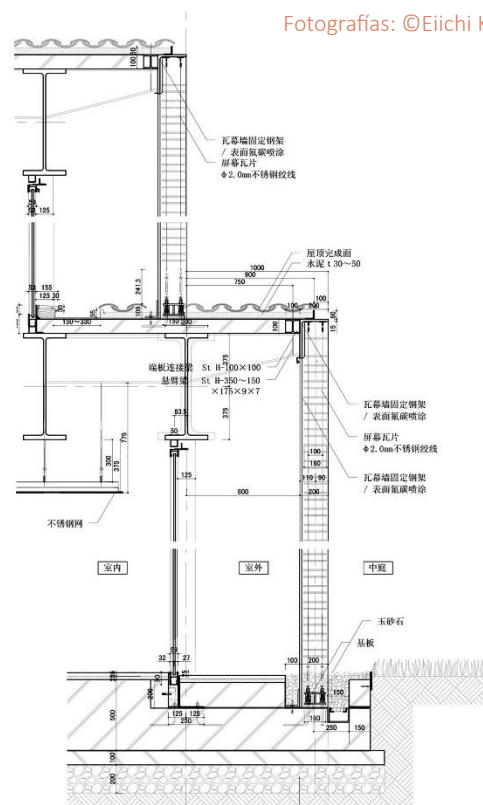
La estructura es a base de pilares y vigas de acero. En sección podemos apreciar como la cubierta se adelanta 80cm, dando lugar a un pasillo que queda cerrado por la doble malla. La disposición de los cables de acero es en diagonal, albergando las piezas cerámicas, que están ancladas mecánicamente y son fijas. El peso propio de la pantalla es considerable, por lo que cuenta con una subestructura exterior anclada al suelo, y en la planta superior alineada con la estructura portante del edificio.



Fotografías: ©Eiichi Kano



Detalle 1: Detalle malla Kengo Kuma & associates



Detalle 2: Kengo Kuma & associates

Clay Roof House, DRTAN LM (2015)

Es un proyecto de reconstrucción de una vivienda familiar, donde para proteger la fachada de la radiación directa, se reutilizaron las antiguas tejas de terracota, preexistentes, ya que se encontraban la mayoría robustas y en perfecto estado.

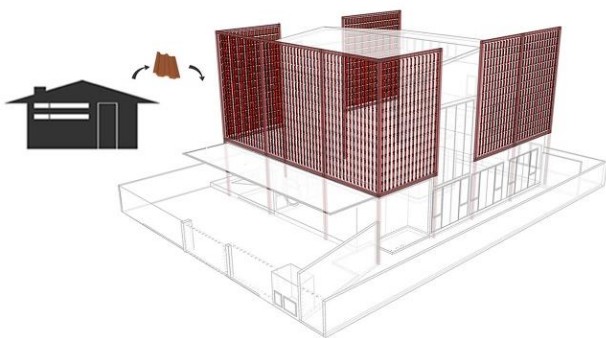
Las tejas se retiraron con cuidado, para evitar roturas y poder ser reutilizadas. El edificio es abrazado por un cubo que lo rodea y protege de la radiación, formado por una celosía cerámica y barras de acero verticales, que albergan las tejas de arcilla. Esto reduce la ganancia solar a través de ventanas y puertas de vidrio.

Las barras de acero, recorren la fachada en altura, viéndose interrumpida su sección longitudinal por soportes soldados a la misma, donde se apoyan las pletinas que albergan, mediante anclajes mecánicos, las piezas cerámicas. Al estar la pletina inferior apoyada, y no anclada al soporte de la barra, cada pieza cerámica gira de manera independiente en su eje vertical, condicionadas por las corrientes de aire, o de manera manual, según conveniencia. Esto crea un conjunto, cambiante y ondulado, que dota a la fachada de una gran riqueza visual.

La estructura de la vivienda es de hormigón armado, y cuenta con una subestructura metálica en la cara externa, que envuelve el edificio y se ancla en el suelo. Albergando así, la piel exterior de la fachada de barras basculantes y celosía cerámica.



Fotografías: ©H.Lin Ho



Diagrama, "Brise- Soleil", DRTAN LM



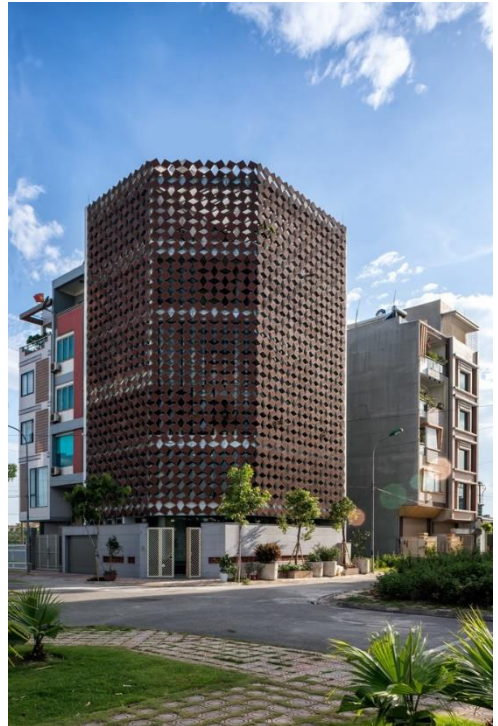
Properly Breathing House, H&P Architects (2015)

El edificio se encuentra en Hanoi, Vietnam, en un distrito suburbano que tiende hacia el uso máximo de superficie construida, dando lugar a áreas urbanas congestionadas.

El proyecto consiste en un edificio de viviendas en dúplex, donde la fachada de doble piel, permite que el edificio “respire adecuadamente”. La fachada está compuesta en su capa interior por paneles de vidrio, una cámara de aire ventilada, y en la capa exterior una pantalla de paneles de ladrillos cerámicos reciclados de 40cm x 40cm, con la función de mitigar la radiación directa.

Los paneles de la capa externa de la fachada, están formados por una estructura metálica, donde los huecos romboidales quedan vacíos y los cuadrados albergan las piezas cerámicas. Esta estructura metálica esta soldada a unas planchas metálicas, que anclan la estructura de los paneles al forjado del edificio.

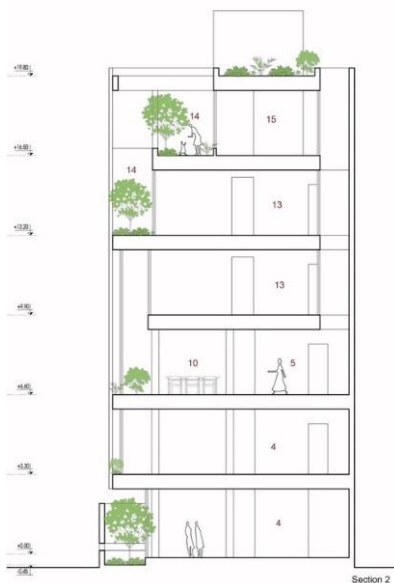
La fachada crea un juego de luces en el interior del edificio, además de actuar como control de la radiación solar. Las piezas cerámicas de la fachada están fijas y actúan a modo de celosía.



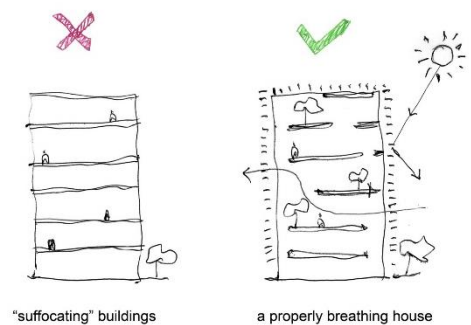
Fotografías: ©Nguyen Tien Thanh



Fotografías: ©Nguyen Tien Thanh



Sección H&P Architects



"suffocating" buildings

a properly breathing house

Diagrama H&P Architects

La Colmena, Luigi Rosselli + Raffaello Rosselli (2017)

El proyecto es un edificio de oficinas, situado en Surry Hills, Australia. La colmena explora la reutilización y revalorización de un producto desechado, como es la teja de terracota. Se comprobó que estas no tenían un mercado específico tras ser desechadas, a pesar de su gran calidad y buen estado.

El diseño de la fachada se llevó a cabo mediante la experimentación en taller y la creación de diferentes prototipos hechos a mano, a escala 1:1. De esta manera se pudo explorar la teja en diferentes direcciones y adecuar la configuración de las diferentes franjas de la fachada, según su función.

En la fachada encontramos un patrón que va de forjado a forjado, que contiene tres configuraciones diferenciadas. Por un lado, la hilera donde las tejas forman un ángulo más agudo, estas se encuentran en la base del patrón, apoyadas en el forjado, y son las que más fuerza tienen. También sirven para tapar las juntas. Encima de estas, encontramos tres hileras de tejas que forman triángulos equiláteros, estas se encuentran en la franja del ojo, y debido a los huecos que crean, favorecen la vista interior-exterior. Por último, en la parte superior del patrón encontramos una hilera de tejas colocadas en diagonal y orientadas a norte (recordemos que nos encontramos en el hemisferio sur, y por tanto el norte es la orientación que más radiación solar recibe)



Fotografía: © Ben Hosking



Fotografía: © Prue Ruscoe

Diagrama fachada
Luigi Rosselli, Raffaello Rosselli

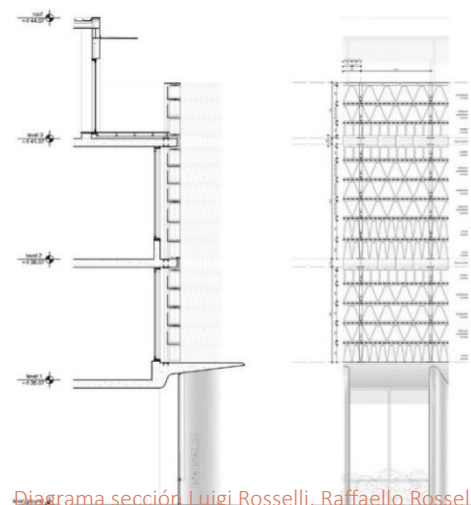
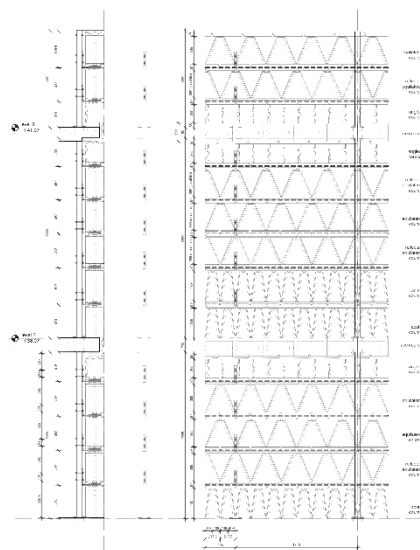


Diagrama sección Luigi Rosselli, Raffaello Rosselli

Fotografía: © Callum Coombe

Flexi brick – Empresa de tejidos cerámicos

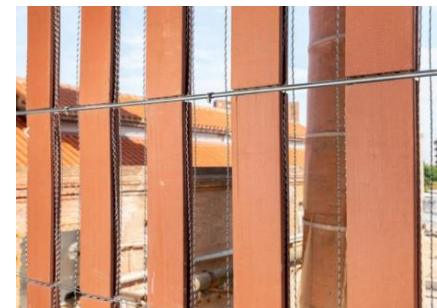
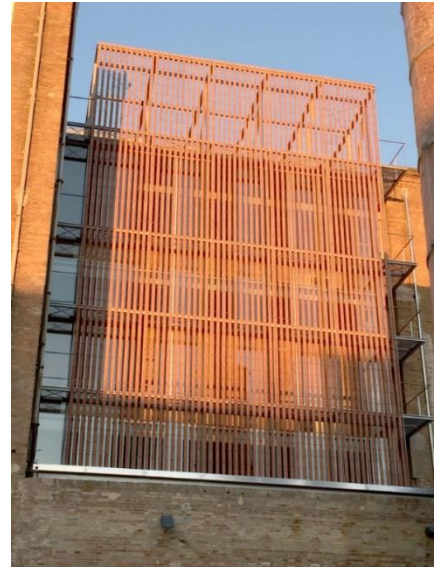
Ampliación de **Fabra & Coats**, Barcelona (2012), de la mano de los arquitectos Manuel Ruisánchez y Francesc Bacardit.

En la fachada norte se proyectó una cortina hecha de piezas cerámicas tejidas con cables de acero. Dispuestas por filas verticales, a lo largo de la fachada y colocadas de manera alterna.

La fachada norte presenta una galería en altura, permitiendo que la luz llegue a las plantas bajas, esta se cierra con un muro cortina en su cara interna. Seguidamente encontramos las plataformas de mantenimiento, y en la cara externa la cortina cerámica.

Las piezas cerámicas, no son recicladas y se hacen en taller, se trata de piezas alargadas con perforaciones verticales en el interior, para aligerarla y reducir su peso propio. En los extremos presenta unas hendiduras por donde pasan los cables de acero que sujetan las piezas.

La pantalla se cuelga desde la cubierta, mediante una subestructura metálica y se fija a las plataformas de mantenimiento, reduciendo su ondulación.



Fotografías: © Simón García

Ampliación **Escuela Teresianas – Ganduxer**, Barcelona (2014), Pich Architects.

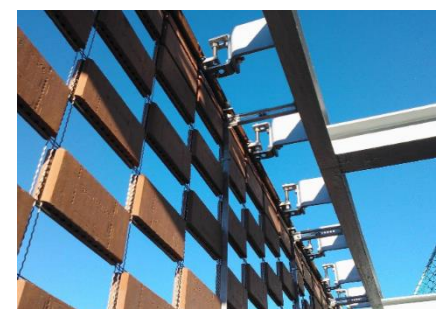
La ampliación respeta tanto en distancia, como en altura, el edificio modernista, proyectado por Gaudí. Para que el conjunto hablara un lenguaje común, se utilizó un tejido cerámico, en la fachada de la calle, Creando una doble piel, que tamiza la entrada de luz.

Se propuso una estructura metálica colgada, que dota a la ampliación de una planta diáfana. El tejido cerámico, cuelga de la estructura en cubierta y cae a modo de cortina, estando anclada en los soportes de las plataformas de mantenimiento.

A diferencia de Fabra & Coats, las piezas cerámicas están dispuestas a modo de tablero de ajedrez, es decir, de manera alterna tanto en filas, como columnas.

En taller se construyen tramos del tejido, que posteriormente in situ, son colgados de la estructura.

Presenta dos tamaños de cables, los más finos que tejen las piezas y unos montantes y travesaños tubulares para crear continuidad y unir los tramos entre sí.



Fotografías: © Simón García

6.2 Soluciones de control solar en proyectos de fachada. Proyectos teóricos

Roof to Facade

Es una propuesta vinculada al proyecto WISER, hecha por Anna Fruh, David Lopez Navarro, Diana Terzieva Isuí, Aracely Rodriguez, Kenan Akhverdiev, Santiago Fonseca Guardiola, Sergio Bernier Gonzalez y Xingyu Zhang.

La propuesta tiene como objetivo, mejorar las prestaciones térmicas y de control solar, de la escuela de Bellvitge, que justificado con la tesis "Passive 28osaic energy optimization: toward free-running school buildings", no cumple con los requerimientos de confort térmico en el aula, y por tanto emplea un uso elevado de energía. Para lograrlo, añaden una piel exterior en la fachada, mediante el ensamblaje horizontal de elementos individuales (tejas) creando una capa exterior porosa. Las tejas árabes, provienen de desechos de la construcción o de fábricas. Empleando así el modelo de economía circular, para crear una solución de bajo coste y efectiva. Además, el hecho de no utilizar un material adhesivo entre piezas, permite desmontar la subestructura y reutilizar las tejas, al final de su vida útil.

Tipo de RCD:

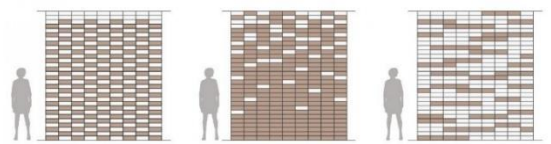
- áridos de albañilería reciclados (arcilla)
- metales reciclados (montaje/construcción)
- plásticos reciclados

La estructura que alberga las tejas, va anclada mecánicamente en los forjados, repartiendo así el peso propio y las cargas horizontales.

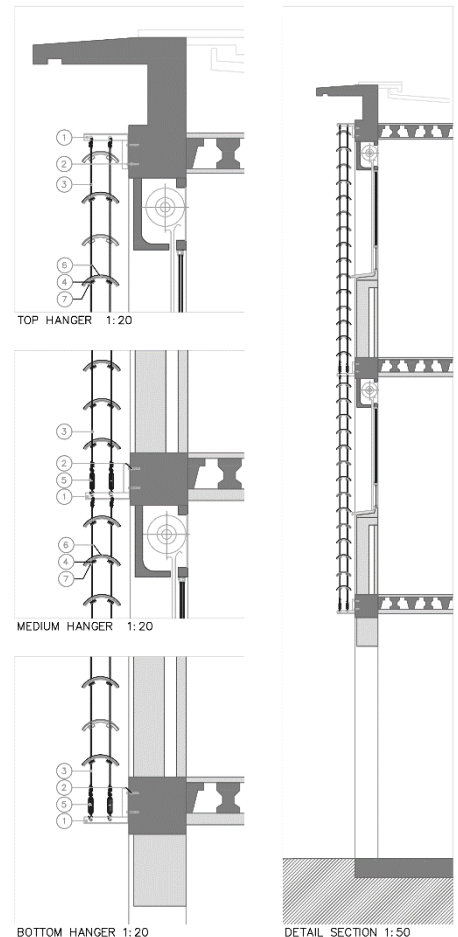
El elemento de sujeción de las tejas al cable metálico, es una pieza metálica y plásticos reciclados, que permiten modificar la inclinación de la teja, según la estación del año, para una mayor efectividad.



Vista de la propuesta

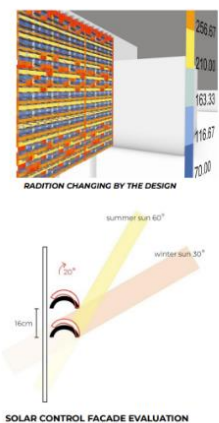


Patrón sombreado



SPECIFICATIONS

- HANGER – Support made galvanized steel sheet, laser cut, folded and welded, dimensions to be defined according to structural analysis of the proposal
- ANCHOR – Expansion anchor for concrete with DIN-933 screw, Class 6.9 in galvanized steel, dimensions to be defined according to structural analysis of the proposal
- CABLE – 3 mm thick AISI-316 stainless steel stranded wire rope
- CABLE TIE – Cable clamp for cable fixing in galvanized steel A4 or stainless steel AISI-316 with double bolt
- TENSOR – Tensor made of galvanized steel, M6 type, with adjustment up to 10 cm. and tension up to 25 kg.
- TILE – Arabic tile or prefabricated clay tile, perforated to be hung on the facade system, coated with 90% TiO2 solution.
- PROTECTOR – PET bottle cap to protect the clay piece from vibration and friction.



Diagramas



Detalle constructivo

Sección constructiva

6.3 Soluciones de fachada sin función de control solar. Proyectos reales.

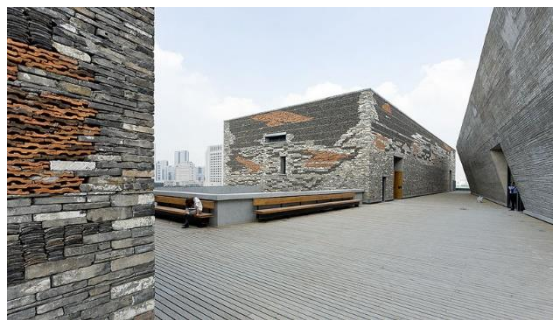
Ningbo Historic Museum (Wang Shu, Amateur Architecture Studio – 2008)

El proyecto está ubicado en el distrito de Yinzhou, a las afueras de la ciudad de Ningbo, al sur de China. Su disposición volumétrica, está inspirada en las montañas vecinas, ya que los muros de fachada presentan una ligera inclinación con respecto a la vertical.

El edificio está hecho a base de hormigón y piezas cerámicas recuperadas, tras un tifón que asoló la zona, causando graves daños en las edificaciones cercanas.

El aparejo, es conocido como *wapan*, método de construcción que conforma un muro heterogéneo, que incorpora más de veinte tipos de piezas cerámicas diferentes. La edificación presenta también encofrados de hormigón armado, sobre superficies de bambú.

Para construir los muros, fueron necesarias multitud de maquetas a escala y la supervisión constante de encargados, ya que no se sabía el tipo de material que iría llegando a la obra.



Fotografías: © Iwan Baan

Capilla San Bernardo (Nicolás Campodónico – 2015)

La capilla se sitúa en la Pampa argentina. En el emplazamiento se situaba una antigua casa rural y sus establos, los cuales fueron deconstruidos para reutilizar los ladrillos centenarios que los componían.

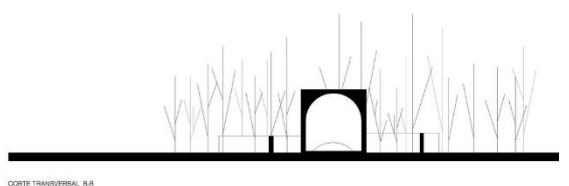
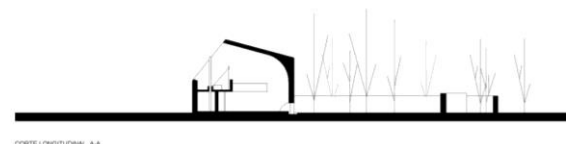
La percepción exterior, es que el edificio se trata de un prisma macizo, sin embargo, en el interior adopta un forma curva y abovedada, inspirada en la construcción de los hornos de carbón tradicionales, lo que permitió una rápida puesta en obra y ejecución.

Un gran hueco se abre en la fachada de poniente, donde se encuentran dos maderos independientes, donde su sombra se va proyectando en el interior de la capilla, hasta que llega el atardecer, donde ambas sombras se encuentran, formando una cruz.

Los ladrillos de la bóveda, quedan alineándose el centro de la esfera interior, de forma, que todas las piezas cerámicas trabajan a compresión. Se empleó un compás tradicional, para calcular la inclinación de las tiradas y que los ladrillos quedaran bien enrasados en la parte vista.



Fotografía: Nicolás Campodónico



Secciones, Nicolás Campodónico

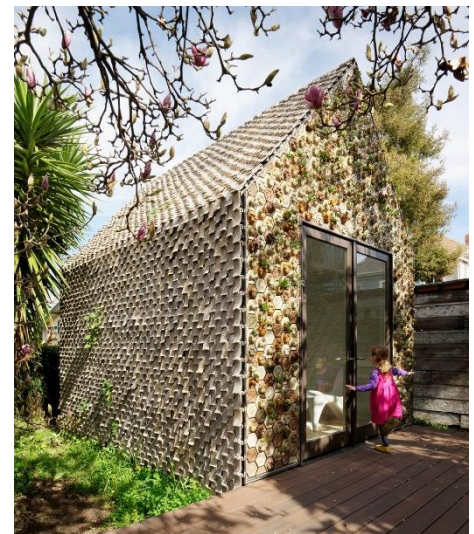
La cabaña de las curiosidades impresas en 3D (Ronald Rael and Virginia San Fratello – 2018)

Este proyecto, pone en común la experimentación en materiales, software y hardware, de Emerging Objects, demostrando que un edificio que resista a la intemperie y de estructura sólida se puede lograr mediante la fabricación aditiva.

Nos encontramos en el norte de California, en Oakland, donde se fomentó la construcción de viviendas secundarias o cabañas en los patios traseros, debido a una emergencia de vivienda.

La fachada frontal está compuesta por baldosas hexagonales que albergan pequeñas macetas, donde habitan plantas autóctonas. Se utilizan materiales como cemento portland, aserrín y orujo de chardonnay.

La cubierta y las fachadas laterales, están revestidas con una piel exterior de cerámica impresa en 3D y funciona a modo de pantalla de lluvia. Los mosaicos de Seed Stitch, están diseñados para un fácil montaje. Visualmente emulan el tejido, punto semilla. Creando una textura rizada que parecen semillas esparcidas sobre la superficie de la fachada. Esta cabina, demuestra que la impresión 3D en arquitectura, puede estar bien elaborada y ser un escenario donde probar y experimentar con nuevos materiales.



Fotografías:
Matthew Millman



Fet de terra

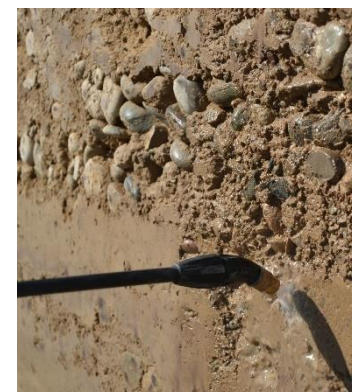
Lo compone, la arquitecta Maite Sainz De La Maza y el Ingeniero Geólogo Macari De Torres. Son técnicos especialistas en arquitectura de tierra y asesores acreditados en eco – innovación, diseño de producto y desarrollo tecnológico. Trabajan con diversas áreas de investigación, búsqueda y creación de nuevos productos y sistemas constructivos a base de tierra.

Sus materiales son 100% reciclables y de bajo coste energético. Trabajan con bloques estructurales de tierra comprimida prefabricados en taller, asegurando un cumplimiento de la normativa, bloques de tierra comprimida in – situ, restauración por erosión controlada de muros de tapial y la creación de paneles prefabricados de tierra y madera.

Encontramos proyectos como Earth Box, que es un módulo de 27 m² habitables, que responde al concepto de construcción mínima sostenible y asequible, para vivienda, trabajo y ocio.



EarthBox,- Fet de Terra



Restauración por
erosión controlada
de muro de Tapial
- Fet de Terra

SAVASCO

Proyecto de investigación que explora y demuestra la aplicabilidad de los sistemas constructivos desarrollados, evalúa su puesta en obra y fabricación y estudia la explotación de los prototipos como herramientas de investigación o de apoyo pedagógico.

El prototipo 1, es en la Escuela de Arquitectura del Vallès (ETSAV) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

El prototipo 2, se encuentra en Pôle Génie Civil Construction Durable- IUT Université Toulouse III Paul Sabatier (UPS)

Ambos prototipos son de unos 20 m², siendo la estructura de madera y los cerramientos desarrollados por SAVASCO. Se trabajan con cuatro sistemas constructivos, adecuándose al contexto climatológico de cada lugar.

El prototipo de la Etsav, está compuesto por:

- Muro A: bloques de tierra aligerada (BTA), revestido con corteza y arcilla
- Muro B: Paneles prefabricados de gran formato (tapial aligerado), revestidos con corteza y arcilla.
- Muro C: Panel aislante de medula y biopolímeros, además de un sistema SATE.
- Muro D: sistema de fachada ventilada, compuesta de granulado de medula, aislamiento insuflado en cámara, medula y cal, y mortero aligerado.

El prototipo Tarbais está compuesto por:

- Cubierta de chapa de acero
- Estructura de madera. Cerramientos de madera cortada y ensamblada en taller.
- Base: Losa con cuatro montantes.

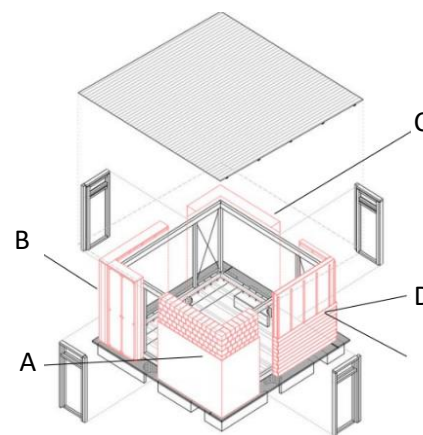
El relleno de los muros fue a base de:

- Soportes temporales de OSB, paneles rígidos de fibra de madera y Cañas de juncos.
- De aglutinantes, se utilizó arcilla (E/L=1) y cal formulada.
- Los agregados fueron cascara de semillas de girasol y girasol triturado.

Para un aporte extra de aislamiento se optó por:

- Dos aislamientos adicionales, Paneles rígidos de fibra de madera y paneles de núcleo de origen 100% biológico.
- Se colocaron paneles enrollables de 20cm x 20cm x 6cm y sobre las cañas cubiertas de tierra.

SAVASCO EtsaV



SAVASCO Tarbais



6.4 Estudio del material. Residuos compatibles con la cerámica.

Stone Cycling, colaboraciones

Cuyo creador, Tom Van Stoest, ha desarrollado un método que pulveriza materiales de desecho que provienen de la construcción y demolición, como vidrio, hormigón, ladrillos, desechos cerámicos procedentes de inodoros y lavabos, mediante el uso de una batidora especial, convirtiéndolos en polvo.

La cadena de producción comienza en la demolición, donde se recogen los materiales adecuados para el proceso de transformación y recuperación.

Mediante la mezcla y cocción de los polvos, procedentes de residuos de la construcción, Tom Van Stoest, su creador, fabrica nuevos productos similares a la piedra, sin añadir aglutinantes artificiales. Las posibilidades de aplicación son muy amplias, desde fachadas, azulejos para tejados y cocinas, hasta revestimiento de suelos, paredes, alfeizares de ventana o encimeras de cocina.

Stone Cycling ya colabora con diferentes empresas para seguir innovando en la construcción de economía circular, entre ellas se encuentra *Drystack*.

“Drystack es una solución para la construcción circular con una mínima emisión de CO2. Es un método de construcción mediante el cual las estructuras se construyen con piedras sin ningún tipo de mortero para unirlos. Puede compararlo con la técnica de piedra seca / piedra apilada en seco que se usaba tradicionalmente para los límites de campos y cementerios, o como muros de contención para terrazas en toda Europa.”

Para seguir innovando en sus “recetas”, trabajan de la mano de *Studio Mixtura*, donde a la cabeza se encuentra la química de diseño Daria Biryukova,

“Comienzo cada proyecto con una profunda investigación y análisis de todos los ingredientes que aparecen después de los procesos de producción o reciclaje. Este enfoque me permite trabajar con una amplia gama de industrias y colaborar con expertos de diferentes disciplinas. Una vez que recopilo todos los datos, comienzan la mezcla y el emparejamiento”.

Es importante para construir materiales provenientes de RCD, contar con un proveedor, que hace de intermediario entre los vertederos y los estudios. Uno de los que trabaja con *Stone Cycling* y *Studio Mixtura* es *Abo Globals*, que los provee de subproductos procedentes de la industria metalúrgica, cuya reutilización es muy limitada.

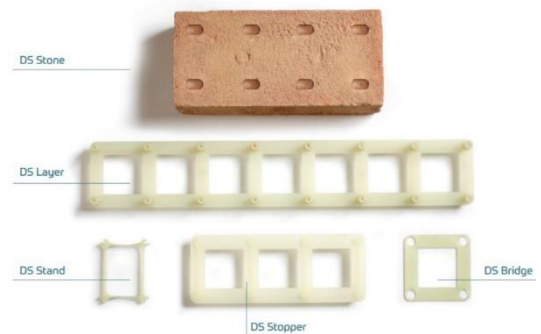
Características:
Medidas: 600mm x 600mm x 8mm
Waterproof
Fireproof, non-combustible



Sands End Arts & Community Centre –
Mæ Architects



RCD pulverizados, StoneCycling



Prototipo- Drystack + StoneCycling



WasteBasedGlacedBricks® –
Mixtura Studio + StoneCycling

Blood brick

Es un ladrillo diseñado por Jack Munro, Arthur Mamou-Mani, Toby Burgess y Universidad de Westminster, Londres.

Está hecho a base de bioadhesivos procedentes de sangre animal desechada en los mataderos, ya que esta sangre, no tiene una salida industrializada en la producción de alimentos. Este desecho es uno de los bioadhesivos más fuertes, por su alto contenido en albúmina, que funciona como un fuerte aglutinante.

A lo largo de la historia de la humanidad ha sido utilizada como adhesivo, debido a su alta resistencia al agua, en comparación con la caseína.

Estos residuos de procedencia animal, podrían ser un gran recurso para la construcción, ya que no requieren en su fabricación productos químicos de elevado coste económico o la necesidad de procesos como álcalis desnaturizantes.

El ladrillo se fabrica mediante la mezcla de los residuos de sangre, con un conservante y un anticoagulante, tras la extracción. Seguidamente esta mezcla se liofiliza, para obtener un polvo, que será mezclado con arena en proporción 1:4, creando una pasta densa. Esta, será vertida en una duna de arena, siguiendo la técnica de vertido en cresta o en moldes con forma de ladrillo. Para que a sangre coagule y se evapore el exceso de agua, se secan exponiéndolos al sol o mediante hornos solares.

Características:
Medidas: 500mm x 120mm x 40mm
Densidad: 1.300 kg/m ³
R. a compresión: 115.42 KPa



Burgess, Toby,
University of Westminster, London, UK

Green leaf brick

Diseñados por el Instituto tecnológico de Massachusetts, USA. Estos ladrillos están compuestos por un 30% de aguas residuales procesadas, óxidos de hierro reciclado, vidrio reciclado, residuos minerales, chatarra, cerámica y subproductos de explotaciones mineras, como es el polvo industrial de la infiltración.

El ladrillo es inodoro, ya que se cuece a más de 1.030°C y se muestra competitivo frente a ladrillos convencionales.

El proyecto Vault201, utilizó los Green leaf bricks. Se trata de una construcción de mampostería de cascara fina, inspirado en las técnicas constructivas de Rafael Guastavino (finales S.XIX), también conocida como bóveda catalana, ya que el uso de un mortero de rápido fraguado, minimiza la cantidad de material.

La geometría deriva de una serie de arcos catenarios, donde la totalidad de las fuerzas se transmiten por compresión axial. Las tensiones internas de la bóveda son muy bajas y la estructura tiene una estabilidad considerable.

Características:
Medidas: 194 mm x 92 mm x 25 mm
Densidad: 2.380 kg/m ³
R. a compresión: 112 MPa



Green Leaf Brick, Charlotte, NC, USA

Vbc 3000

Estos ladrillos están hechos a partir de lodos de depuradoras con un grado de sequedad del 65% y subproductos arcillosos. La mezcla se cuece a temperaturas que oscilan entre los 1.000 y 1.200 °C, según el tipo de arcilla utilizada.

Durante el horneado, la mineralización de los componentes orgánicos, crea unas bolsas de aire, que reducen peso propio de la pieza y, por ende, su densidad.

Los ladrillos además de ser más ligeros que los convencionales, tienen altas propiedades térmicas y acústicas.

Todos los metales pesados presentes en los lodos, quedan atrapados en la matriz cerámica.

Además de ladrillos, también se fabrican agregados de arcilla expandida, como hormigón ligero.

Características:
Medidas: Personalizadas, según proyecto
Densidad: baja
Alto aislamiento térmico y acústico



Vbc 3000 brick, Enterprise Innovante,
Ferrières-en-Bray, France

6.5 Análisis y comparativa de los casos explicados

Control Solar en fachadas

Proyecto // caract.	Academia China De Arte Popular	Clay Roof House	Properly Breathing House	La Colmena	Flexi Brick	Roof to Facade
Tipo Teja	árabe	Terracota mixta	plana	Terracota mixta	Plana perforada	árabe
Peso fachada	ligera	pesada	pesada	pesada	ligera	ligera
Anclaje	Doble malla cruzada diagonalmente	Barras de acero con soportes	Estructura metálica soldada	Apoiada forjado	Colgada desde cubierta	Cable con subestructura anclada a forjado
Móvil	no	si	no	no	no	si

Fabricación de muros

Proyecto // caract.	Ningbo Historic Museum	Capilla San Bernardo	Cabaña curiosidades impresas 3D	Fet de terra	SAVASCO
Tipo pieza	20 tipos diferentes	Ladrillo cerámico cuerpo completo	Impresas en 3D y baldosas hexagonales	Tapial y tierra comprimida	. bloques tierra aligerada . tapial aligerado . panel medula y biopolímeros . granulado de médula
Economía circular	reutilizado	reutilizado	Posibilidad componentes reciclados	Componentes reciclados	Componentes reciclados
Técnica constructiva	<i>Wapan</i> Encofrados de hpmigón armado	forma curva y abovedada Tipo horno tradicional	Sistema de revestimiento Piezas ancladas a perfiles	Bloques estructurales tierra comprimida	. (BTA), revestido con corteza y arcilla . Paneles prefabricados tapial revestidos . Paneles + SATE . Fachada ventilada

Tipo de Material

Proyecto // caract.	StoneCycling	Drystack + StoneCycling	Mixtura Studio + StoneCycling	Blood brick	Green leaf brick	Vbc 3000
Tipo pieza	Ladrillo macizo	Ladrillo macizo con hendiduras	Ladrillo macizo	Terracota mixta	plana	Terracota mixta
Residuo	vidrio, hormigón, ladrillos, porcelana	Desechos cerámicos	vidrio	Sangre animal	Aguas residuales de la industria	Lodos de depuradoras
Anclaje	mortero	Piezas unión en seco	mortero	mortero	mortero	Mortero o anclajes

6.6 Priorización casos escogidos y descartados

Los casos escogidos son una combinación de la Academia China de Arte Popular, Flexi Brick y Roof to facade, con los materiales inspirados en Stone Cycling.

Justificación casos escogidos:

- **Academia China de Arte Popular, Kengo Kuma**, utiliza una doble malla de cables de acero ancladas en el forjado directamente superior y a tierra. De esta forma, no se sobrecarga la estructura. Además, reutiliza el material, sin tener que fabricar piezas nuevas para el proyecto. Estas características cumplen con los términos de sostenibilidad, economía circular y compatibilidad estructural.

Contras: al ir ancladas a la malla, no tienen movilidad, ni son regulables. Quedaría una disposición fija.

- **Flexi brick**, Como estrategia constructiva presenta una estructura de acero, con unas pletinas ancladas al forjado superior, a la cubierta y a las pasarelas de mantenimiento, presentes en cada tramo de forjado. Las piezas cerámicas son muy ligeras al estar perforadas, ya que no tienen una función estructural. Son prefabricadas, presentan una fácil colocación en obra y gran cobertura de fachada, mejorando sus prestaciones térmicas.

Contras: Las piezas cerámicas se fabrican de cero, especialmente para cada proyecto. Además, el edificio, tiene que contemplar en el proyecto, la colocación de esta malla, dificultando la instalación de la misma en la escuela Bernat Metge, por no estar preparada para soportar ese peso adicional.

Propuestas: Se podría plantear una composición del material de origen reciclado, para cumplir con las premisas de economía circular. En cuanto al tema estructural, en vez de que la malla quede colgada de cubierta y anclada a forjados, se podría reconfigurar la sujeción, para que esta fuera anclada a tierra y apoyada en forjados. De esta manera, no se sobrecargaría tanto, la estructura del edificio.

- **Roof to facade**, este proyecto teórico, lo tomo como referencia, porque cumple con todos los objetivos de este trabajo. Cumple una labor social en la escuela de Bellvitge, actúa como barrera de protección solar y reutiliza materiales de desecho como cables de acero y tejas cerámicas descartadas en fábricas o procedentes de derribos. Estas características cumplen con los términos de sostenibilidad y economía circular. Este prototipo tiene cierto grado de movilidad, ya que la inclinación de las tejas se puede regular según la estación anual.

Contras: Al ser un edificio de antes de 1979, y su estructura no esta prevista para esa adición de peso, quizás esta propuesta sobrecarga demasiado la estructura del edificio, teniendo en cuenta que la cerámica y en general los materiales de origen pétreo tienen un elevado peso propio.

Propuesta: Se podría replantear la estructura que sujeta los cables de acero para que esta, estuviera anclada al suelo y apoyada en los forjados, o diseñar un marco de perímetro igual a la fachada, que estuviera por delante de esta y fuera autoportante. En este marco se albergaría el sistema de cables y piezas cerámicas.

Justificación planteamiento de material escogido:

- **StoneCycling**, Su objetivo principal y lo que marca la diferencia de su producto, es la procedencia de residuos de la construcción y demolición, en la composición de sus piezas cerámicas. Esto cumple con los objetivos del trabajo, al ser residuos procedentes de la industria de la construcción y de km 0.

Contras: Las piezas poseen una elevada densidad y un gran peso propio, por tanto, es posible que sean demasiado pesadas para ser utilizadas como piel exterior de fachada con función de control solar.

Propuesta: Se podría cambiar la forma de las piezas, haciéndolas más finas o perforándolas, y eligiendo áridos en su composición, que mejoren sus prestaciones. Otra opción sería hacerlas con forma de teja árabe, ya que son bastante ligeras.

Justificación casos descartados. Proyectos con función de control Solar:

- **Clay Roof House**, se descarta por ser un sistema muy pesado para la fachada y costoso. Sin embargo, es interesante la reutilización del material, su posibilidad de giro en el eje longitudinal de la pieza y la posibilidad de que las barras llegaran a tierra para no sobre cargar la fachada, y por ende la estructura de la escuela.

- **Properly Breathing House**, se descarta al ser un sistema pesado y costoso, por la necesidad de soldar la estructura metálica donde se albergan los cuadrados cerámicos.

- **La Colmena**, se descarta por ser muy pesado, ir apoyado en cada forjado, la cantidad de material utilizado y la dificultad de ser desmontado una vez acabe su vida útil.

Justificación casos descartados. Proyectos sin función de control Solar:

Estos casos de estudio, son descartados, por funcionar como cerramientos de murarías. La estrategia constructiva tiene un elevado peso propio, además de no tamizar la luz ni la ventilación, a través de ellos. En la mayoría de casos, a excepción de “la cabaña de las curiosidades impresas”, se utilizan materiales adhesivos para la unión entre piezas, dificultando la separación y despiece, una vez acabe su vida útil, o si hay una intención futura de reutilizar las piezas para otros fines. Sin embargo, la utilización de materiales reciclados y componentes reutilizados, hace que sea interesante estudiarlos en el presente trabajo.

Justificación casos descartados. Composición material:

- **Vbc 3000**, esta propuesta innovadora, utiliza en la fabricación de sus ladrillos lodos procedentes de depuradoras, a pesar de no ser un desecho de la construcción y demolición, quería hacerle una mención, por las burbujas de aire presentes en el interior de la pieza que reducen mucho su peso propio y mejoran sus propiedades de aislamiento térmico y acústico, debido a la mineralización de las partículas orgánicas durante el proceso de cocción.

- **Blood brick**, se descarta por utilizar un desecho de origen animal, ya que el objetivo es utilizar residuos procedentes de la construcción y demolición. Sin embargo, es interesante el estudio de creación de ladrillos a base de todo tipo de desechos.

-**Green leaf brick**, esta composición se encuentra en la línea de los objetivos del trabajo, ya que los residuos proceden de actividades industriales, pero se descarta, porque en este trabajo, busco la utilización de áridos procedentes de la industria de la construcción y demolición. Además, tampoco mejora la reducción del peso propio de las piezas. Sin embargo, es interesante mencionarlo, por la posibilidad de ser un desecho reutilizado en la fabricación de nuevos elementos constructivos y que también causa un fuerte impacto ambiental.

7 Propuesta de combinación – Escuela Bernat Metge

La escuela Bernat Metge, se sitúa en el corazón de Bellvitge, en Hospitalet de Llobregat. La rápida construcción del barrio junto con la planificación deficiente, caracterizó la zona, por tener una falta total de servicios, durante los primeros años. Con el aumento de la población infantil y la movilización de los habitantes, se reclamó la creación de infraestructuras necesarias, equipamientos y un sistema de saneamiento urbano.

Las primeras escuelas del barrio, datan del año 1970. La escuela de primaria Bernat Metge, se construyó en 1976, y es una de las cuatro escuelas públicas de infantil y primaria de Bellvitge.

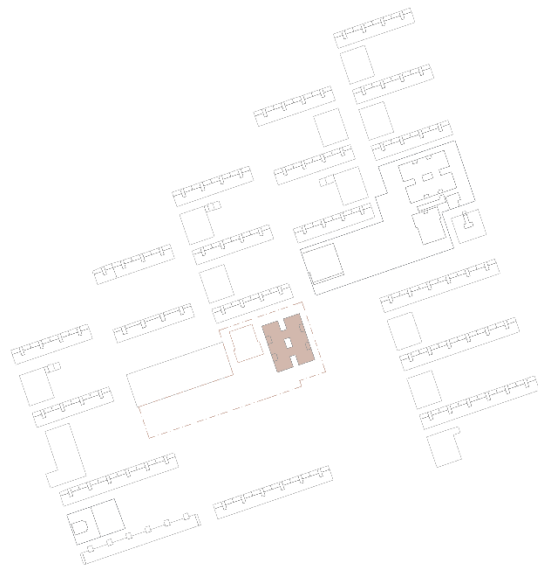
El edificio se caracteriza por estar emplazado en una zona urbana de densidad media baja y junto al paseo de Bellvitge, donde la vegetación próxima aporta una regulación térmica a la fachada noreste.

Se trata de un edificio compacto en forma de "H", con una superficie de 3.542m². Cuenta con un patio de luz interno de dimensiones reducidas. La estructura es de hormigón, los muros de ladrillo sin aislar y la cubierta ventilada. Las aberturas en fachada cuentan con ventanas de acristalamiento de vidrio simple, con marcos de aluminio y persianas enrollables exteriores.

Este edificio escolar, al ser construido antes del año 1979, es decir antes del código energético, no posee ventilación mecánica ni sistemas de aire acondicionado en las aulas. La escuela únicamente cuenta con splits en las áreas de oficina. Por tanto, debido a estas características, el edificio cuenta con carencias en sus prestaciones térmicas y presenta problemas de humedad y sobrecalentamiento.

"En 2009, el Ayuntamiento de Barcelona puso en marcha un plan de eficiencia energética para renovar las instalaciones de las escuelas, modernizar la envolvente de los edificios e instalar sistemas de gestión de edificios (SGE). Se espera que el IUE de estos edificios escolares se reduzca hasta un 30%"
 p.22 – 2.2 Educational building stocks – 4º párrafo

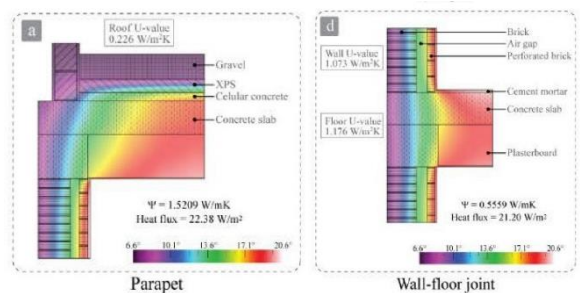
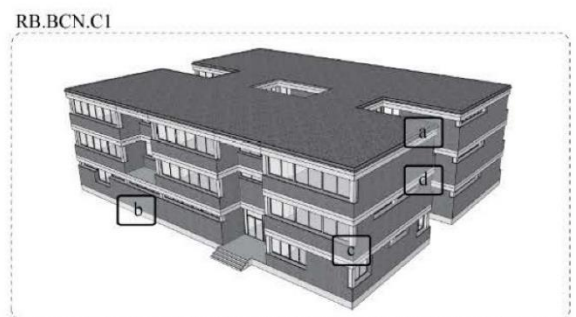
Los parámetros de ocupación del edificio, son 176 días lectivos al año, con 25 días festivos durante este término. El horario escolar es de 8h00 hasta las 17h0. Cuenta con un descanso de media hora a las 11h00 y un horario de comida de 12h30 hasta las 15h00. A partir de junio, el horario lectivo es una jornada continua de 9h00 a 13h00.



Plano situación Escuela Bernat metga – elaboración propia



Imagen escuela desde la calle França



Sección compartimiento térmico de la fachada y cubierta, tesis "Passive mosaic energy optimization: toward free-running school buildings"

El edificio cuenta con 22 aulas y 375 estudiantes. En la planta baja encontramos el hall, la biblioteca, el espacio de oficinas y tutorías, un gran comedor y la cocina. En las plantas superiores se sitúan las aulas y los espacios de educación especial. Los recorridos se hacen de manera transversal mediante dos pasillos, perpendiculares a la colocación longitudinal de los bloques del edificio y la comunicación vertical colinda con el patio interior.



Axonometría explotada de la distribución interna de la escuela, tesis "Passive mosaic energy optimization: toward free-running school buildings"

Space	Schedule	Occupancy [people/m ²]	Lighting Type	Lighting Power density [W/m ²]	Equipment [W/m ²]
Classrooms	9:00-11:00	0.5	FL	8.6	4.5
	11:30-12:30				
	15:00-16:30				
Offices	9:00-16:30	0.15	FL	6.0	15
Teachers rooms	9:00-16:30	0.15	FL	6.0	4.5
Dining room	12:30-15:00	0.2	FL	7.8	50 (kitchen)
Library	9:00-16:30	0.15	FL	7.2	3.5
Hall	8:30-18:00	0.05	FL	7.2	None
IT class	50% class schedule	0.5	FL	8.6	30

Ganancias internas según el tipo de estancia, tesis "Passive mosaic energy optimization: toward free-running school buildings"

En la fachada principal tendrá lugar la propuesta de actuación, ya que su orientación a suroeste, la colindancia con una zona abierta de patio sin vegetación y las aberturas en fachada, hacen que este bloque del edificio esté muy castigado por la radiación solar. Basándome en los casos de estudio analizados, propongo un sistema de control solar, mediante la adición de una doble capa de fachada, en su cara exterior, a modo de pantalla autoportante, que albergue piezas cerámicas, que tamicen la luz y mejoren el confort térmico.

Teniendo en cuenta que los materiales pétreos, tienen un peso propio considerable, he considerado, que la malla cuente con una estructura autoportante, para no sobrecargar en exceso la estructura del edificio. La subestructura, está conformada por tres perfiles tubulares metálicos, por los que se transmitirán las cargas del sistema. Estarán anclados tanto en la solera exterior, como a forjado, para paliar las cargas horizontales.

En cuanto a las piezas cerámicas, las trato desde dos puntos diferentes, dentro del marco de la economía circular.

- Por un lado, la creación de nuevos materiales cerámicos, utilizando en su composición residuos **reciclados** provenientes de desechos de construcción y demolición. Esta propuesta está basada en los tejidos cerámicos de la empresa *flexi brick* y la combinación de materiales de *Stone Cycling*, que son pioneros en utilizar RCD en la composición de ladrillos.
- Por otro lado, la **reutilización** directa de tejas cerámicas en perfecto estado, pero que han sido consideradas residuos tanto en demoliciones como en fábricas, por no cumplir los protocolos establecidos. Esta propuesta está basada en el proyecto *Roof to facade*.

Al estar suspendidas, sus propiedades mecánicas, pasan a un segundo plano, ya que no tienen que soportar carga alguna. Su función es actuar como protector solar y amortiguador térmico.

7.1 Propuesta 1: RECICLAJE materiales – tejido cerámico

La propuesta se sitúa en la fachada principal, orientada a suroeste. Se trata de un frente retranqueado, donde sobresalen tres volúmenes. Se colocará una subestructura porticada anclada a la solera y fijada en los forjados del edificio. Se pretende que esta sea autoportante para no sobrecargar la estructura del edificio. En los perfiles tubulares de la subestructura porticada se colocarán una serie de pletinas, que coincidan con la altura de los forjados del edificio, con un sistema de sujeción de peso propio, donde irá anclado un sistema de travesaños, de donde colgará una malla de cables trenzados de acero inoxidable de 3mm de diámetro, en sentido vertical y horizontal. En los cables de acero se irán colocando de manera alternada en ambos sentidos, piezas cerámicas rectangulares de 250x100x30mm, con unas hendiduras en su perímetro para albergar los cables. La intención es que las piezas estén aligeradas, presentando unas perforaciones en su eje vertical.

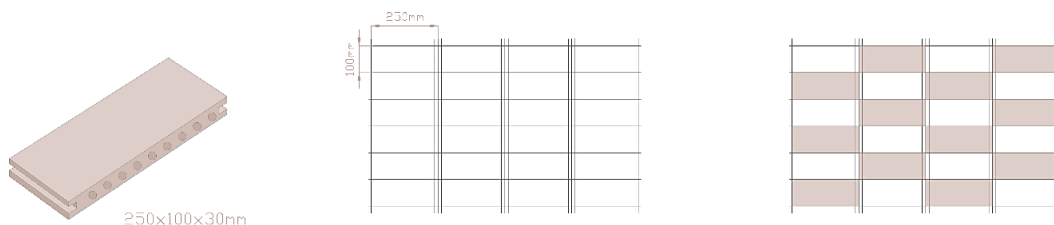
El sistema constructivo está basado en la empresa *flexi brick*, analizada como caso de estudio en este trabajo. Según el proyecto, cuenta con un sistema autoportante o que vaya anclado directamente a la estructura del edificio donde se quiere colocar. Pero para eso, tiene que haber una previsión de su colocación en la fase proyectual.

En cuanto a la composición de las piezas cerámicas, me baso en el trabajo de la empresa *Stone Cycling*, presente también en los casos de estudio del material. Esta empresa es pionera en la creación de nuevos materiales a partir de residuos de la construcción y demolición. Los residuos que manipulan son vidrio, hormigón, ladrillos y porcelana sanitaria.

Por otro lado, también cabe destacar en la composición del material, el caso de estudio de *Vbc 3000 bricks*, que utilizan lodos de depuradoras como material para la creación de ladrillos. En el proceso de cocción se secan burbujas de aire en el interior de la pieza, aligerando su peso propio.

Las innovaciones de *Stone Cycling* permitirían una mejora en las características de la pieza en cuanto a mayor protección de la misma y reducción de la erosión frente a la arcilla común. Y el modelo de ladrillo *Vbc 3000* aportaría una pieza aligerada y de menor peso propio. Cualidades favorables al ser piezas suspendidas.

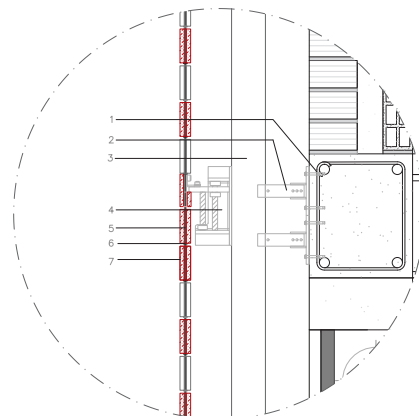
Estas iniciativas entran dentro del panorama de economía circular porque reciclan materiales de desecho que acabarían en vertederos, al no tener un sistema industrializado de reutilización o en el mar. Sin embargo, la creación de nuevas piezas y las altas temperaturas de cocción requeridas, contribuyen al aumento de las emisiones de Co2.



Esquemas propuesta tejido cerámico – elaboración propia



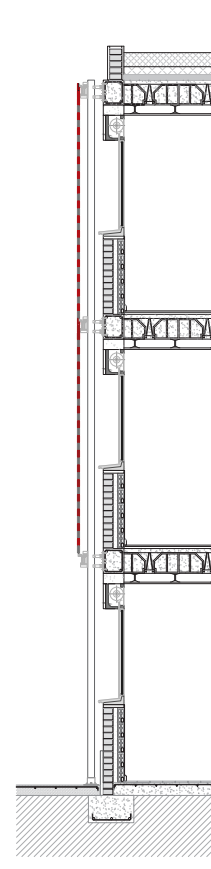
Collage propuesta tejido cerámico - elaboración propia



Detalle E1/10

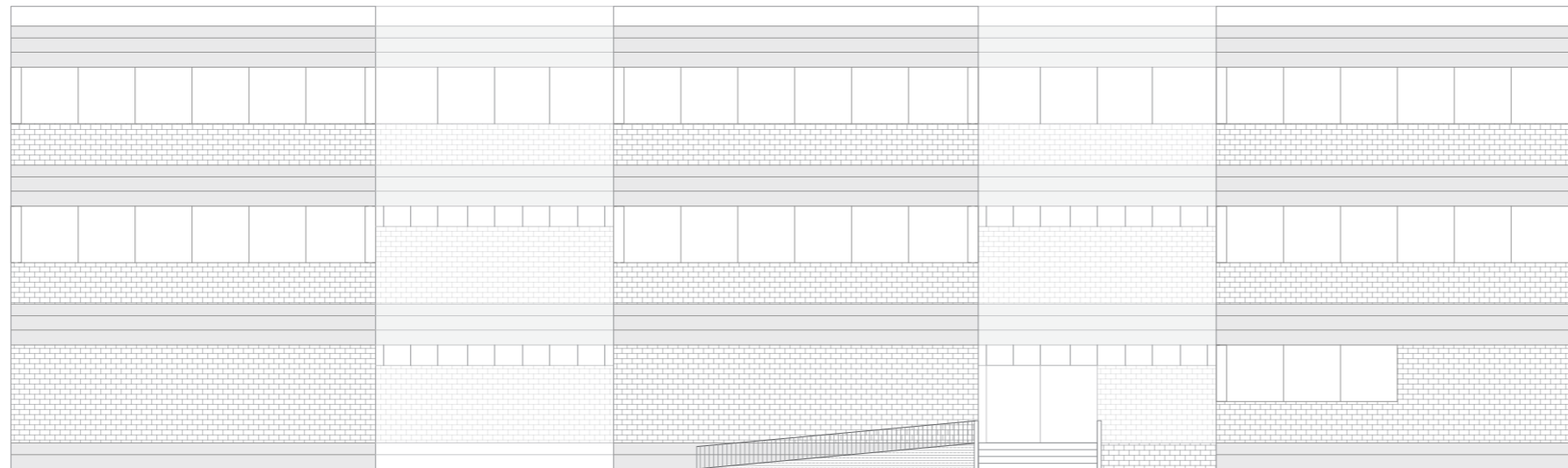
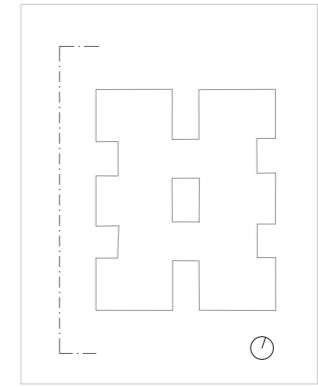
Leyenda

- 1 ANCLAJE – Anclaje de expansión para hormigón con tornillo DIN-933, Clase 6.9 en acero galvanizado.
- 2 COLGANTE sistema sujeción viento – Soporte de chapa de acero galvanizado, cortado con láser, plegado y soldado.
- 3 MONTANTE de acero – sujeción vertical anclada a tierra y a forjado.
- 4 COLGANTE sistema sujeción peso propio – Soporte de chapa de acero galvanizado, cortado con láser, plegado y soldado.
- 5 CABLE – Cable trenzado de acero inoxidable AISI-316 de 3 mm. de espesor
- 6 BRIDA – Abrazadera para fijación de cable en acero galvanizado A4 o acero inoxidable AISI-316 con doble perno
- 7 PIEZA CERÁMICA – 25x10x3 prefabricada de arcilla, perforada para colgar en el sistema de fachada, recubierta con solución de TiO2 al 90%.

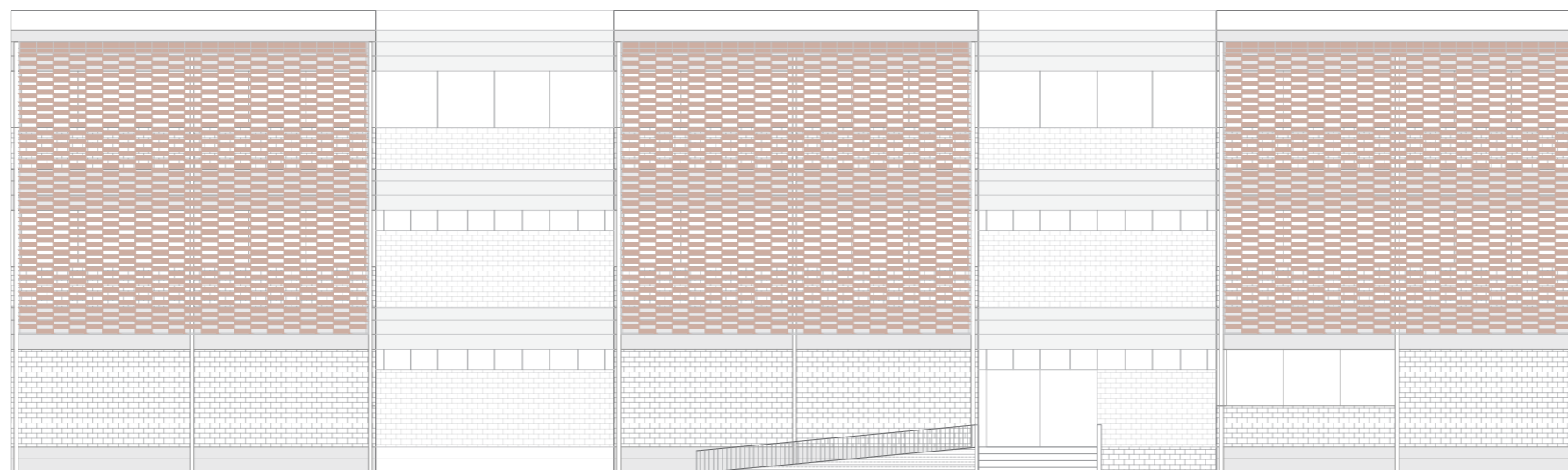


Sección propuesta tejido cerámico - elaboración propia

PROPUESTA 1 - Escuela Bernat Metje
protección solar tejido de piezas cerámicas



Alzado SD - estado actual - E:1/150



Alzado SD - propuesta - E:1/150

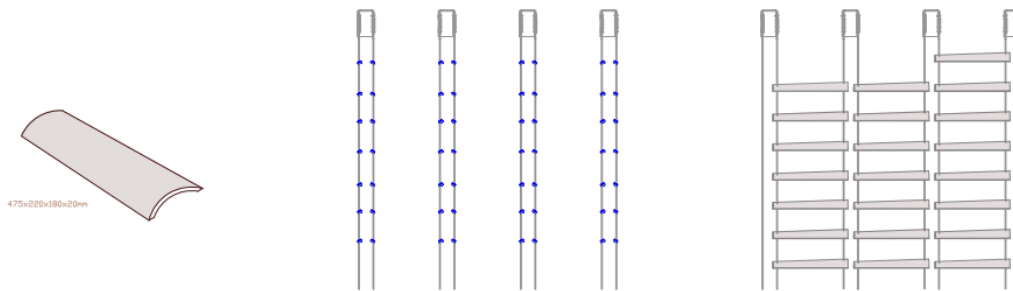


Alzado escuela Bernat Metje + propuesta tejido cerámico - elaboración propia

7.2 Propuesta 2: REUTILIZACIÓN directa de tejas cerámicas

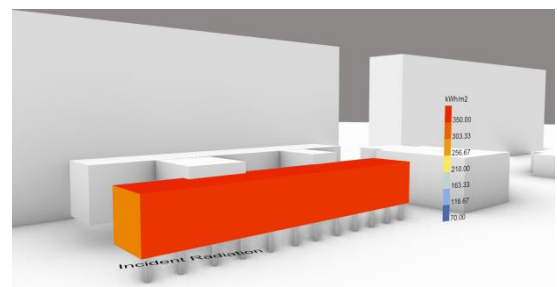
La propuesta, está basada en la reutilización directa de material en buen estado, desechado tanto en demoliciones como en fábricas.

Se localizaría en la misma fachada y siguiendo el modelo de subestructura porticada anclada a suelo y a los forjados del edificio. Se colocarían travesaños en los perfiles tubulares de la nueva estructura porticada coincidentes con la altura de los forjados del edificio. Un sistema de cables de acero, concretamente dos en cada extremo de la pieza cerámica, quedarían suspendidos de pletinas presentes en los travesaños. Los cables se colocarían únicamente en sentido vertical, donde albergarán tejas cerámicas reutilizadas y catalogadas como desecho. Para ajustar la altura de las tejas, se colocarán unas abrazaderas de cable de doble perno, además de unas piezas de plástico reciclado para evitar fricciones. Este modelo constructivo está basado en el caso de estudio de *Roof to facade*. Y es una alternativa en perfecta armonía con el modelo de economía circular, además de no producir nuevas emisiones de Co2 en la creación de nuevos materiales, por utilizar directamente los ya existentes. A las tejas, se les podría dar un tratamiento de esmaltado, en su superficie, con cuarzo líquido, para mejorar sus propiedades de durabilidad y protección de la cerámica.



Esquemas propuesta tejas – elaboración propia

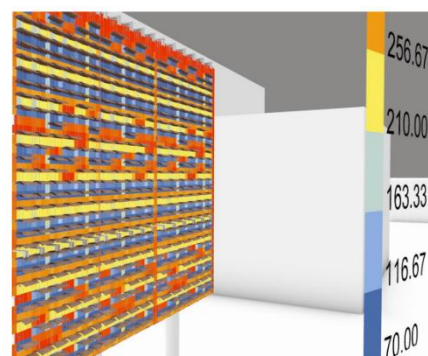
La figura muestra la radiación solar del edificio durante los meses desde febrero hasta junio. La fachada de mayor longitud recibe una cantidad más elevada de radiación solar, además de una distribución de luz bastante uniforme.



Radiación solar antes intervención – Roof to facade

En la figura siguiente, podemos apreciar, que, tras la incorporación de una nueva capa exterior a la fachada, las zonas donde se encuentran las piezas cerámicas, reducen la radiación solar en el edificio entre 116 y 256KWh/m². Por tanto, sería una propuesta efectiva, de bajo coste y que responde al modelo de economía circular, para la escuela.

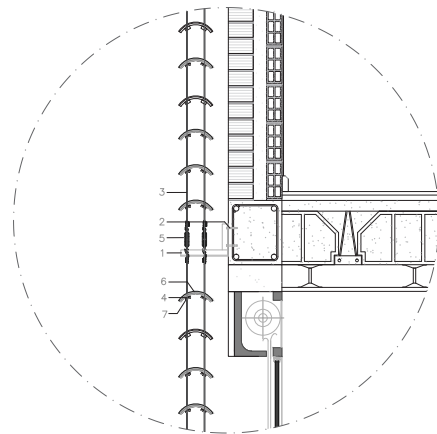
Este análisis comparativo se realizó con el programa *Ladybug*, por parte del equipo de *Roof to Facade*.



Radiación solar después intervención – Roof to facade



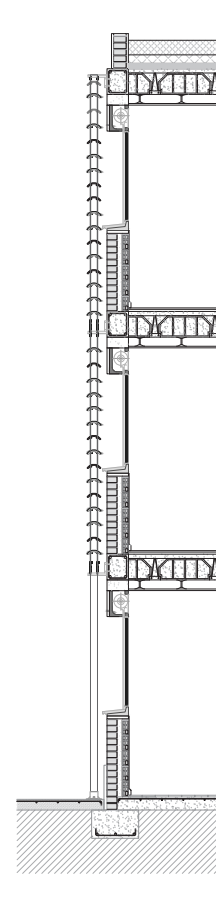
Collage propuesta reutilización tejas - elaboración propia



Detalle E1/20

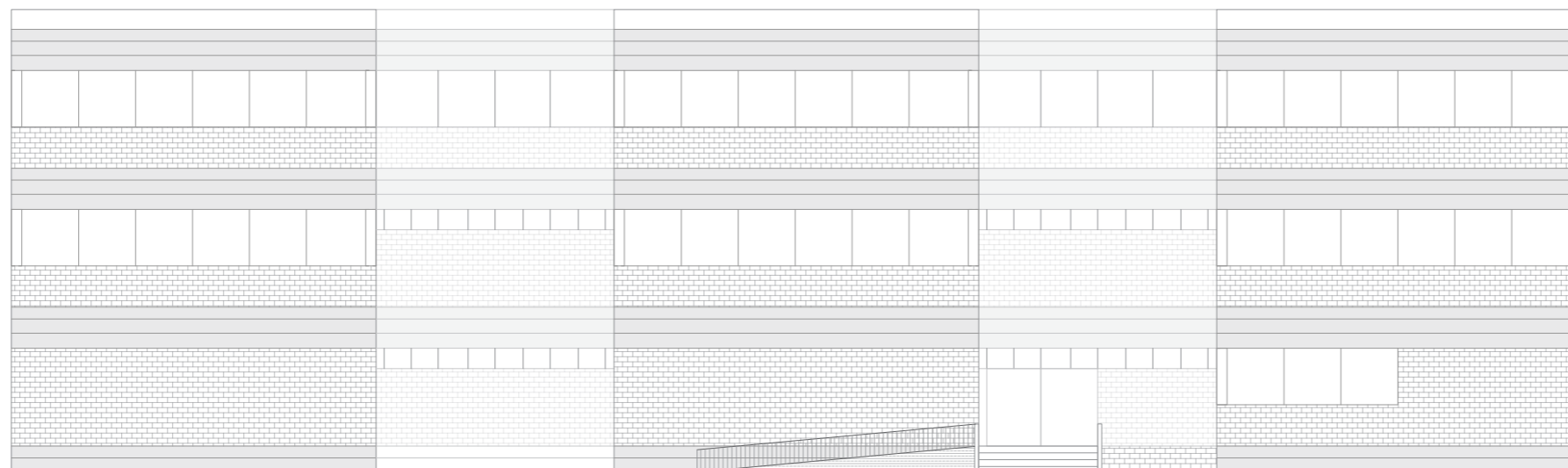
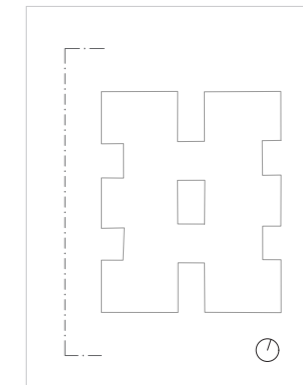
Leyenda

- 1 COLGANTE — Soporte de chapa de acero galvanizado, cortado con láser, plegado y soldado.
- 2 ANCLAJE — Anclaje de expansión para hormigón con tornillo DIN-933, Clase 6.9 en acero galvanizado.
- 3 CABLE — Cable trenzado de acero inoxidable AISI-316 de 3 mm. de espesor
- 4 BRIDA — Abrazadera para fijación de cable en acero galvanizado A4 o acero inoxidable AISI-316 con doble perno
- 5 TENSOR — Tensor de acero galvanizado, tipo M6, con regulación hasta 10 cm. y tensión hasta 25 kg.
- 6 TEJA — Teja árabe o prefabricada de arcilla, perforada para calzar en el sistema de fachada, recubierto con solución de TIO2 al 90%.
- 7 PROTECTOR — Tapón de botella, para proteger la pieza de arcilla de vibraciones y fricción.

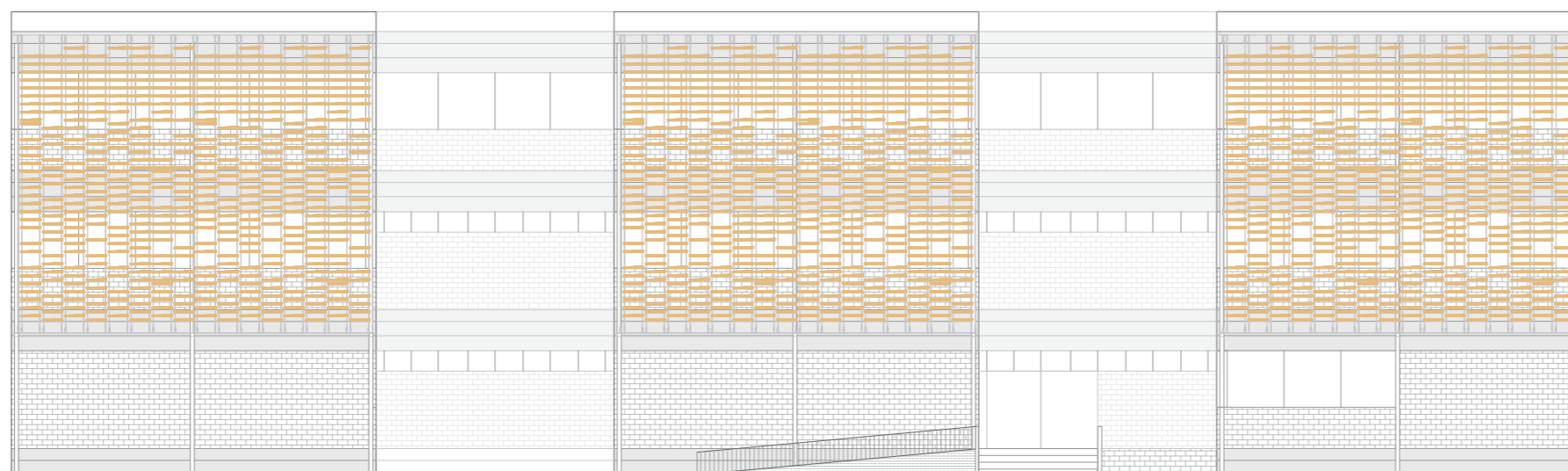


Sección propuesta reutilización tejas - elaboración propia

PROPUESTA 2 - Escuela Bernat Metje
protección solar tejas cerámicas reutilizadas



Alzado SD - estado actual - E:1/150



Alzado SD - propuesta - E:1/150



8 Elección del material

8.1 Residuos utilizados

La elección de los residuos presentes en la composición de la pieza cerámica, estará basada en el caso de estudio de la empresa holandesa *Stone Cycling*. Pioneros en la creación de nuevos ladrillos a partir de residuos procedentes de la construcción y demolición. Los materiales de desecho que revalorizan son, vidrio, hormigón, derivados cerámicos y porcelana sanitaria vitrificada.

Al ser una patente, no podemos saber con exactitud los porcentajes de RCD utilizados en cada pieza. Además de ofrecer un catálogo personalizado de textura, color y propiedades, que se amolda a cada proyecto y, por tanto, la composición cambia según las necesidades de cada uno. Es por esto, que formularemos tres hipótesis de combinación de los RCD escogidos y el tipo de arcilla que mejor se adapte a cada uno.

En los siguientes gráficos podemos apreciar los puntos donde se encuentran las principales canteras de arcilla, de cuarzo y las plantas de reciclaje que incorporan el tratamiento de RCD, en España. Observamos que los materiales para componer la pieza, se encuentran en Cataluña y por tanto respondemos a una procedencia y obtención del material de km 0. A su vez, apreciamos las escasas plantas de reciclaje de RCD en España.



Gráficos – elaboración propia

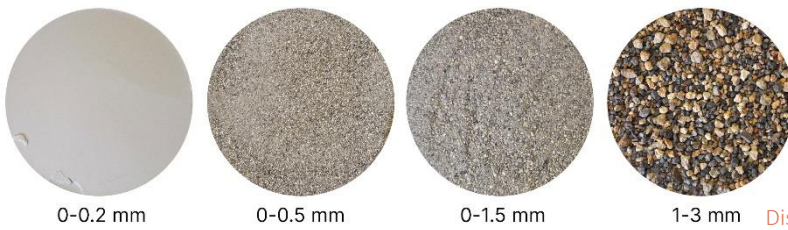
Características de los materiales a escoger

- **Arcilla común:** está formada por casi un 50% de sílice (SiO_2), un 15% de Oxido de magnesio (MgO) y un 10% de Alúmina (Al_2O_3). También pueden contener cal, álcalis y óxido de hierro en menor medida. La temperatura de cocción es de unos 900°C .
- **Arcilla refractaria:** está formada por un 73% de sílice (SiO_2), un 23% de alúmina y el resto es una mezcla de óxido férrico y titanio. Conforme aumenta el porcentaje de alúmina, los ladrillos tienen mayor densidad y soportan mayores temperaturas que los de arcilla común. La temperatura de cocción asciende a 1250°C y los 1300°C .
- **Chamota,** es un material granular que proviene de la pulverización de ladrillos, piedras refractarias y otros productos cerámicos cocidos. Se puede utilizar en la composición de ladrillos refractarios, ya que su incorporación en arcillas, reduce su encogimiento, evita posibles grietas y proporciona más sostenibilidad y ligereza a la pieza.

La chamota de 0,1mm de granulometría, se puede utilizar en la composición de cemento refractario.

“La chamota fue obtenida a partir de ladrillos aislantes refractarios porosos que cumplieron su ciclo de vida en la industria cerámica. Estos fueron sometidos a un proceso de conminución utilizando un molino de bolas hasta llevarlo a pasante malla 50.”

Artevertece, proveedores de material cerámico.



Distintas granulometrías de chamota, empresa Sio-2

- **Porcelana sanitaria vitrificada**, procedente de lavabos, inodoros y duchas, no tiene un tratamiento específico de reciclado, tras cumplir su vida útil en edificaciones. Lo que se suele hacer al llegar a la planta de reciclaje, es ser triturada para reducir el volumen del desecho y posteriormente ser depositada en un vertedero.

Sin embargo, empresas como *Roca*, reutilizan las piezas defectuosas en fabrica, y mediante un proceso de conminución, utilizan el polvo de porcelana, en la producción de sus piezas. Reduciendo así los residuos producidos en fábrica.

El polvo de porcelana triturado, compuesto de arcilla, caolín, feldespatos y sílice, es enviado a la empresa *Llansa*, que se encarga de extraer el feldespatos. Éste es enviado de vuelta a *Roca* como materia prima para ser utilizado de nuevo, en la elaboración de sus piezas de porcelana sanitaria. Reduciendo así la extracción de este compuesto químico, la cantidad de material destinado al vertedero y la apuesta por una economía circular.



Chamota, empresa Sio-2

- **Hormigón**. Mediante un tratamiento específico, se puede reciclar y volver a ser utilizado en construcción. La empresa *Hercal*, con la colaboración de la Universidad Politécnica de Cataluña y el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, han desarrollado *HERCAL ECO-CONCRETE*, la primera planta de revalorización de residuos de hormigón, cuyo objetivo era, la obtención de hormigón de alta calidad, compuesto por áridos reciclados. La misma empresa se encarga de la demolición, el tratamiento de los RCD, la creación de hormigón reciclado y su posterior puesta en obra. Las posibilidades de uso que tiene el producto son, hormigón estructural, bloques prefabricados, pavimentos, mobiliario urbano, elementos de jardinería y morteros.

El proceso de reciclaje de residuos de hormigón consiste en un lavado y cribaje, previo, una imantación para eliminar derivados férricos de las armaduras, un segundo lavado, una trituración y cribaje, y la separación de los áridos según características.

De los residuos de hormigón de obra, podemos obtener arena, “garbancillo” y grava.



Arena, garbancillo y grava reciclados.
HERCAL ECO-CONCRETE

Del proceso de reciclaje de residuos **mixtos** de la construcción, podemos obtener arena, “garbancillo” y grava mixtos.



Arena, garbancillo y grava mixtos reciclados. *HERCAL ECO-CONCRETE*

Además de ser reutilizado como hormigón reciclado, los áridos presentes, podrían formar parte de la composición de nuevos ladrillos. En el siguiente estudio, se hicieron pruebas con diferentes porcentajes de áridos procedentes de hormigón reciclado para la creación de nuevas piezas.

“To investigate the different effects of recycled fine aggregate on the properties of cement and sand bricks, five groups of mixtures were prepared. The design proportion of the cement and sand bricks was 90% sand, 5% cement, and 5% laterite soil. In this study, a portion of natural sand was replaced by recycled fine aggregate in the production of the brick specimens. The percentages of recycled aggregate used as replacement were 25%, 50%, 75%, and 100% by weight of the natural sand aggregate. One group of bricks had no recycled aggregate added. These bricks served as the control samples, which were used as a guide to compare the performance and properties of concrete containing recycled aggregate. The wastage allowance was 45%, which allowed for wastage in double handling (from hand mixing to pressing machine), error in soil weight, and materials pressing. The total overall quantities for constituent cement, soil, sand and recycled fine aggregate in the bricks were 32.75, 32.75, 294.90 and 294.90 kg, respectively”

Properties of Bricks Produced With Recycled Fine Aggregate | S. Ismail, and Z. Yaacob. World Academy of Science, Engineering and Technology 43 2010

“Para investigar los diferentes efectos del agregado fino reciclado sobre las propiedades del cemento y los ladrillos de arena, se prepararon cinco grupos de mezclas. La proporción de diseño de los ladrillos de cemento y arena fue 90% arena, 5% cemento y 5% tierra de laterita. En este estudio, una porción de arena natural fue reemplazada por agregado fino reciclado en la producción de las muestras de ladrillo. Los porcentajes de agregado reciclado utilizado como reemplazo fueron 25%, 50%, 75% y 100% en peso del agregado de arena natural. A un grupo de ladrillos no se le añadió agregado reciclado. Estos ladrillos sirvieron como muestras de control, que se utilizaron como guía para comparar el rendimiento y las propiedades del hormigón que contiene agregado reciclado. La asignación de desperdicio fue del 45%, lo que permitió el desperdicio en el doble manejo (desde la mezcla manual hasta la máquina prensadora), el error en el peso del suelo y el prensado de materiales. Las cantidades totales de cemento, tierra, arena y agregado fino reciclado en los ladrillos fueron 32,75, 32,75, 294,90 y 294,90 kg, respectivamente.”

Traducción, Properties of Bricks Produced With Recycled Fine Aggregate | S. Ismail, and Z. Yaacob. World Academy of Science, Engineering and Technology 43 2010

- **Vidrio.** Es un residuo, que se puede reciclar al 100% y de manera indefinida. La mayoría del vidrio reciclado se emplea en la fabricación de nuevos envases de vidrio y un porcentaje menor se destina a la composición de materiales de construcción. Para que éste se funda, debe alcanzar temperaturas superiores a 1400°C.

El proceso de reciclado del vidrio es el siguiente, las fotografías han sido obtenidas de *eco-vidrio*:



1. Separación de impurezas como tapas, derivados cerámicos, metales o plásticos.



2. Lavado y trituración.



3. Obtención del Calcín de vidrio como materia prima, tras una segunda eliminación de impurezas.

- **Polvo de cuarzo.** Es tratado como desecho en las canteras de explotación minera, al cortar las piezas de mayores dimensiones. Desde el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, se propone una evaluación del polvo desechado para su posterior rehabilitación con RCD.

“2.2.1. Evaluación preliminar de la idoneidad de los huecos mineros para su rehabilitación con RCD. En esta Guía se propone una metodología de evaluación preliminar de la idoneidad de huecos mineros para su rehabilitación con RCD, basada en criterios de aptitud del mismo para dicho fin y capacidad de acogida del medio. De acuerdo con la misma, los huecos mineros más idóneos serán aquellos que: a) proporcionen la mayor protección ambiental por sus características intrínsecas (geológicas, geotécnicas, hidrogeológicas, etc.); b) se localicen además en medios poco vulnerables a la contaminación y poco expuestos a riesgos naturales que pudieran comprometer la integridad de la estructura; c) se encuentren próximos a instalaciones de gestores de RCD y/o núcleos de población que puedan garantizar el suministro suficiente de material y reducir los costes de transporte; d) y que la recuperación del espacio degradado se considere prioritaria, por contribuir de forma significativa a la mejora de la calidad ambiental y del paisaje o a la protección del patrimonio natural y cultural.” [Guía para la rehabilitación de huecos mineros con residuos de construcción y demolición, 2018.](#)

El estudio hecho por los científicos Kalaimani Ramakrishnan Vigneshkumar Chellappa, y Subha Chandrasekarabharathi, utilizaron polvo de cuarzo y otros residuos de la construcción y demolición en la creación de nuevos ladrillos.

“The readily available raw waste materials such as RHA, quarry dust, fly ash, marble powder, and ESP were used in different proportions for brick production. Compressive strength, water absorption, efflorescence, and dimension tests were conducted to determine the quality of the bricks”

[“Manufacturing of Low-Cost Bricks Using Waste Materials”, Kalaimani Ramakrishnan Vigneshkumar Chellappa, and Subha Chandrasekarabharathi. 10th MATBUD’2023 Scientific-Technical Conference](#)

“Las materias primas de desecho fácilmente disponibles, como RHA, polvo de cantera, cenizas volantes, polvo de mármol y ESP, se utilizaron en diferentes proporciones para la producción de ladrillos. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión, absorción de agua, efluorescencia y dimensiones para determinar la calidad de los ladrillos.”

Traducción “Manufacturing of Low-Cost Bricks Using Waste Materials”

Sin embargo, hay que tener en cuenta la gran toxicidad que presentan los materiales que contienen sílice cristalina respirable (SCR). Ya que la inhalación de la misma, por estar presente en bajas cantidades y de manera prolongada, en partículas en suspensión en ambientes de trabajo y producción que la utilicen, puede resultar en *silicosis*, una patología que provoca una inflamación en los pulmones y en los ganglios linfáticos del tórax.

Es por esto, que el proyecto *SILICOAT*, analizó y estudió posibles sustancias, como nanoalúmina, lactato de aluminio y organosilanos, que inhibieran estos efectos. Los resultados fueron muy positivos, ya que consiguieron anular, los efectos adversos de productos que contienen sílice cristalina, presente en entornos de producción con materias primas, utilizadas en industrias cerámicas tradicionales.

La anulación de la toxicidad se consigue con un aditivo que se añade a las mezclas cerámicas y se vierte en la superficie del cuarzo, haciendo que desaparezca su toxicidad y mejore la calidad de las condiciones de trabajo a efectos de salud de los trabajadores. Es un proyecto aprobado por la Unión Europea, y pretende trasladar estos beneficios a la comercialización de polvo de cuarzo tratado.

Proyecto financiado por el Programa LIFE 2014-2020 de la Unión Europea para el Medio Ambiente y la Acción por el Clima

Materiales escogidos

Para la propuesta de material, propongo tres hipótesis de combinación de elementos de desecho de RCD, para la creación de tres tipos de piezas cerámicas. Esta sería mi propuesta de combinación, aunque soy consciente que la creación de nuevos materiales de construcción y en especial los que incorporan sustancias y materias procedentes de residuos, requieren un estudio exhaustivo de composición en laboratorio, por parte de profesionales especializados en el sector de la química e ingeniería química, y ensayos sobre las capacidades del nuevo material.

tipo 1, cerámica común con esmaltado de polvo de cuarzo.

tipo 2: cerámica común mezclada con polvo de porcelana sanitaria vitrificada, procedente de plantas de reciclaje próximas.

tipo 3: cerámica refractaria mezclada con desechos de vidrio procedentes de plantas de reciclaje próximas.

8.2 Metodología e hipótesis de combinación

Para hacer las pruebas, se trabajaría con medidas más pequeñas. Se moldearía una pieza con forma de prisma rectangular de 20 cm de ancho por 10 cm de largo que asumiría unos 1.25 L de cerámica por unidad. Se realizarían tres piezas de cada tipo. De arcilla común, para hacer un tipo de control, de arcilla refractaria con los residuos de vidrio en distinto porcentaje y arcilla común con residuos de porcelana sanitaria en distintos porcentajes. Se utilizará arcilla refractaria para las piezas que tengan residuos de vidrio en su composición, porque para que estos se fundan, hay que alcanzar temperaturas de cocción superiores a 1200°C. La arcilla refractaria puede aguantar esas temperaturas, mientras que la común no.

- Tipo de control- arcilla común- 3 unidades de 20x10 cm- 3 x 1.25 litros + desperdicio

- Tipo de control- arcilla común- 3 unidades de 20x10 cm- esmalte de cuarzo líquido

- 3 x 1.25 litros + desperdicio

- Tipo de residuo 1 (vidrios) en 5% en masa – arcilla refractaria + residuo 1 en 5% en masa- 3 unidades de 20x10 cm- 3 x 1.25 litros + desperdicio

- Tipo de residuo 1 (vidrios) en 10% en masa – arcilla refractaria + residuo 1 en 10% en masa- 3 unidades de 20x10 cm- 3 x 1.25 litros + desperdicio

- Tipo de residuo 1 (vidrios) en 20% en masa- arcilla refractaria + residuo 1 en 20% en masa- 3 unidades de 20x10 cm- 3 x 1.25 litros + desperdicio

- Tipo de residuo 2 (porcelana sanitaria) en 5% en masa – arcilla común + residuo 2 en 5% en masa- 3 unidades de 20x10 cm- 3 x 1.25 litros + desperdicio

- Tipo de residuo 2 (porcelana sanitaria) en 10% en masa – arcilla común más residuo 2 en 10% en masa- 3 unidades de 20x10 cm- 3 x 1.25 litros + desperdicio

- Tipo de residuo 2 (porcelana sanitaria) en 20% en masa – arcilla común más residuo 2 en 20% en masa- 3 unidades de 20x10 cm- 3 x 1.25 litros + desperdicio

9 Conclusiones y futuras líneas de trabajo

La industria de la construcción, genera grandes residuos tanto en la producción de materiales, como en la demolición de edificios. Siendo, junto con los residuos industriales, de los sectores que más impacto ambiental provocan.

La Unión Europea, ha creado un plan de transición ecológica y medioambiental que contempla esta problemática, haciendo referencia a multitud de residuos que no poseen a día de hoy una cadena de reciclaje específico y que, por tanto, acaban en vertederos.

El desarrollo de nuevos materiales a partir de desechos de construcción y demolición, supondría una contribución a la mejora de la situación actual. Requeriría de investigación profesional para el desarrollo de combinaciones de desechos compatibles, que garanticen una calidad y que sean competentes en el mercado. Esto iría de la mano de la creación de maquinaria específica en nuevas plantas de reciclaje según el material, la separación y el tratado de los componentes. Además se necesitaría de proveedores que actúen de intermediarios entre las plantas de reciclaje y las empresas de producción de materiales y por supuesto, proyectos que los contemplen.

En primera instancia, parece algo imposible de conseguir, pero en el presente trabajo se han estudiado casos que siguen un modelo de economía circular en la construcción de edificios, mediante la reutilización de residuos o en el desarrollo de nuevos materiales con componentes reciclados, que cumplen con todas las especificaciones técnicas. Aportando incluso, una mejora en las prestaciones térmicas, de edificios que no cumplen los niveles de confort que marca la normativa por su año de construcción, orientación o materiales empleados. Además de crear nuevas oportunidades de mercado y nuevos puestos de trabajo.

La cerámica, utilizada como elemento de estudio en el trabajo, es compatible con varios residuos de la construcción y demolición, como son el vidrio, el hormigón, derivados cerámicos y porcelana sanitaria. Esta pequeña aproximación a la investigación de nuevos materiales, podría ser el punto de partida de futuras líneas de trabajo, como:

Estudiar los cambios en el interior del edificio con la incorporación de esta protección solar adicional.

Estudiar la composición y el porcentaje exacto de RCD en la creación de nuevas piezas cerámicas.

Estudiar y caracterizar las capacidades mecánicas, comportamiento al fuego, la toxicidad y otras propiedades de los nuevos materiales mezcla de la cerámica y materiales de desecho.

El desarrollo de maquinaria específica para seguir avanzando en el tratamiento de materiales desechados y poder ser reintroducidos en el mercado como materias primas.

La puesta en obra de la rehabilitación de escuelas públicas en Barcelona que necesiten una mejora en el confort térmico.

10 Agradecimientos

Este TFE se ha desarrollado en el marco del proyecto Dispositivos inteligentes de control solar para la rehabilitación de envolventes a partir de residuos (WISER) con la referencia TED2021-130155B-I00, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea “NextGenerationEU”/PRTR.

Me gustaría agradecer a la UPC, por apostar siempre por la investigación, la innovación y el desarrollo.

A la Etsab, por la formación que me ha dado, los valores, la exigencia, la calidad y la enseñanza por parte de profesionales altamente cualificados.

A mi tutor, Oriol Pons, por guiarme, por su disponibilidad absoluta y por su profesionalidad.

A Rocío Sánchez de la Torre, por ser mentora y amiga, y ceder su estudio de cerámica.

A mi familia, por acompañarme, apoyarme y alentarme siempre.

11 Bibliografia

- Tesis “Reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) de tipo cerámico para nuevos materiales de construcción sostenibles” Rocío Santos Jiménez, UPM
- Properties of Bricks Produced With Recycled Fine Aggregate I S. Ismail, and Z. Yaacob. World Academy of Science, Engineering and Technology 43 2010
- Artículo de investigación. “Evaluación del desempeño térmico de ladrillos ecoamigables con incorporación de residuos de mullita” Monica A. Villagrán Caicedo.
- “BUILDING FROM WASTE RECOVERED. Materials in architecture and construction”. Dirk E. Hebel + Marta H. Wisniewska + Felix Heisel
- LOW3: Living Zero! 2022_23/Q2_ WiSER. M&P 2022_23/Q2_ WiSER
- 5611- FROM ROOF TO FACADE. Anna Fruh, David Lopez Navarro, Diana Terzieva Isuí, Aracely Rodriguez, Kenan Akhverdiev, Santiago Fonseca Guardiola, Sergio Bernier Gonzalez y Xingyu Zhang.
- Flexi Brick – Dressing Architecture
- SAVASCO
- Fet de Terra
- Tesis Doctoral “Passive mosaic energy optimization: toward free-running school buildings” M.ª Gabriela Ledesma H.
- Banco mundial. “What a Waste 2.0: A global Snapshot of Solid Waste Management to 2050”
- Eurostat, 2017
- Eurostat, 2021
- Eurostat, 2023
- Revisión de la aplicación de la política medioambiental 2022. Informe sobre ESPAÑA
- Artículo de BMI. Gabriel Castro es gerente del grupo de empresas Celabasa. “Reciclado de tejas: Del tejado de la iglesia a la pista en la que triunfa Rafa Nadal.
- Artículo 2. Definiciones. [Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
- I PLAN DE ACCIÓN DE ECONOMÍA CIRCULAR 2021-2023. ESTRATEGIA ESPAÑOLA DE ECONOMÍA CIRCULAR. © Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO).
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico.
- Centro de Estudios y experimentación de Obras públicas (CEDEX), Ministerio de Transportes, Movilidad y agenda Urbana.
- Cerámica y Vidrio en España. Prof. Manuel Regueiro Dpt Cristalografía y Mineralogía. UCM
- “Mortero estructural aligerado con arcilla expandida y agregados con áridos reciclados”. Muñoz Ruipérez, Carmelo; Rodríguez Sáiz, Ángel; Calderón Carpintero, Verónica; Fiol Oliván, Francisco; Gadea Sáinz, Jesús Y Junco Petrement, Carlos. Universidad De Burgos.

- “Manufacturing of Low-Cost Bricks Using Waste Materials” Kalaimani Ramakrishnan, Vigneshkumar Chellappa and Subha Chandrasekarabarathi. Ramakrishnan, K.; Chellappa, V.; Chandrasekarabarathi, S. Manufacturing of Low-Cost Bricks Using Waste Materials. Mater. Proc. 2023, 13, 25. <https://doi.org/10.3390/materproc2023013025>.
- Química de Materiales Cerámicos – Notas del TEMA 7 – Profesor Javier Alarcón
- “Desarrollo De Módulo De Celosía Para Envoltente En Clima Húmedo Tropical (Panamá), Mediante Argamasa Con Árido Reciclado De Neumático (Nfu)” Rosnery Castillo D-R. Programa de Doctorado Tecnologías de la Arquitectura, Edificación y Urbanismo (TAEU).
- <https://abo.global/products/>
- “Modular Bricks Produced From Construction And Demolition Waste, Cement And Lime” Silvio Rainho Teixeira
São Paulo State University. Conference: The Twenty-Ninth International Conference on Solid Waste Technology And ManagementAt: Philadelphia, PA, U.S.A.
- <https://www.stonecycling.com/news/recycled-bricks/>
- <https://www.studiomixtura.com/work>
- Sede Oficial del Catastro
- <https://www.lavanguardia.com/local/baix-llobregat/20150407/54429381354/bellvitge-antes-bloques.html>
- <http://www.silife-project.eu/>
- <https://www.redalyc.org/journal/1813/181366194006/html/>
- <https://www.hercalzero.es/h-zero-planta-rcd/#slide4a>
- https://issuu.com/editorialciclo/docs/ceramica_y_cristal_147/70

